

**AVALIAÇÃO DE MASSAS CERÂMICAS, PROCESSAMENTO E
PROPRIEDADES DOS PRODUTOS DE CERÂMICA VERMELHA DO
PÓLO CERÂMICO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES**

FERNANDA DOS SANTOS MAIA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO
CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
AGOSTO - 2012

**AVALIAÇÃO DE MASSAS CERÂMICAS, PROCESSAMENTO E
PROPRIEDADES DOS PRODUTOS DE CERÂMICA VERMELHA DO
PÓLO CERÂMICO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES**

FERNANDA DOS SANTOS MAIA

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

Orientador: Prof. Dr. José Nilson França de Holanda

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
AGOSTO - 2012

Preparada pela Biblioteca do CCT / UENF

64/2012

Maia, Fernanda dos Santos

Avaliação de massas cerâmicas, processamento e propriedades dos produtos de cerâmica vermelha do pólo cerâmico de Campos dos Goytacazes / Fernanda dos Santos Maia. – Campos dos Goytacazes, 2012. xiii, 97 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) -- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Materiais Avançados. Campos dos Goytacazes, 2012.

Orientador: José Nilson França de Holanda.

Área de concentração: Materiais e meio ambiente.

Bibliografia: f. 91-97.

1. MATERIAIS CERÂMICOS 2. MASSAS CERÂMICAS 3. PROCESSAMENTO 4. CARACTERIZAÇÃO 5. PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Materiais Avançados II. Título.

CDD 620.14

**AVALIAÇÃO DE MASSAS CERÂMICAS, PROCESSAMENTO E
PROPRIEDADES DOS PRODUTOS DE CERÂMICA VERMELHA DO
PÓLO CERÂMICO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES**

FERNANDA DOS SANTOS MAIA

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

Aprovada em 08 de Agosto de 2012

Comissão Examinadora:

Prof. Angelus Guisepppe Pereira da Silva (Ph.D, Ciências Técnicas)- UENF/LAMAV

Prof. Eduardo Atem de Carvalho (Ph.D., Engenheiro Mecânico) - UENF/LAMAV

Prof. Sidnei Jose Gomes Sousa (D.Sc., Engenharia e Ciência dos Materiais)- CVT
Cerâmica

Prof. José Nilson F. de Holanda (D.Sc., Engenharia de Materiais) – UENF/LAMAV

DEDICATÓRIA

Ao meu marido Douglas Vianna de Luna e a
minha família que sempre estiveram ao meu lado,
a vocês com muito amor dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço ao meu Deus pelo amor supremo e infinito, que me proporcionou a vida e o dom do conhecimento.

Ao meu orientador e professor José Nilson França de Holanda, pela confiança, compreensão e apoio ao ingresso do mestrado e durante a sua realização.

A todos os professores do LAMAV que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

Ao meu marido Douglas Vianna de Luna, pelo carinho, amizade, amor, paciência, compreensão e apoio diante das dificuldades e ausência durante esta jornada.

Aos meus pais e irmãos, pela força e incentivo na realização desta importante etapa de vida.

Aos meus sogros e cunhado pelo estímulo.

Ao Laboratório de Engenharia Civil – LECIV, em especial os técnicos Milton e Vanuza por terem me oferecido condições para a realização deste trabalho.

Agradeço à minha amiga técnica do Laboratório do LAMAV Luciana, pelo apoio e dedicação na realização dos experimentos.

Em especial, gostaria de agradecer as seis indústrias cerâmicas que proporcionaram a oportunidade de desenvolver esta tese com auxílios das informações e pelos materiais cedidos para os experimentos.

Finalmente, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO

1.1 – Aspéctos gerais.....	01
1.2 – Objetivos.....	03
1.3 – Justificativas.....	03

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Cerâmica Vermelha.....	04
2.2 – Processo de Fabricação de Cerâmica Vermelha.....	04
2.2.1 – Argilas.....	06
2.2.1.1 – Tipos de Argilas.....	07
2.2.1.1.1 – Caulim ou Argila da China.....	07
2.2.1.1.2 – Bentonita.....	07
2.2.1.1.3 – Argila de grês.....	07
2.2.1.1.4 – Argila vermelha.....	07
2.2.1.1.5 – Argila refratária.....	08
2.2.1.1.6 – Flint-clay.....	08
2.2.1.1.7 – Argila bola (Ball-clay).....	08
2.2.2 – Extração.....	08
2.2.3 – Pré-preparo.....	09
2.2.4 – Preparação da mistura.....	10
2.2.5 – Conformação.....	12
2.2.5.1 - Conformação por extrusão.....	13
2.2.5.2 – Conformação por prensagem.....	14
2.2.6 – Corte.....	15
2.2.7 – Secagem.....	16
2.2.7.1 – Secagem Natural ou Secagem ao Ar Livre.....	16
2.2.7.2 – Secadores de Fornos.....	17
2.2.7.3 – Secagem Artificial.....	17
2.2.7.4 – Secador de Câmara.....	18
2.2.7.5 – Secador túnel.....	18
2.2.8 – Queima.....	18
2.2.8.1 – Tipos de Fornos.....	20
2.2.8.1.1 – Fornos de chama direta tipo caieira ou caipira.....	20
2.2.8.1.2 – Fornos tipo chama invertida ou chama reversível.....	21

2.2.8.1.3 - Forno contínuo – Hoffmann.....	22
2.2.8.1.4 - Forno túnel.....	24
2.2.8.2 - Reações produzidas durante a queima.....	25
2.3 - Pólo Cerâmico de Campos dos Goytacazes.....	28

CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS DE ANÁLISE

3.1-Seleção das Unidades Produzidas.....	36
3.2 – Matérias – primas.....	36
3.3 – Caracterização das matérias – primas.....	36
3.3.1- Difração de Raios-X.....	37
3.3.2 – Fluorescência de raios.....	37
3.3.3 – Análise Térmica.....	38
3.3.4 - Análise Granulométrica e Plasticidade.....	39
3.3.5 – Análise Morfológica.....	39
3.4 – Análise do Processo Industrial Empregado.....	40
3.5- Caracterização dos Produtos Cerâmicos.....	40
3.5.1 – Absorção de água.....	40
3.5.2 – Resistência Mecânica.....	40
3.5.2.1 Ensaio de flexão para telhas.....	41
3.5.2.2 Ensaio de compressão.....	42
3.5.3- Análise de Weibull.....	42
3.5.4 – Densidade Aparente.....	44
3.5.5 - Porosidade Aparente.....	44
3.5.6 - Análise microestrutural.....	44

CAPÍTULO 4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Caracterização das Massas Argilosas.....	46
4.1.1 Análise mineralógica das massas argilosas utilizadas.....	46
4.1.2 Composição química das massas argilosas.....	48
4.1.3 Caracterização física das massas argilosas.....	49
4.1.4 - Comportamento térmico das massas argilosas.....	55
4.2 - Avaliação do Processo Industrial.....	61
4.2.1- Matérias-primas utilizadas.....	64
4.2.2- Pré-preparo das matérias-primas.....	64

4.2.3- Preparação da massa.....	65
4.2.4- Conformação.....	66
4.2.5- Secagem.....	67
4.2.6- Queima.....	68
4.3 - Caracterização dos Produtos Cerâmicos.....	69
4.3.1- Absorção de água.....	69
4.3.2- Resistência Mecânica.....	71
4.3.3- Análise da resistência mecânica via Estatística de Weibull.....	71
4.3.4- Densidade Aparente.....	83
4.3.5- Porosidade Aparente.....	84
4.3.6- Análise Microestrutural.....	85
CAPÍTULO 5- CONCLUSÕES	
5.1- Conclusões.....	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Fluxograma do processo de fabricação de Cerâmica Vermelha.....	05
Figura 2.2 – Representação da pilha de homogeneização da argila.....	10
Figura 2.3 – Etapas do processo de Pré-preparo da massa dos produtos Cerâmicos.....	12
Figura 2.4 - Corte de uma extrusora de dupla hélice, com o respectivo gráfico de pressões exercidas no seu interior e a identificação das diferentes zonas.....	14
Figura 2.5 - Forno Caieira.....	21
Figura 2.6 – Forno Abóbada.....	22
Figura 2.7 – Forno Hoffmann.....	24
Figura 2.8 – Forno Túnel.....	22
Figura 2.9 – Difractogramas das amostras de massa cerâmica da região de Campos dos Goytacazes.....	30
Figura 2.10 - Curva de distribuição do tamanho de partículas do material usado na confeção dos blocos cerâmicos.....	31
Figura 2.11 - Micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura das peças de cerâmica vermelha.....	32
Figura 2.12 - Tensão de ruptura à flexão e absorção de água em função da temperatura de queima.....	33
Figura 2.13 - Difractograma de raios-X das massas cerâmicas queimadas a 975°C...34	34
Figura 3.1- Fluxograma do procedimento experimental.....	35
Figura 3.2 - Difractômetro de raios-x modelo XRD700, marca SHIMADZU.....	37
Figura 3.3 - Equipamento modelo EDX – 700 – marca Shimadzu.....	38
Figura 3.4 – Equipamento de Análise térmica BP 300.....	38
Figura 3.5– Equipamento de MEV a ser utilizado.....	39
Figura 3.6 – Dispositivo para aplicação de carga.....	41
Figura 3.7 – Compressão axial de blocos de vedação.....	42
Figura 4.1 – Difractogramas de raios-X das amostras.....	47
Figura 4.2 – Difractogramas de raios-X de todas as amostras.....	48
Figura 4.3 - Curvas granulométricas das massas argilosas estudadas.....	50
Figura 4.4 – Localização das massas cerâmicas no diagrama de Winkler.....	51
Figura 4.5 – Localização das massas argilosas no Prognóstico de Extrusão.....	53
Figura 4.6 – Morfologia das partículas presentes nas massas argilosas.....	54

Figura 4.7 – Curvas de ATD das massas cerâmicas.....	56
Figura 4.8 – Curvas de ATD das massas cerâmicas.....	57
Figura 4.9 – Curvas de ATG das massas cerâmicas.....	58
Figura 4.10 – Curvas de ATG das massas cerâmicas.....	59
Figura 4.11 – Curvas de análise dilatométrica das massas argilosas.....	60
Figura 4.12 – Curvas de análise dilatométrica das massas argilosas.....	61
Figura 4.13- Fluxograma do Processo produtivo empregado nas cerâmicas selecionadas.....	62
Figura 4.14– Ilustração das etapas do processo de fabricação das indústrias cerâmicas.....	63
Figura 4.15 - Processo de Laminação das massas.....	66
Figura 4.16 – Processo de secagem natural.....	68
Figura 4.17 – Processo de secagem artificial.....	68
Figura 4.18 – Gráfico do resultado de Absorção de Água.....	70
Figura 4.19 - Diagrama de Weibull para AM1.....	79
Figura 4.20 - Diagrama de Weibull para AM2.....	80
Figura 4.21 - Diagrama de Weibull para AM3.....	80
Figura 4.22 - Diagrama de Weibull para AM4.....	81
Figura 4.23 - Diagrama de Weibull para AM5.....	81
Figura 4.24 - Diagrama de Weibull para AM6.....	82
Figura 4.25 - Resultado da análise de Densidade das amostras queimadas.....	84
Figura 4.26 – Resultado da análise de Porosidade das amostras queimadas.....	85
Figura 4.27 – Análise Microestrutural da amostra AM1.....	86
Figura 4.28 – Análise Microestrutural da amostra AM2.....	86
Figura 4.29 – Análise Microestrutural da amostra AM3.....	86
Figura 4.30 - Análise Microestrutural da amostra AM4.....	87
Figura 4.31 - Análise Microestrutural da amostra AM5.....	87
Figura 4.32 - Análise Microestrutural da amostra AM6.....	87

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Composição Química da massa (%em peso).....	30
Tabela 4.1 – Composição química (% em peso) das massas cerâmicas.....	48
Tabela 4.2- Caracterização física das massas argilosas.....	49
Tabela 4.3 – Resultados da análise de Absorção de Água.....	70
Tabela 4.4 – Resultados de Resistência Mecânica das amostras.....	71
Tabela 4.5- Análise de Weibull para os valores de tensão de ruptura à compressão da massa cerâmica AM1.....	73
Tabela 4.6- Análise de Weibull para os valores de tensão de ruptura à compressão da massa cerâmica AM2.....	74
Tabela 4.7- Análise de Weibull para os valores de tensão de ruptura à compressão da massa cerâmica AM3.....	75
Tabela 4.8- Análise de Weibull para os valores de tensão de ruptura à compressão da massa cerâmica AM4.....	76
Tabela 4.9- Análise de Weibull para os valores de tensão de ruptura à compressão da massa cerâmica AM5.....	77
Tabela 4.10- Análise de Weibull para os valores de tensão de ruptura à compressão da massa cerâmica AM6.....	78
Tabela 4.11 - Análise de Weibull dos dados de resistência mecânica dos produtos de cerâmica vermelha estudados.....	82

RESUMO

Na região de Campos dos Goytacazes-RJ encontra-se instalado um dos mais importantes pólos de cerâmica vermelha do estado do Rio de Janeiro e do Brasil. As argilas vermelhas usadas neste pólo ceramista têm sido intensamente estudadas nos últimos anos. No entanto, existem poucas informações sobre o processo produtivo e qualidade dos produtos de cerâmica vermelha fabricados. Neste contexto, este trabalho de dissertação de mestrado apresenta a avaliação das massas cerâmicas, processamento e propriedades dos produtos cerâmicos de seis empresas selecionadas pertencentes ao Pólo de Cerâmica Vermelha da região de Campos dos Goytacazes-RJ. As massas cerâmicas e as peças de cerâmica vermelha foram coletadas diretamente das respectivas empresas selecionadas para análise, com o intuito de caracterizar e verificar se as propriedades tecnológicas estão de acordo com as normas técnicas estabelecidas NBR 15270 (blocos cerâmicos) e NBR 15310 (telhas). A caracterização das massas argilosas foi realizada através de uma série de análises tais como: análise química (fluorescência de raios-X), difração de raios-X, análise morfológica (MEV), comportamento térmico (ATD/ATG/DTG), granulometria e plasticidade (limites de consistência de Atterberg). O processo produtivo empregado em cada empresa foi avaliado por meio da aplicação de um questionário com perguntas direcionadas desde a extração das argilas até a etapa final de queima. As peças de cerâmica vermelha coletadas nas empresas foram caracterizadas em termos de absorção de água, densidade aparente, porosidade aparente e resistência mecânica. Em particular, para os dados de resistência mecânica foi aplicada a estatística de Weibull. Os resultados experimentais obtidos em associação com os dados do questionário aplicado indicaram que as formulações das massas argilosas e processamento cerâmico empregado, via de regra são deficientes, tendo como consequência produtos de cerâmica vermelha de baixa qualidade técnica. Portanto, os resultados deste trabalho apontam para necessidade de melhor adequação das massas argilosas e dos processos empregados para se obter produtos de cerâmica vermelha de acordo com as especificações estabelecidas nas normas técnicas.

ABSTRACT

In the region of Campos-RJ Goytacazes is installed one of the most important centers of red ceramics in Rio de Janeiro state and Brazil. The red clay used in this ceramic pole has been intensively studied in recent years. However, there is little information about the manufacturing process and quality of products made of red ceramics. In this context, this dissertation work presents the evaluation of ceramic compositions, processing and properties of the ceramic products of six selected companies belonging to the red ceramic cluster in Campos dos Goytacazes region. The ceramic bodies and pieces of red pottery were collected directly from the respective companies selected for analysis in order to characterize and verify if the technological properties are consistent with technical standards established NBR 15270 (ceramic blocks) and NBR 15310 (shingles). The characterization of the clay mass has been accomplished through a series of analyzes such as: chemical analysis (X-ray fluorescence), X-ray diffraction, morphological analysis (SEM), thermal (DTA / DTA / DTG), particle size and plasticity (Atterberg consistency limits). The production process employed in each company was evaluated through a questionnaire with questions directed from the extraction of clay to the final stage of firing. The red ceramic pieces collected in the companies were characterized in terms of water absorption, bulk density, porosity and mechanical strength. In particular, the data were applied to the mechanical strength Weibull statistics. The experimental results in combination with the data in the questionnaire used, the formulations of the masses of clay and ceramic processing utilized, as a rule are poor, resulting in a red ceramics products of low technical quality. Therefore, the results of this study point to the necessity to better clay mass and processes used to obtain red ceramic products according to the specifications laid down in the technical standards.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 - Aspectos Gerais

Com um mercado cada vez mais competitivo, as empresas vêm-se obrigadas a atender diversas exigências, como qualidade e padronização. Muitas delas impostas por fatores externos, ou seja, a excelência do produto desejada pelos consumidores. Contudo, vale ressaltar que atualmente uma parcela significativa das exigências são internas, criadas pelos donos das empresas, no intuito de planejar e desenvolver parâmetros que auxiliem as organizações a otimizarem seus processos para garantir bons resultados empresariais.

Com consumidores mais conscientes e exigentes, a escolha por produtos ou serviços apenas pela análise de um critério (sendo o preço o mais usual) ocorre raramente, enquanto a escolha baseada em múltiplos critérios passa a acontecer com mais frequência. Dentre os critérios analisados na hora da compra, pode-se citar: durabilidade, imagem, especificações, características e segurança, ou seja, fatores que compõem as dimensões da qualidade. Este critério por sua vez, está relacionado com a forma com que as atividades são desenvolvidas.

Neste contexto, o setor ceramista é um dos mais antigos em atividade industrial no país e no mundo, tendo uma participação no PIB (Produto Interno Bruto) estimado em cerca de 1 % (ABC, 2009). No entanto, o setor cerâmico brasileiro apresenta uma grande carência de informações de dados estatísticos e apontadores de desempenho, que são ferramentas indispensáveis para o acompanhamento do desenvolvimento e para auxiliar na melhoria da competitividade, entre outros. Por isso, existem dificuldades de se ter uma visão mais ampla dessa importante área industrial, com diferentes segmentos altamente geradores de empregos e com intenso apelo social.

No município de Campos dos Goytacazes existem importantes depósitos de argilas que vêm sendo explorados pelos ceramistas locais de forma empírica a várias décadas. O pólo cerâmico de Campos do Goytacazes é um dos mais importantes pólos de cerâmica vermelha do estado do Rio de Janeiro, correspondendo a cerca de 40 % da produção e das unidades produtivas (Pedroti *et al*, 2011). Em geral as unidades produtivas são empresas de pequeno e médio porte, que produzem tijolos, blocos cerâmicos, lajotas e telhas. O Pólo Cerâmico é um dos

setores que mais gera empregos na região de Campos dos Goytacazes-RJ (Revista turismo, 2012).

Em geral, considera-se que grande parte dos produtos cerâmicos no pólo ceramista de Campos dos Goytacazes-RJ seja de baixa qualidade técnica. Este fato motivou diversas pesquisas voltadas principalmente para a caracterização das argilas utilizadas e propriedades tecnológicas delas (Vieira *et al*, 2000; Filho *et al*, 2001; Souza *et al*, 2002; Alexandre, 2006; Monteiro *et al*, 2007). Embora essas pesquisas tenham gerado uma quantidade significativa de informações, verifica-se que grande parte destas pesquisas foi feitas em argilas individuais.

É fato conhecido que na prática da cerâmica vermelha são utilizadas massas argilosas formuladas com duas ou mais argilas de características distintas. Outra lacuna importante é sobre o processamento cerâmico utilizado pelas unidades produtivas e propriedades finais das peças de cerâmica vermelha (tijolos, blocos cerâmicos, lajotas e telhas) fabricadas.

Neste sentido, o presente trabalho tem por finalidade apresentar resultados referentes a 6 indústrias cerâmicas selecionadas para a realização da caracterização das massas argilosas e avaliação do processo industrial dos produtos cerâmicos desde a matéria-prima ao produto acabado.

O processo da avaliação dos produtos tem como referência as normas ABNT 15310 e ABNT 15270 com intuito de mensurar a qualidade dos blocos e telhas cerâmicas da região de Campos dos Goytacazes/RJ.

1.2 – Objetivos

O objetivo principal deste trabalho de dissertação de mestrado é avaliar as massas cerâmicas argilosas, condições de processamento e propriedades finais dos produtos de cerâmica vermelha fabricados na região de Campos dos Goytacazes/RJ.

São objetivos específicos deste trabalho:

- a) Caracterização física, química, mineralógica e térmica de massas argilosas usadas na fabricação de cerâmica vermelha.
- b) Verificar as condições de processamento de 06 indústrias cerâmicas selecionadas para o desenvolvimento desta tese, situada na região de Campos dos Goytacazes-RJ.
- c) Avaliação das propriedades tecnológicas tais como: Absorção de água, resistência física e mecânica e análise microestrutural dos produtos de cerâmica vermelha fabricados nas cerâmicas selecionadas, de acordo com as Normas Técnicas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

1.3 - Justificativas

O pólo de Cerâmica Vermelha instalado no município de Campos dos Goytacazes – RJ é o maior do estado do Rio de Janeiro e um dos maiores do Brasil. Este pólo é sem dúvida de grande importância econômica e social, o qual gera milhares de empregos. Por outro lado, os produtos são fabricados de forma empírica, ocasionando baixa qualidade. Portanto, há necessidade de um diagnóstico da real situação das unidades produtivas, desde a extração e exploração das jazidas, até o produto final. A rigor, há necessidade de se conhecer com precisão o processamento cerâmico utilizado pelas unidades produtivas. A presente dissertação de mestrado se propõe a preencher esta lacuna e identificar as principais causas da baixa qualidade técnica dos produtos cerâmicos fabricados.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Cerâmica Vermelha

Cerâmica Vermelha compreende os produtos cerâmicos que após a queima apresentam cor avermelhada. Grande parte desses produtos são empregados na construção civil (tijolos maciços, blocos de vedação, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas), além de utensílios domésticos e de adornos (ABC, 2011). A cor vermelha que caracteriza esses produtos está relacionada à presença de compostos de ferro presentes na argila (Jordão & Zandonadi, 2002). A tonalidade avermelhada varia de acordo com a quantidade de óxido de ferro presente na argila, além da presença de outros minerais presentes no processamento térmico.

A produção de cerâmica vermelha distribui-se por todo o país, muito pulverizada, em micro e pequenas empresas, quase sempre organizações simples e familiares (Bustamante e Bressiani, 2000).

Segundo a ANICER (2011), no Brasil há aproximadamente 7329 unidades produtoras, acarretando uma produção de 4.000.000.000 peças/ano de blocos cerâmicos e 1.300.000.000 peças/ano de telhas. São gerados 293.000 empregos diretos e movimenta um faturamento de R\$ 18 bilhões.

2.2 - Processo de Fabricação de Cerâmica Vermelha

O processo de fabricação de produtos de cerâmica vermelha tem como matéria-prima principal as argilas comuns. Este possui várias etapas de processamento como: o pré-preparo da matéria-prima, preparação, conformação, secagem, queima e por fim a inspeção e estocagem dos produtos acabados. Estas etapas estão ilustradas no fluxograma na Figura 2.1.

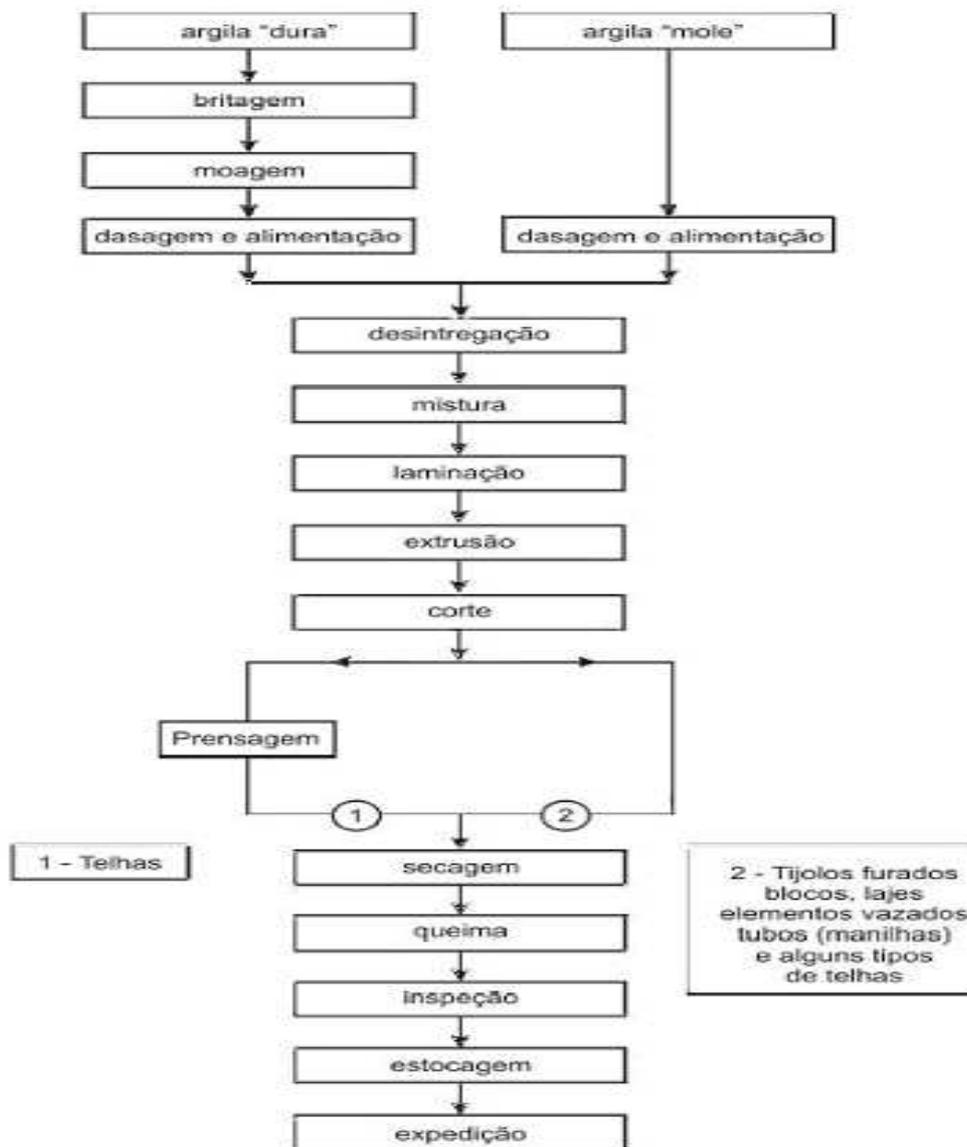


Figura 2.1 – Fluxograma do processo de fabricação de Cerâmica Vermelha (ABC, 2011).

A seguir será abordada separadamente cada etapa do processo de fabricação de peças de cerâmica vermelha.

2.2.1 - Argilas

As argilas comuns são as principais matérias-primas utilizadas no processo de fabricação de cerâmica vermelha. Esta por sua vez se origina a partir de modificações de minerais da rocha de origem pela atuação da água das chuvas, auxiliadas pelos ácidos provenientes da decomposição de restos vegetais. A consequência dessa transformação é uma mistura de argilas, com minerais que não se alteram, como por exemplo, o quartzo. Essas são as chamadas argilas residuais ou primárias. No entanto, a natureza continua agindo através da água das chuvas e desloca esses minerais formados para locais, às vezes, distantes milhares de quilômetros de onde foram originados. Durante esse transporte há uma seleção das partículas por tamanho, e os novos depósitos formados são considerados mais puros. Essas são as chamadas argilas transportadas, secundárias ou sedimentares (Chrispim *et al*, 2010).

A argila é uma mistura de diferentes minerais com tamanhos variados de partículas. Alguns minerais são denominados argilominerais. Este tipo de mineral caracteriza-se por: possuir elevado teor de partículas geralmente inferior a 2 μ m, formar uma massa plástica, quando misturado à água, tornar-se consistente e rígido após seco e quando submetido uma temperatura superior a 1000°C adquirir elevada dureza (Gomes,1988; Santos, 1989).

A plasticidade é característica dos argilominerais encontrados nas argilas. Os argilominerais têm capacidade de troca iônica, onde os íons fracamente ligados (Na⁺ e K⁺) presentes na superfície das partículas podem vir ser trocados por outros na solução aquosa (Santos, 1989).

A argila se constitui na principal matéria-prima utilizada na indústria de cerâmica vermelha. Suas propriedades tecnológicas como granulometria, plasticidade e composição mineralógica, dentre outros fatores, determinam a qualidade das peças a serem fabricadas (Morais e Sposto, 2006).

Embora as argilas se encontrem em quase toda a superfície terrestre, as suas propriedades variam de forma significativa consoante a zona onde são encontradas. Algumas podem ser utilizadas tal como são extraídas, enquanto outras devem ser purificadas e misturadas para se tornarem moldáveis (Chrispim *et al*, 2010).

2.2.1.1 - Tipos de Argilas

2.2.1.1.1 - Caulim ou Argila da China

Argila primária utilizada na fabricação de massas para porcelanas. É de coloração branca e funde a 1800 °C, pouco plástica, deve ser moldada em moldes ou formas. (Santos,1989).

2.2.1.1.2 – Bentonita

Argila muito plástica que se origina das cinzas vulcânicas. Apresenta uma aparência e tato untoso, pode aumentar entre 10 e 15 vezes seu volume ao entrar em contato com a água. Adicionada a argilas para aumentar sua plasticidade. Funde por volta de 1200°C (Santos,1989).

2.2.1.1.3 - Argila de grês

Massa que queima a altas temperaturas como a porcelana e é de grande dureza. Em sua composição não entram argilas tão brancas ou puras como na porcelana o que apresenta possibilidades de coloração avermelhada, branca, cinza, preto, etc. Depois de queimadas são impermeáveis, vitrificadas e opacas. A temperatura de queima vai de 1250°C a 1300° C (Monteiro *et al*, 2007).

2.2.1.1.4 - Argila vermelha

A argila vermelha é um material muito heterogêneo, dependendo da sua formação geológica e da localização de extração. Possui grande plasticidade e em sua composição química entra uma ou mais variedades de minerais (Dutra *et al*, 2006). Produzidas sem tanta preocupação com seu estado de pureza, quando queimadas no máximo até 1100°C, adquirem colorações que vão do creme aos tons avermelhados, o que mostra o maior ou menor grau da porcentagem de óxido de ferro. Formadas por argilas ferruginosas.

2.2.1.1.5 - Argila refratária

Argila que adquire este nome em função de sua qualidade de resistência ao calor. Suas características físicas variam, umas são muito plásticas e finas, outras não. São bastante utilizadas na produção de placas refratárias que atuam como isolantes e revestimentos para fornos (Santos, 1989).

2.2.1.1.6 - Flint-clay

Argila geralmente dura e refratária. É de difícil desagregação em água e tem pouca plasticidade nas condições usuais de trabalho. É encontrada no Brasil em Montes Claros, MG (Santos, 1989).

2.2.1.1.7 – Argila bola (Ball-clay)

Possui elevada plasticidade, de granulometria muito fina e refratária, apresenta geralmente às cores marfim, creme-clara ou branca após queima. Produz uma massa cerâmica de baixa absorção de água após queima (Santos, 1989).

2.2.2 – Extração

Um completo estudo das características de uma jazida de argila para a exploração indicará quais os produtos que podem ser fabricados. De acordo com os resultados encontrados, podem-se estabelecer misturas com outras argilas ou materiais e, finalmente, definir quais os equipamentos e processos que deverão ser implantados para o produto pretendido. Na maioria das vezes, não importa a cor inicial da argila, que geralmente é modificada pelo calor. O que interessa é a cor após queima em temperaturas pré-estabelecidas e as propriedades físicas e mecânicas adquiridas (Loyola, 1998).

Na natureza, as argilas empregadas em cerâmica vermelha são pretas, vermelhas, marrons e amareladas. Essas argilas apresentam cor vermelha a 950°C e marrom ou preta a 1.250°C (super queima). Quando ricas em fundentes (principalmente Fe, K, Na e Ca) podem apresentar fusão parcial (arredondamento das arestas) ou total (Motta *et al*, 2001).

A extração subterrânea é obtida pela construção de túneis subterrâneos que acompanham as camadas da matéria-prima.

A extração a céu aberto é aplicada para a maioria das matérias-primas cerâmicas como: taguá, argilas de várzeas, etc. Dentre os métodos, para ambos, deve-se prever o local de entrada e saída para os caminhões, escavadeiras e outros equipamentos. A matéria-prima removida deverá ser depositada em local que não interfira na extração, bem como não eleve o custo operacional. Convém depositar o material estéril (solo arável e outros que não interessam) em áreas que não ocupam terrenos com valores agrícolas ou futuras possibilidades de extração de matérias-primas (Loyola, 1998).

Os equipamentos utilizados para a extração são os rotineiros tais como: retro-escavadeiras, pás carregadeiras, tratores de esteiras, etc. Em caso de materiais mais duros ou compactos, utiliza-se dinamite para fragmentação dos mesmos.

2.2.3 - Pré-preparo

O pré-preparo da massa cerâmica constitui-se na atualidade em uma etapa essencial na obtenção de produtos cerâmicos de alta qualidade. Ele estabelece a preparação da matéria-prima. A argila é armazenada e, em seguida, acrescenta-se a água que atuará formando a pilha de homogeneização argila/água, conforme a Figura 2.2. O processo de intemperismo alivia as tensões nos produtos conformados, auxiliando na plasticidade, na trabalhabilidade da argila, na homogeneização e distribuição das massas. Isso facilitará a resolução de problemas futuros, como na etapa de secagem (Fernandez, 1990).

As matérias-primas devem ser desagregadas ou moídas de acordo com a granulometria e muitas vezes purificadas. Grande parte do processo de formulação da massa é feita de forma empírica, buscando uma composição que proporcione boa fusibilidade e plasticidade, aumentando a trabalhabilidade e resistência mecânica pós-queima. Geralmente, o preparo da massa é feito através da mistura de uma argila de alta plasticidade com granulometria fina conhecida como “gorda”, e uma de baixa plasticidade, conhecida como “magra”, que é rica em quartzo e funciona como redutor da plasticidade (Motta *et al*, 2001).

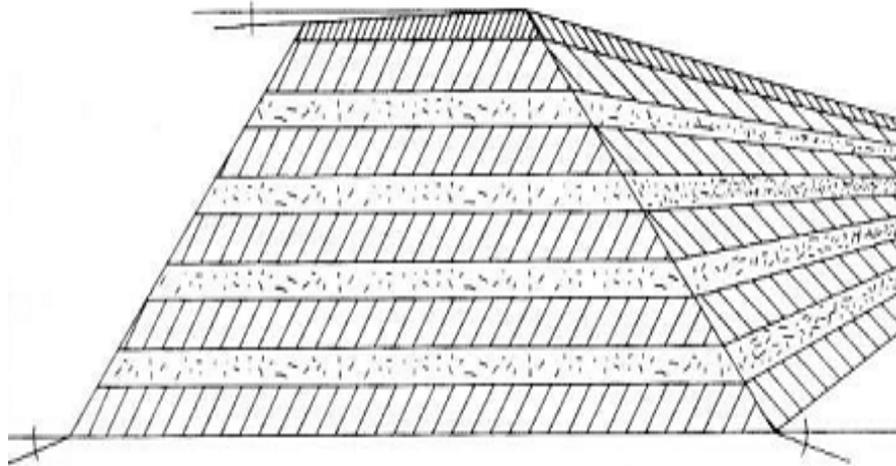


Figura 2.2 – Representação da pilha de homogeneização da argila (Fernandez, 1990).

Uma massa bem preparada proporciona enormes benefícios nas etapas subsequentes do processo produtivo. Pois, o mesmo será alimentado com insumo uniforme, diminuindo as necessidades de regulagem dos equipamentos, perdas na conformação (extrusão) e quebras durante a etapa de secagem, além de gerar uma economia de 30% em relação ao consumo de energia gasto durante o processo (Motta *et al*, 2004).

2.2.4 - Preparação da mistura

A preparação da mistura consiste nas seguintes etapas: moagem, dosagem e alimentação, controle de umidade, desintegração e laminação.

A moagem ou a britagem é o método utilizado após a extração, com o objetivo de reduzir a granulometria e aumentar a área superficial da argila, transformando-a em pó. Para esta operação, são utilizados os moinhos de martelos e moinhos perpendiculares. O material moído apresenta 5% do teor de umidade proveniente da água que acompanha as argilas a partir da extração.

A etapa de dosagem consiste em abastecer o processo produtivo com as matérias primas, respeitando as devidas proporções. Isto é basicamente feito por volume de material ou por peso (com maior precisão) (Más, 2002).

A dosagem de matérias-primas são medidas através do volume denominado “conchas” da pá-carregadeira. Vale ressaltar, que para utilizar esta metodologia as matérias-primas devem ser armazenadas em lotes separados. No caso de dosagem por peso, ela pode ser feita através de esteira rolante, onde as matérias-primas são dosadas por um caixão alimentador com registro regulável sobre uma esteira aferida (é preciso verificar o peso dosado por minuto), ou por meio de balanças eletrônicas (Más, 2002).

Após a moagem e a dosagem, as matérias-primas são misturadas e o teor de água verificado. Depois ela é encaminhada ao desintegrador que irá desfazer os torrões maiores que 30 cm que estão contidos nas argilas. Para se ter um melhor resultado, em alguns casos, há a necessidade de repetir este processo. A etapa de mistura é realizada por um misturador composto por facas intercaladas que giram em sentidos opostos com a finalidade de diminuir ainda mais o tamanho dos torrões. Se necessário, acrescenta-se água à mistura (Motta *et al*, 2001). Em seguida, encaminha-se a argila para a laminação, onde serão desagregados os torrões e a homogeneização da massa é obtida. Na Figura 2.3 são apresentadas algumas etapas do processo de fabricação de produtos de cerâmica vermelha.

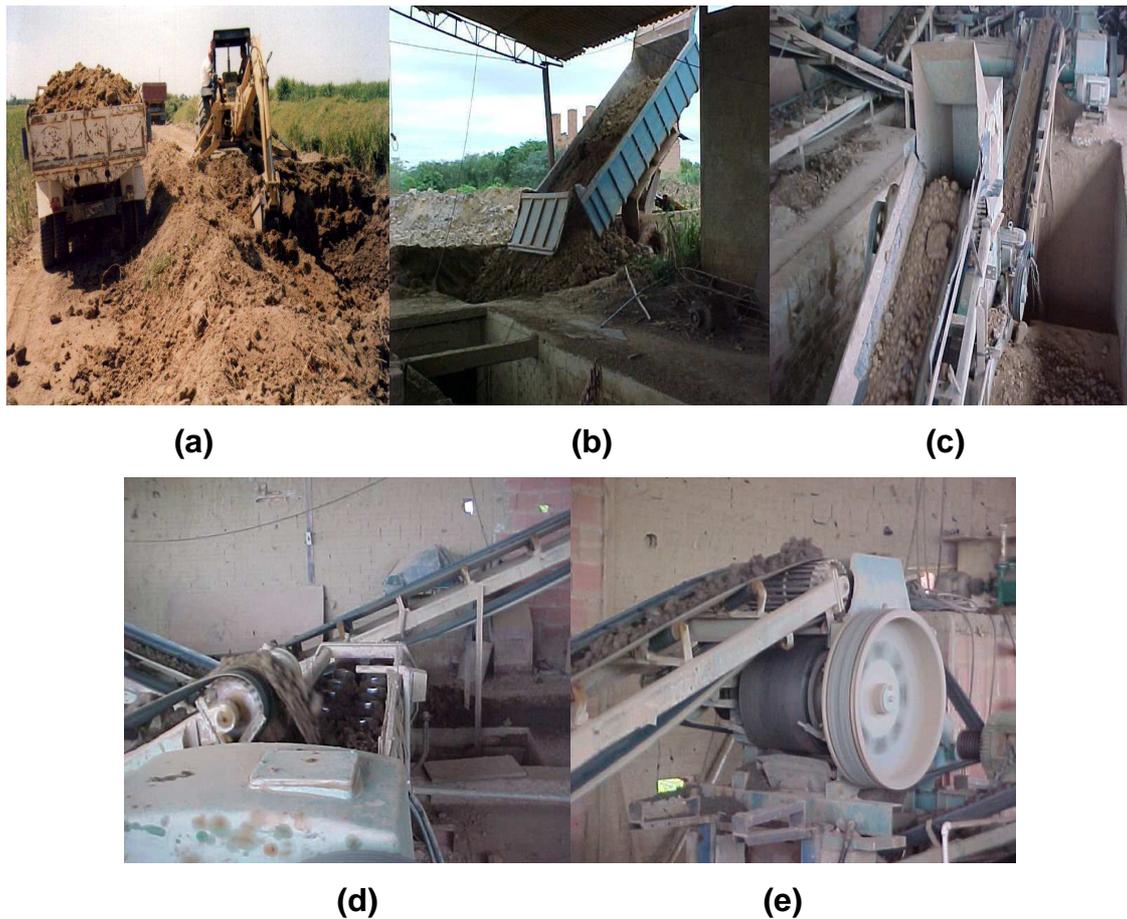


Figura 2.3 – Etapas do processo de Pré-preparo da massa dos produtos cerâmicos (a) Extração da matéria-prima; (b) Preparação da massa; (c) Mistura da massa; (d) Homogeneização; (e) Laminação

2.2.5 – Conformação

A conformação é a etapa do processo que dá forma à peça. Existem pelo menos quatro métodos de conformação, que são: tornearia, colagem, extrusão e prensagem. A escolha de cada método específico vai depender das condições de trabalho das massas, do tamanho das peças, das dificuldades de fabricação, das tolerâncias especificadas, do fator econômico, etc.

A conformação, de produtos de cerâmica vermelha para a construção civil como tijolos, blocos cerâmicos e telhas, pode ser realizada por dois tipos de técnicas: por extrusão e prensagem.

2.2.5.1 - Conformação por extrusão

A extrusão é o método mais utilizado na indústria de cerâmica vermelha, por ser mais econômico, mas gera produtos de menor valor. A partir da década de 50, esta tecnologia sofreu algumas alterações (Ribeiro *et al*, 2003). Este processo de conformação industrial tem se revelado essencial nas indústrias cerâmicas, mostrando grande potencialidade na obtenção de produtos técnicos. A extrusão é uma técnica de produção associada à elevada produtividade, principalmente para produtos de seção transversal constante (Ribeiro *et al*, 2003; Reed, 1995).

As composições extrusadas incluem cerâmicas óxidas e cerâmicas não-óxidas tais como carbetos e nitretos. Os materiais de construção tradicionais como: tijolos e telhas, refratários (tubos de proteção dos termopares), isoladores elétricos de porcelana e manilhas. Os substratos podem ser extrudados em uma espessura menor que um milímetro, podendo-se obter peças com geometrias complexas e de baixo custo de produção (Reed, 1995).

O equipamento responsável pela extrusão é a extrusora, conforme mostrado na Figura 2.4. Em seu interior há um eixo helicoidal (hélice) que gira, comprime e arrasta a massa argilosa ou plástica para dentro da cavidade. A compressão, exercida sobre a massa argilosa a conduz através das aberturas de uma matriz de formato apropriado. Graças a sua plasticidade, a massa assume a forma de um prisma cuja seção corresponde à abertura da matriz.

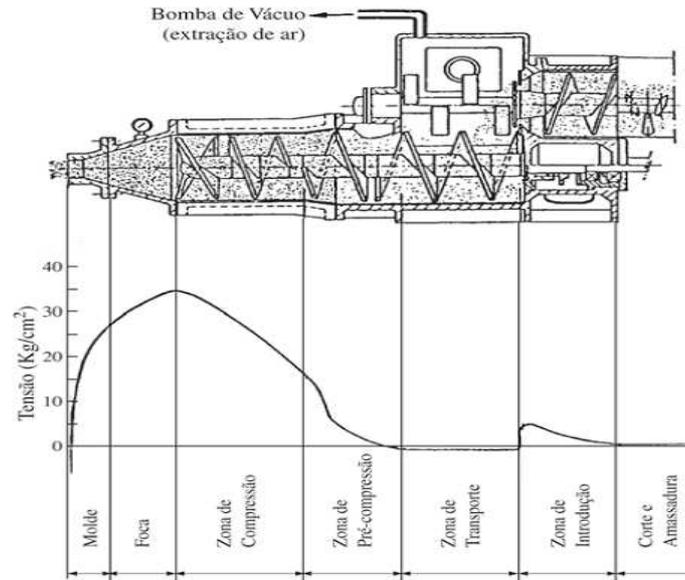


Figura 2.4 - Corte de uma extrusora de dupla hélice, com o respectivo gráfico de pressões exercidas no seu interior e a identificação das diferentes zonas (Ribeiro *et al*, 2003).

No interior da extrusora, as forças de compressão apresentam dois picos em zonas diferentes (Figura 2.4). O primeiro representa baixa intensidade que surge logo no fim da primeira hélice, junto ao cortador interno na entrada da câmara de vácuo, onde surge a primeira restrição à passagem da massa. O outro pico tem o início na zona de pré-compressão e máximo na entrada da sobre boca, onde se tem mais intensidade, definindo a zona onde se desenvolvem as forças de compressão do material e desgastes elevados dos componentes da extrusora (Ribeiro *et al*, 2003).

A plasticidade da massa intervém na qualidade do produto final. Para isso, sempre que possível deve-se extrudar as massas na zona de máxima plasticidade, evitando maiores problemas operacionais e desvantajosos em termos de extrusão (Ribeiro *et al*, 2003).

2.2.5.2 - Conformação por prensagem

A prensagem é a operação de conformação baseada na compactação de um pó granulado (massa) contido no interior de uma matriz rígida ou de um molde flexível, através da aplicação de pressão. A operação compreende três etapas ou fases: (1) preenchimento da cavidade do molde, (2) compactação da massa e (3)

extração da peça. Este é o procedimento de conformação mais utilizado pela indústria cerâmica devido à sua elevada produtividade, facilidade de automação e capacidade de produzir peças de tamanhos e formas variadas, sem contração de secagem e com baixa tolerância dimensional (Albajo, 2000).

A compactação pode ser feita em baixa pressão onde os grãos conseguem fluir e se arranjar no interior das cavidades da matriz. O aumento da pressão gera a deformação plástica dos grãos, diminuindo a porosidade intergranular do corpo, porém esta deformação ocorre somente sobre pressões extremamente elevadas (Albajo, 2000).

Em relação à produção de peças que possuem seções menores em relação ao seu comprimento, exerce-se a pressão somente sobre a face maior com o intuito de facilitar a extração da peça (Albajo, 2000).

2.2.6 - Corte

O corte é a operação que dimensiona o comprimento da peça, ou seja, proporciona a padronização a ser seguida de acordo com o modelo que está sendo processado.

Os cortadores podem ser automáticos e manuais.

Os automáticos são utilizados de três maneiras como: corte vertical rápido (o fio cortante e ascendente regressa a sua posição inicial, pelo mesmo corte efetuado, ao cortar a massa desce), corte horizontal rápido (o fio volta a sua posição inicial pelo mesmo corte ou volta repetindo a operação inversa) e corte oblíquo que, acoplados á velocidade com que sai a barra de massa (Loyola, 1998).

Em relação ao cortador manual, a massa se movimenta, saindo do bocal direcionado por rolos geralmente de plásticos duros ou em madeira envolvida de feltro, para evitar a aderência da massa. Os fios que são esticados sobre um aro móvel e regulamente espaçados ao longo dos elementos de modo a dimensionar, podem cortar transversalmente o bloco de massa, passando entre os roletes (Loyola, 1998).

2.2.7 - Secagem

A etapa de secagem tem por objetivo eliminar a água utilizada na etapa de conformação, necessária para a obtenção de uma massa plástica (Vieira, 2003). Devido à complexidade de formas das peças, a etapa de conformação utiliza uma quantidade de água relativamente alta, entre 16 e 26% dependendo das matérias-primas utilizadas (Más, 2002). A secagem pode ser feita em galpão ou estufa, sendo a secagem em galpão mais utilizada pelas olarias. As perdas durante o processo de secagem giram em torno de 5 %. Após a secagem, o produto deve ter resistência suficiente para possibilitar a manipulação que o acabamento e o transporte até a queima do corpo cerâmico exigem (Holanda e Silva, 2011).

Argilas muito plásticas requerem muita água para conformação, implicando em uma retração de secagem elevada. A secagem deve ser feita de maneira lenta e controlada para que não ocorram defeitos (Tubino e Borba, 2006).

Existem vários processos de secagem de produtos cerâmicos, são eles:

2.2.7.1 - Secagem Natural ou Secagem ao Ar Livre

Nesta secagem é aproveitada a capacidade que tem o ar ambiente de secar. Portanto, deve-se fazer com que o ar circule sem obstáculo no secador. Estes secadores são barracões cobertos para que haja proteção da chuva. São construídos aproveitando a direção dominante do vento.

Não devem ser demasiado longos para que a secagem seja mais uniforme. O tempo de secagem depende da região e das condições atmosféricas, que oscilam muito. Inverno e verão. Esta secagem é muito utilizada para peças de grande volume, cuja remoção da água é difícil (Soares, 2007).

As peças moldadas com extrusora, mais compactas que as moldadas manualmente, são levadas diretamente aos secadores, empilhadas numa altura de acordo com a resistência da massa. As peças moldadas manualmente devem permanecer no chão até que possam suportar a pequena carga no empilhamento. Este empilhamento é feito deixando espaços entre as peças através dos quais circula e se renova o ar de secagem (Loyola, 1998).

2.2.7.2 - Secadores de Fornos

A dependência entre a secagem natural e o clima, tem levado à busca de alternativas. Há muito tempo que se emprega a secagem em prateleiras dispostas ao redor do forno ou montadas sobre este para aproveitar o calor irradiado. Em alguns casos, se aproveita também o calor procedente da zona de resfriamento do forno, permitindo assim um trabalho contínuo, mesmo em locais onde o inverno é muito intenso (Soares, 2007).

O ar quente procedente do forno produz um movimento contínuo na massa de ar do secador, que, no contato com os tijolos arrasta consigo a umidade. A parte mais alta do telhado tem aberturas de ventilação, por onde escapa o ar úmido (Loyola, 1998).

2.2.7.3 - Secagem Artificial

Baseia-se na absorção da água, em forma de vapor, pelo ar aquecido. Para que a secagem tenha continuidade é necessário eliminar seguidamente o ar carregado de umidade. Na secagem ao ar livre, em barracões cobertos, a quantidade de vapor d'água é relativamente pequena, sendo suficiente a ventilação natural. Entretanto, nos secadores artificiais, onde a quantidade de vapor é muito maior, faz-se necessário a ventilação artificial através de chaminés ou ventiladores que produzem uma corrente regulável de ar (Loyola, 1998).

Por ser o ar quente mais leve, o primeiro se eleva no interior do secador, até se colocar em contato com os produtos úmidos. Ao se transformar a água em vapor, o ar se esfria e aumenta de densidade, voltando ao fundo do secador, de onde tem de ser retirado (Soares, 2007).

A proporção máxima de água que o ar pode evaporar aumenta muito com a temperatura. Pelo resfriamento, dá-se o inverso. É conveniente não deixar que o ar quente carregado de vapor de água diminua sua temperatura em contato com as peças que secam, para não ultrapassar o limite de saturação, o que viria causar condensações, amolecendo a massa e provocando deformações.

2.2.7.4 - Secador de Câmara

Consiste em certo número de câmaras dispostas uma ao lado da outra com prateleiras, nas quais os produtos colocados se submetem em todo volume da câmara às mesmas variações de temperatura e umidade. É conveniente que as câmaras recém-carregadas sejam alimentadas com ar quente úmido aspirado das câmaras em final de secagem e não com ar seco quente (Júnior, 1998).

O ar quente úmido inicia o aquecimento dos produtos, dilatando seus poros, o que facilita a saída da umidade do interior da peça para o exterior, umidade esta que não é eliminada enquanto o ar é úmido.

Quando os produtos estiverem quentes e predispostos a ceder a umidade é que se começa a circular o ar quente seco para finalizar a secagem (Júnior, 1998).

Deve-se determinar com muito cuidado, por ensaios, o momento da passagem do ar de uma câmara a outra para que os resultados sejam satisfatórios.

2.2.7.5 - Secador túnel

Tem a forma de um túnel longo, preenchido com vagonetes, os quais deslizam sobre trilhos, ajustados uns aos outros, sem espaço livre. A entrada e a saída dos vagonetes se efetuam através de portas de carga e descarga situadas nas extremidades, o que tem como objetivo diminuir as perdas de calor. O ar quente circula em contracorrente, isto é, entra pelo extremo de saída do vagonete e é aspirado próximo à porta de entrada através de uma chaminé. A carga deve ser de fluxo contínuo, com velocidade programada de secagem, principalmente para materiais mais sensíveis (Júnior, 1998).

2.2.8 - Queima

As propriedades finais do processo cerâmico são adquiridas na etapa de queima. Esta etapa é a mais importante para a fabricação, cujo objetivo é a ocorrência das reações e as transformações químicas e físicas dos componentes da massa, de maneira a conferir ao corpo cerâmico as propriedades necessárias a sua utilização (Pinheiro, 2009).

A queima é considerada a etapa “mais cara” da fabricação de cerâmica devido ao elevado custo para o suprimento da fonte térmica, visto que a queima é um processo essencialmente energético. A queima industrial de cerâmicas implica na aplicação de grande quantidade de energia, consumindo altos volumes de combustível. Este combustível pode ser óleo, gás ou lenha, sendo a lenha a combustível mais acessível às cerâmicas brasileira (Vieira, 2003).

Ao longo dos anos o setor da indústria de cerâmica vermelha tem experimentado as mais diversas mudanças referentes à política energética, principalmente quando o combustível utilizado é derivado do petróleo. Esta instabilidade leva os ceramistas a procurar alternativas energéticas, na tentativa de adequar os seus custos produtivos à realidade do mercado consumidor, para permitir a sobrevivência da empresa. E com a introdução do gás natural na matriz energética do país, principalmente com a construção do gasoduto Bolívia-Brasil, surge à expectativa para os ceramistas de uma solução mais duradoura para a questão “combustível”, mas os investimentos para a conversão dos fornos são expressivos, principalmente em um setor composto por pequenas empresas e que historicamente trabalha com uma margem de ganhos reduzida (Jahn *et al*, 2003).

O município de Campos dos Goytacazes (RJ) se beneficia com a rede de gasodutos, oriundos da bacia de Campos e da reserva gigante da bacia de Santos. Além disso, é a localidade onde se encontra o maior número de empresas cerâmicas utilizando este energético combustível no país. No entanto, quando se compara com o número total de empresas na região, a participação do uso do GN (Gás Natural) é ainda muito incipiente. A explicação para este fato está no preço do GN em relação ao insumo substituto mais próximo que é a lenha. Apesar da sua disponibilidade, o custo do GN em relação ao custo total e o preço final praticado pelas empresas de cerâmica da região impedem uma maior difusão do uso do GN nos processos produtivos. Como resultado, os baixos preços praticados pelas cerâmicas e a sua baixa rentabilidade desestimulam a realização de investimentos em melhorias técnicas na produção, incluindo-se os gastos com a conservação para o GN (Pacheco, 2005).

A utilização do gás natural implica em menor produção de CO₂, frente a combustíveis como óleo e lenha nativa, e apresenta as vantagens deste ser um combustível gasoso, isento de enxofre e cinzas, fácil de controlar e queimar, com baixa produção de particulados, além de não necessitar de manuseio e possibilitar

um elevado rendimento de combustão e um menor consumo específico que a lenha (CTGÁS, 1998).

É necessário ter conhecimento tecnológico para tornar-se capaz de realizar uma análise cuidadosa de todo o processamento cerâmico e da matéria-prima. Desta maneira detectam-se os problemas potenciais antes deles ocorrerem e as formas de evitá-los. A introdução de ciclos de queima rápidos constitui-se numa das mais importantes inovações do setor de revestimentos cerâmicos. O comportamento das diferentes matérias-primas frente à ação do calor irá definir, em muitos casos, a tipologia de produto a serem fabricadas, suas características técnicas e as variáveis de queima empregadas, isto é, temperatura máxima de queima e duração do ciclo de queima (Pinto, 2005). Este é um estágio que deve ser alcançado por aquele que pretende aumentar a qualidade e a quantidade de produtos cerâmicos que saem dos fornos e reduzir o seu custo de fabricação.

2.2.8.1 – Tipos de Fornos

2.2.8.1.1 – Fornos de chama direta tipo caieira ou caipira

A figura 2.5 apresenta esquematicamente este tipo de forno que consiste em quatro paredes de forma retangular sem coberturas. Os lados longitudinais têm aberturas na sua parte inferior onde é colocada a lenha para a queima. Estas aberturas que se prolongam no seu interior tem cobertura feita com fileiras de tijolos separadas para dar passagem aos gases de combustão. Sobre elas são colocados os produtos dispostos de maneira tal a permitir a passagem dos gases quentes. A lateral oposta tem portas que servem de carga e descarga. A cobertura é feita com tijolos ou telhas. É estabelecido certo número de aberturas que funcionam como chaminés e que distribuídas adequadamente permitem regular o fogo.

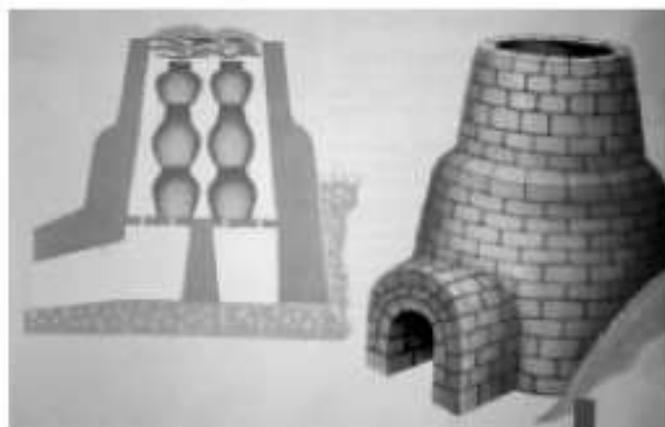


Figura 2.5 - Forno Caieira

Este forno tem consumo elevado de combustível. Há grande perda de produtos pelo excesso de queima das primeiras camadas enquanto que a última fica crua. É um forno disseminado em todo estado, ocorrendo grande concentração na Região Metropolitana de Curitiba e na região Noroeste.

Um modelo diferenciado de forno de chama direta é o Garrafão, que tem forma circular, com bocas de queima distribuídas regularmente (de 4 a 6 bocas) ao redor e externamente ao forno, assemelhado ao forno Abóbada, descrito no item seguinte. O calor é conduzido por baixo do forno, sobe pelos crivos, pelas peças e sai pela parte superior do forno, por uma espécie de chaminé, localizada na porção central e superior do mesmo, dando ao conjunto um formato de uma grande garrafa, ou garrafão.

2.2.8.1.2 – Fornos tipo chama invertida ou chama reversível

Os gases quentes primeiramente sobem ao longo das paredes interiores do forno e distribuem-se entre as peças a queimar, atravessando-as em sentido descendente, para passar à galeria de gases através dos orifícios da soleira, chamados de crivos, reunindo-se em um canal que conduz à chaminé. Este sistema é o que apresenta uma melhor distribuição da temperatura, porque os gases mais quentes, que têm tendência a elevar-se, são aspirados para baixo pela ação da chaminé. Por essa razão, é possível obter uma melhor distribuição do calor no interior do forno proporcionando uma queima mais uniforme.

É grande a variedade de tipos de forno utilizados, sendo variações de costumes regionais. O forno cuja seção horizontal é circular, e geralmente com seis fornalhas, é conhecido como Abóbada, apresentado na figura 2.6.



Figura 2.6 – Fornos Abóbada

Quando retangular, com câmaras de combustão ao longo de uma das paredes e o chaminé, ou chaminés do outro lado, é conhecido como Corujinha. Quando são muitas as chaminés, uma para cada fornalha é conhecido como forno igreja. Quando é construída com duas seções retangulares geminadas, sendo que o duto de gases passar pela parede comum dos dois fornos é conhecido como Catarina. Existe outra versão deste tipo de forno, onde os gases saem por orifícios na parede do fundo, e não por crivos, é conhecido como forno Paulista.

2.2.8.1.3 - Forno contínuo – Hoffmann

A figura 2.7, apresenta um forno de queima contínua, com zona de fogo móvel e carga fixa, com grande aproveitamento de calor denominado por forno contínuo ou Hoffmann. Este por sua vez, tem forma alongada com canal de aquecimento que varia de 60 a 100 metros. O canal está dividido em câmaras (de 12 a 20) as quais não são separadas por paredes, mas sim, com uma folha de papelão, fazendo a divisão das mesmas. Cada câmara tem uma porta na parede externa que serve para carga e descarga que se fecha durante a queima e, uma abertura na parte interna que pode ser controlada e permite o fluxo dos gases ao canal que dá acesso á chaminé.

Um forno Hoffmann em operação tem todas as câmaras cheias e portas fechadas, a não ser as câmaras que estão sendo carregadas e descarregadas. Duas folhas de papelão separam a última câmara carregada, permitindo que a secagem dos produtos se complete, sem a incidência dos gases de combustão. As câmaras centrais se encontram em plena queima. A alimentação de combustível é feita pela parte superior, circulando os gases de combustão por entre as peças a queimar.

O ar frio entra pelas portas de carga e descarga e passa pelos produtos a serem queimados. A partir da última câmara carregada até a zona de queima, o ar tem temperatura crescente. Este procedimento promove o resfriamento dos produtos, com o aproveitamento do calor que se dirige à zona de queima, o que representa economia de combustível.

Ao deixar a zona de queima, os gases de combustão, em sua trajetória, trocam calor com os produtos, resfriando-se. Com isso os produtos se aquecem antes de entrar na zona de queima. Com o intuito de se ter bom rendimento e economia de combustível, tanto o ar frio como os gases de combustão devem passar por um maior número possível de câmaras.

Os gases de combustão não devem entrar em contato direto com a última câmara carregada, razão pela qual esta se encontra isolada com as divisórias de papelão em ambos os lados. Os gases de combustão são portadores de cinzas, enxofre, fuligem, vapor de água, que, incidindo sobre os produtos frios e úmidos, causaria prejuízos.



Figura 2.7- Forno Hoffmann

2.2.8.1.4 - Forno túnel

É um forno de queima contínua. Tem a forma de um túnel comprido (de 80 a 110 metros de comprimento). Os produtos a serem queimados são introduzidos por um extremo do forno em vagonetes que deslizam sobre trilhos, aquecendo-se progressivamente pelos gases de combustão que se dirigem em sentido contrário até a chaminé, conforme apresentado na figura 2.8.

Os vagonetes carregados avançam até atingir a zona de queima, empurrados por outros vagonetes que se introduzem a intervalos de tempo regulares. Os produtos entram pela extremidade de enforna. São aquecidos gradativamente até atingir a temperatura máxima de queima, permanecendo nela tempo suficiente para que o calor se distribua por igual em toda a peça. Em seguida, são resfriados, paulatinamente, até a temperatura ambiente antes da desenforna na outra extremidade do forno.



Figura 2.8- Forno túnel

2.2.8.2 - Reações produzidas durante a queima

A queima provoca variações nas propriedades físicas, químicas e mecânicas da peça cerâmica, diferenciando-se de acordo com a matéria-prima utilizada na fabricação. Estas variações estão exemplificadas a seguir.

- Físicas e químicas. Mudanças na estrutura química e cristalina, na porosidade, na cor, no tamanho (dilatação ou contração), aumenta a resistência a umidade, aumento da estabilidade a certos agentes químicos, etc.

- Mecânicas. Aumento da resistência à compressão, à tração, à abrasão, etc (Monteiro *et al*, 2007).

As mudanças nas propriedades decorrem de reações químicas provocadas pelo aumento da temperatura da peça cerâmica.

São estas reações:

- Desidratação- Perda de umidade.
- Calcinação- Reações que provocam perda de massa na forma de gases, transformando a estrutura cristalina e a composição química da peça.
- Oxidação- Ligação de elementos químicos presentes na peça com o oxigênio da atmosfera do forno.
- Formação de silicatos.
- Sinterização (Loyola, 1998).

Segundo Souza *et al* (2003), essas reações químicas são identificadas a partir das curvas de DTA que demonstram o comportamento dos argilominerais quando aquecidos a uma determinada temperatura através de vales endotérmicos e exotérmicos. Para as argilas com predominância caulínicas verifica-se a formação de três vales endotérmicos e um vale exotérmico.

O primeiro vale endotérmico entre 60-64 °C está relacionado à remoção da água adsorvida da argila que é típica de materiais argilosos com partículas de caulinita.

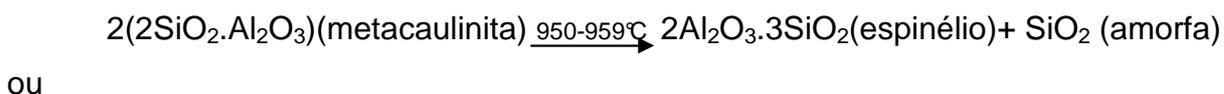
O segundo vale endotérmico entre 268-276°C está relacionada com a remoção de água da gibsita, ou seja, desidratação do hidróxidos de alumínio a uma transformação de fase de transição de alumina. Esta transição são fases metaestáveis (Carniglia e Am, 1983). Assim, o processo de desidratação da gibsita pode ser dada por:



O terceiro vale endotérmico em torno de 449-503 °C é mais elevado do que os outros. Este se deve principalmente à formação de metacaulinita. Neste caso, a remoção de água quimicamente ligada a caulinita. Esta perda de água estrutural não modifica o aspecto morfológico das plaquetas caulinitas pseudohexagonal. No entanto, esta nova fase é amorfa. A transformação de fase de caulinita para metacaulinita é dada por :



O vale exotérmico na faixa de 950-959 ° C está relacionado com a formação de novas fases cristalinas de alta temperatura, tais como a formação de mulita e espinélio após a destruição total da estrutura de metacaulinita (Chen *et al*,2000). Estas transformações de fase podem ser determinadas por:



De acordo com Souza et al (2003), as amostras com predominância caulínica, apresentam uma perda de massa total durante o aquecimento dentro de 4.47-4,98mg (14,2-16,3%). Esta perda de massa pode ser acompanhada em três etapas. Na primeira etapa, há uma perda entre 2.8-4,3%, devido à libertação de humidade livre, ou seja, relaciona-se a água mecânica normalmente adicionado durante a fabricação de produtos cerâmicos estruturais. Já na segunda etapa, ocorre uma pequena perda de massa entre 2.0-3,5%, devido, principalmente, à decomposição de gibsita, compreendendo moléculas de H₂O a partir de sua estrutura. A terceira etapa, apresenta uma maior perda de massa de 8,3-10,4% devido principalmente à remoção de água química ligado à matriz de argila.

Em relação a peças cerâmicas com maiores dimensões como o tijolo, por exemplo, mais lento deve ser o aquecimento e o resfriamento. Peças com seções mais finas podem ser queimadas mais rapidamente que aquelas de maior espessura. Massas com elevado teor de sílica devem ser queimadas com mais cuidado do que aquelas com teor mais baixo, principalmente naqueles intervalos de temperatura onde ocorrem as mudanças de volume.

É necessário saber em que faixa de temperatura acontecem essas mudanças para evitar que uma elevação rápida da mesma possa provocar defeitos e até o rompimento da peça. Em geral, a temperatura, no secador não passa de 80°C.

Nos secadores ao ar livre e instalações de secagem com baixa temperatura, a porcentagem de água remanescente é elevada e deve ser eliminada no forno. Portanto, ocorre na queima o mesmo que na secagem rápida: desenvolvem-se

tensões quando o vapor d'água formado não consegue sair com suficiente rapidez pelos poros da peça.

Para uma queima em perfeitas condições, o produto cerâmico deve entrar no forno o mais seco possível. O primeiro efeito do calor no forno é, portanto, a eliminação da água residual, o que se verifica até 120°C, devendo efetuar-se em períodos de acréscimos suaves de temperatura para evitar a quebra da peça em consequência da formação rápida de vapor.

As várias matérias-primas que compõem a massa cerâmica, e, em particular, a argila, contém água combinada quimicamente, sendo esta eliminada em seguida também pelo efeito do calor, determinando o início do endurecimento. Esta desidratação química ocorre em diferentes temperaturas para cada material, começando provavelmente ao redor de 250°C, completando quando a temperatura da peça chega a 600°C. A presença de matéria orgânica, qualquer que seja, também queimará a esta temperatura.

A água de cristalização deve ser retirada em temperatura mais baixa possível, uma vez que impede as reações de oxidação. Esta água deve ser liberada antes que tenha início a vitrificação superficial, para permitir que o oxigênio penetre nos poros promovendo a combustão do carbono e outras impurezas combustíveis.

Partes dos componentes orgânicos se decompõem em produtos voláteis que deixam a peça, partes se transformam num resíduo carbonoso difícil de queimar, visto que, o ar necessário para sua combustão deve penetrar através dos poros até o núcleo, o que requer muito tempo.

Em temperaturas em torno de 573°C têm início as transformações físicas da sílica, sendo acompanhada de grande expansão no aquecimento e contração no resfriamento. Deve-se ter um controle de velocidade tanto no aquecimento como no resfriamento para não romper a peça.

À medida que a temperatura aumenta, entre 800°C e 900°C, decompõem-se os carbonatos. Começa a se manifestar a porosidade na massa e uma diminuição da densidade. Em se tratando de argilas para cerâmica vermelha, ao redor de 1000°C, segundo a maior ou menor quantidade de fundente na massa, tem início a vitrificação, fenômeno que vem acompanhado com uma diminuição da porosidade do produto, aumentando a sua resistência.

2.3 - Pólo Cerâmico de Campos dos Goytacazes

A cidade de Campos dos Goytacazes está localizada na região Norte do Estado do Rio de Janeiro, aproximadamente a 279 Km da capital estadual, Rio de Janeiro, com uma área de 4.037 Km², sendo o maior município do Estado e possuindo uma população de 463.545 habitantes (IBGE,2007).

A indústria Cerâmica Vermelha no Brasil é um importante pólo para os parâmetros sócio-econômicos que envolvem a atividade cerâmica de Campos dos Goytacazes, pelos níveis de produção já alcançados a credenciam como estratégica para o desenvolvimento regional e estadual. (Alexandre *et al*, 2006).

O município de Campos dos Goytacazes produz cerca de 40% da produção de cerâmica vermelha do estado do Rio de Janeiro. Este por sua vez, possui mais de 100 empresas no setor, isto se justifica pela demanda ascendente do consumo de materiais, facilidades de extração e transporte, além vasta reserva de argila. A produção concentra-se na fabricação de tijolos e telhas, e em menor escala a fabricação de blocos estruturais (Bahense *et al* 2011).

As massas cerâmicas usadas nas indústrias de Campos dos Goytacazes caracterizam-se por apresentar um comportamento de queima refratário que, para alguns tipos de produtos com telhas e pisos extrudados, não permite alcançar as propriedades requeridas. Um estudo comparativo de campos dos Goytacazes com outras regiões constatou que a massa cerâmica de Campos apresenta características significativamente diferentes das demais. Dentre as características destacam-se o elevado percentual de alumina, baixo percentual de sílica, grande quantidade de minerais argilosos e elevada perda ao fogo durante a queima, associada à predominância caulinítica das argilas locais. Além de possuírem gibsita (hidróxido de alumínio) em sua composição mineralógica (Monteiro *et al*, 2003).

Almeida *et al* (2010) realizou o ensaio de composição química (Tabela 2.1) de quatro massas cerâmicas da região. Nota-se que há predomínio de óxidos de Si e de Al, os quais estão na sua maior parte combinados formando as estruturas do aluminossilicatos como a caulinita e mica muscovita, presentes nas argilas de Campos dos Goytacazes. Observa-se ainda que todas as massas cerâmicas apresentam teores elevados de óxidos corantes como Fe₂O₃ e TiO₂, resultando numa cor de queima avermelhada.

Tabela 2.1 – Composição química da massa (% em peso) da da região de Campos dos Goytacazes (Almeida <i>et al</i> , 2010).								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	SO ₃	TiO ₂	CaO	MnO
M1	45,92	37,09	9,14	2,94	2,08	1,75	0,73	0,16
M2	48,11	37,57	7,54	1,78	2,23	1,58	1,15	0,05
M3	46,75	39,36	7,91	1,99	1,66	1,72	0,47	--
M4	44,30	38,68	10,46	2,11	1,66	1,75	0,59	0,10

Este resultado foi confirmado por Pedroti *et al* (2011) quando foi realizado na região um estudo de massas cerâmicas para blocos. Através da técnica de difração de Raio X (Figura 2.9), os autores Vieira *et al* (2008) e Chripim *et al* (2010) estão comprovando a predominância do mineral Caulinítico nas amostras da região. Também foram identificados os minerais Micáceos, Gibsita (Al₂O₃.3H₂O), Goethita (Fe₂O₃.H₂O) e Quartzo.

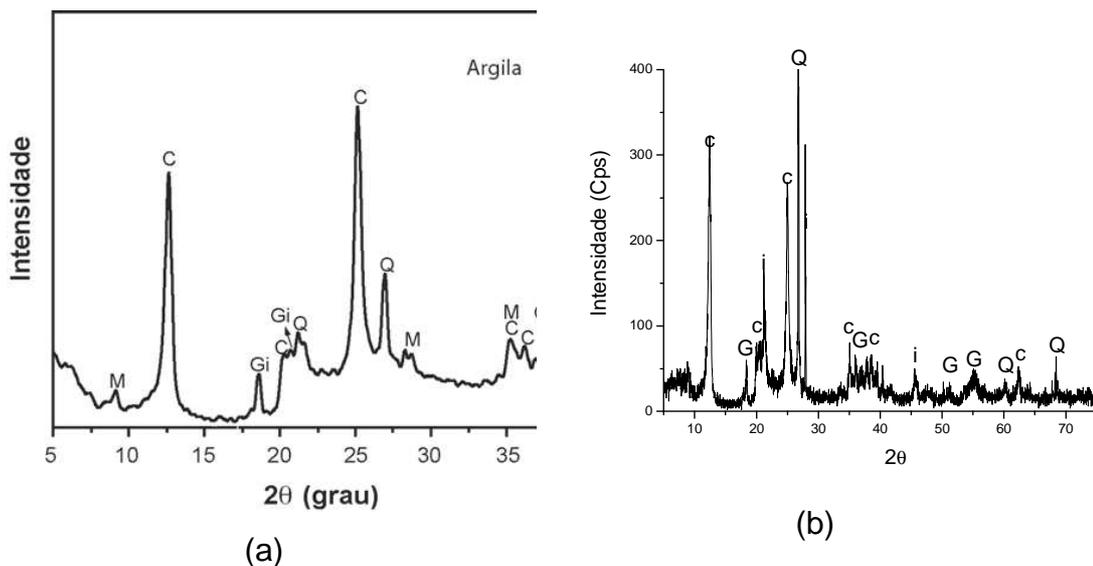


Figura 2.9 - Difratogramas da amostras de massa cerâmica da região de Campos dos Goytacazes por (a) Vieira *et al* (2008) e (b) Chripim *et al* (2010)

A Figura 2.10 apresenta um recente resultado de tamanho de partículas da massa argilosa utilizada para a confecção dos blocos extrudados na região. Pode-se observar que as frações argila, silte e areia respectivamente de 38,8, 47,5 e 13,7%, caracterizando-o como um material silte-argiloso. No estudo de argilas, para aplicação em cerâmica vermelha conclui-se que a massa argilosa possui distribuição

do tamanho de partículas recomendada para uso em cerâmica vermelha (Pedroti *et al*, 2011).

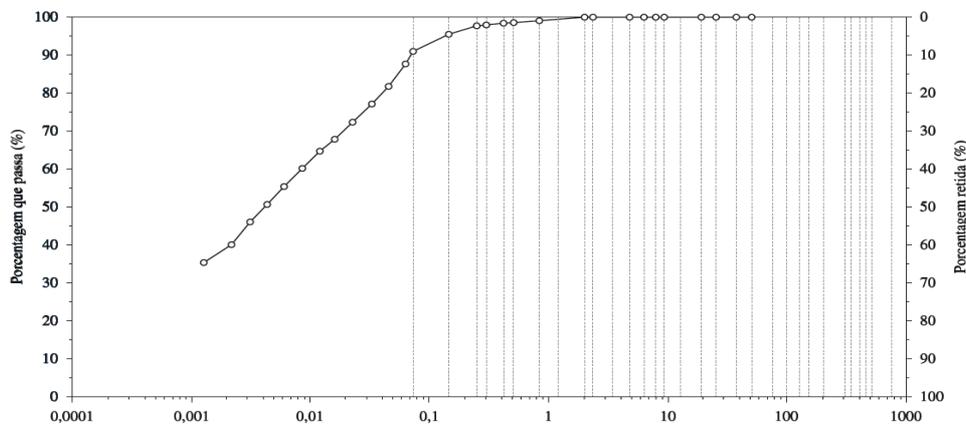


Figura 2.10 - Curva de distribuição do tamanho de partículas do material usado na confecção dos blocos cerâmicos (Pedroti *et al*, 2011).

Pinheiro e Holanda (2010) avaliaram as propriedades mecânicas em função da variação da temperatura de queima nos produtos de Cerâmica Vermelha. A microestrutura das amostras apresentam a evolução microestrutural da superfície de fratura. Em 850 °C (Figura 2.11a) a superfície de fratura é muito rugosa e a estrutura é notadamente porosa. Fica evidente a presença de um grande volume de poros abertos na forma de vazios interpartículas na estrutura. Os poros apresentam morfologia irregular típica do estágio inicial de sinterização. Quando a temperatura é elevada até 950 °C (Figura 2.11b), não ocorrem grandes modificações na estrutura da cerâmica vermelha. Nesta temperatura ainda está presente um grande volume de poros abertos. Com a elevação da temperatura até 1050 °C (Figura 2.11c), a peça de cerâmica vermelha apresenta uma superfície de fratura com textura mais suave e menos porosa. O volume de poros abertos diminuiu significativamente. O crescimento de pescoço interpartícula e a formação de uma fase líquida são os principais responsáveis pela eliminação de grande quantidade de porosidade aberta no interior da peça de cerâmica vermelha.

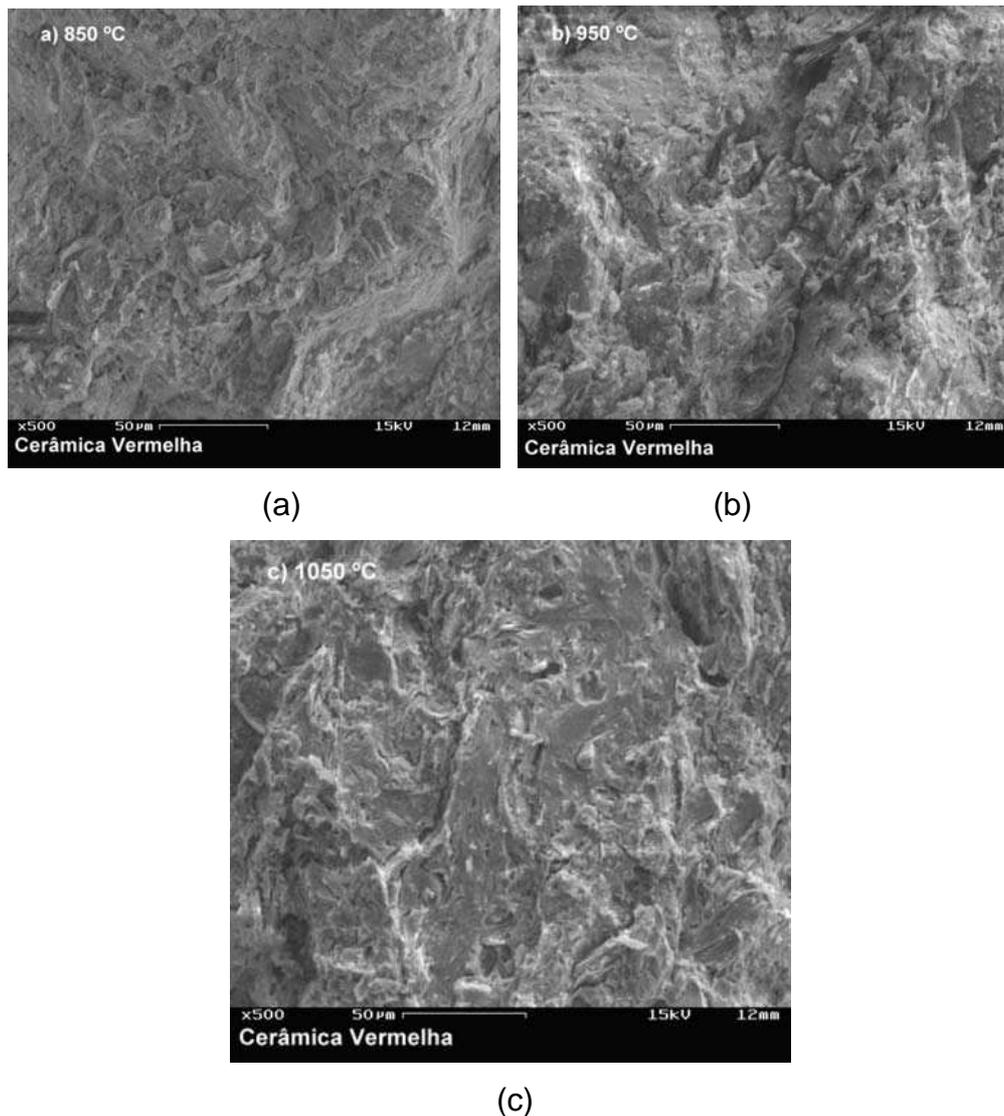


Figura 2.11 – Micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura das peças de cerâmica vermelha: a) 850 °C; b) 950 °C; e c) 1050 °C (Pinheiro e Holanda, 2010)

A Figura 2.12 apresenta os valores de tensão de ruptura à flexão e absorção de água em função da temperatura de queima. Segundo Pinheiro e Holanda (2010) pode-se observar o aumento da resistência mecânica com concomitante redução da absorção de água (porosidade aberta) com o aumento da temperatura de queima. Isto indica que a razão principal para o aumento da resistência mecânica em cerâmica vermelha é a redução da porosidade aberta no interior da peça cerâmica. De forma que dependendo da tipologia de produto de cerâmica vermelha a ser fabricado há necessidade do controle do nível de porosidade aberta. O efeito deletério da porosidade aberta sobre a resistência mecânica está fundamentalmente relacionado aos seguintes fatores: i) os poros reduzem a área da seção cruzada na qual a carga é aplicada; e ii) os poros atuam como concentradores de tensão.

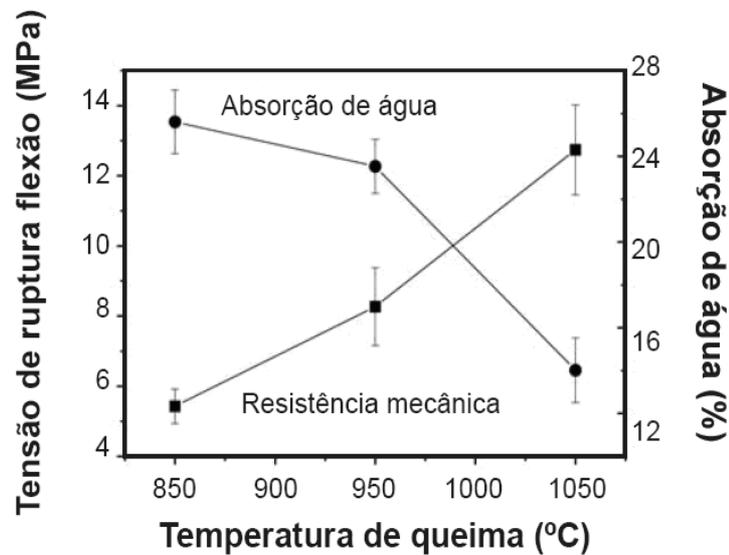


Figura 2.12 - Tensão de ruptura à flexão e absorção de água em função da temperatura de queima (Pinheiro e Holanda, 2010).

Na região de Campos dos Goytacazes existe uma grande dificuldade para a produção de telhas dentro das especificações exigidas pela ABNT.

Monteiro (*et al*, 2010), realizou um estudo através da análise da massa cerâmica de telha do município de Campos dos Goytacazes com outras três cerâmicas para telhas, oriundas do Piauí, Santa Catarina e Portugal.

Na análise de difração de raio-X de queima das massas cerâmica, foi observado que a massa de Santa Catarina apresenta na temperatura de 975°C, como fases cristalinas predominantes quartzo (Q) e hematita (H). Já na massa de Piauí apresenta além de Q e H, o feldspato potássio (FK). A massa de Portugal além de Q, Fk e H, apresenta ainda um mineral micáceo (M). Já a massa de Campos dos Goytacazes é constituída de predominantemente de Q, H e M (Vieira *et al*, 2003).

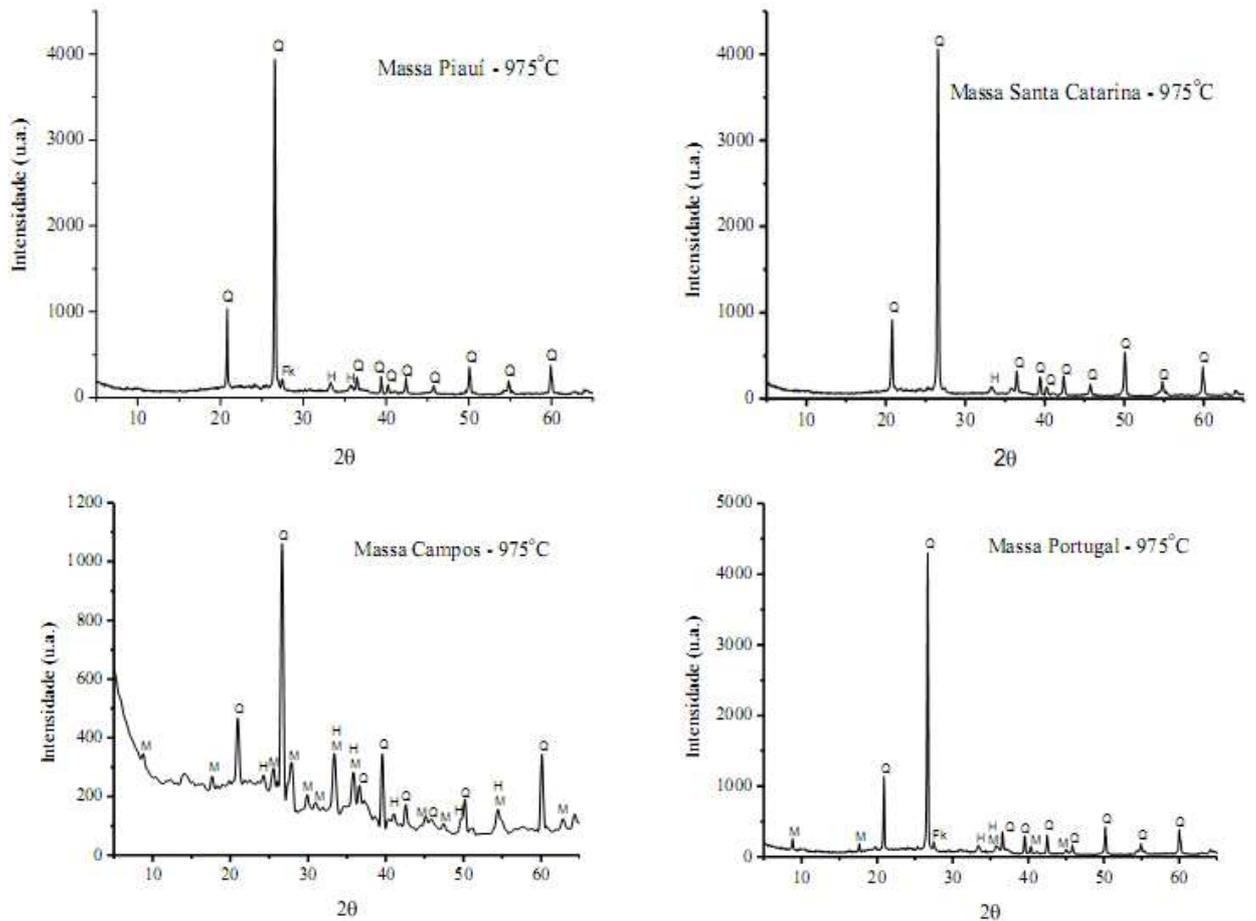


Figura 2.13 - Difratoograma de raios-X das massas cerâmicas queimadas a 975°C. Fk= feldspato potássico; H= hematita; M= mineral micáceo; Q= quartzo (Vieira *et al*, 2003).

Monteiro (*et al* 2010) após a análise da microestrutura de massas cerâmicas para telhas queimadas a 975°C, concluiu que a massa de Campos apresenta uma maior quantidade de poros abertos em relação as demais massas que são reconhecidas por suas qualidade.

Observando os resultados de publicações citados anteriormente, tem-se a necessidade de adequar as massas e o processo de fabricação de blocos e telhas cerâmicas na região de Campos dos Goytacazes com a finalidade de adquirir um produto final normalizado e de qualidade. Este objetivo será alcançado após o estudo e análise do processo de fabricação de produtos na indústria de Cerâmica Vermelha, suprimindo as necessidades das indústrias da região.

CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS DE ANÁLISE

Neste capítulo serão apresentados os materiais e a metodologia a ser empregada na execução desse projeto de dissertação de mestrado. A Figura 3.1 apresenta o fluxograma envolvendo as etapas do procedimento experimental a serem desenvolvidas.

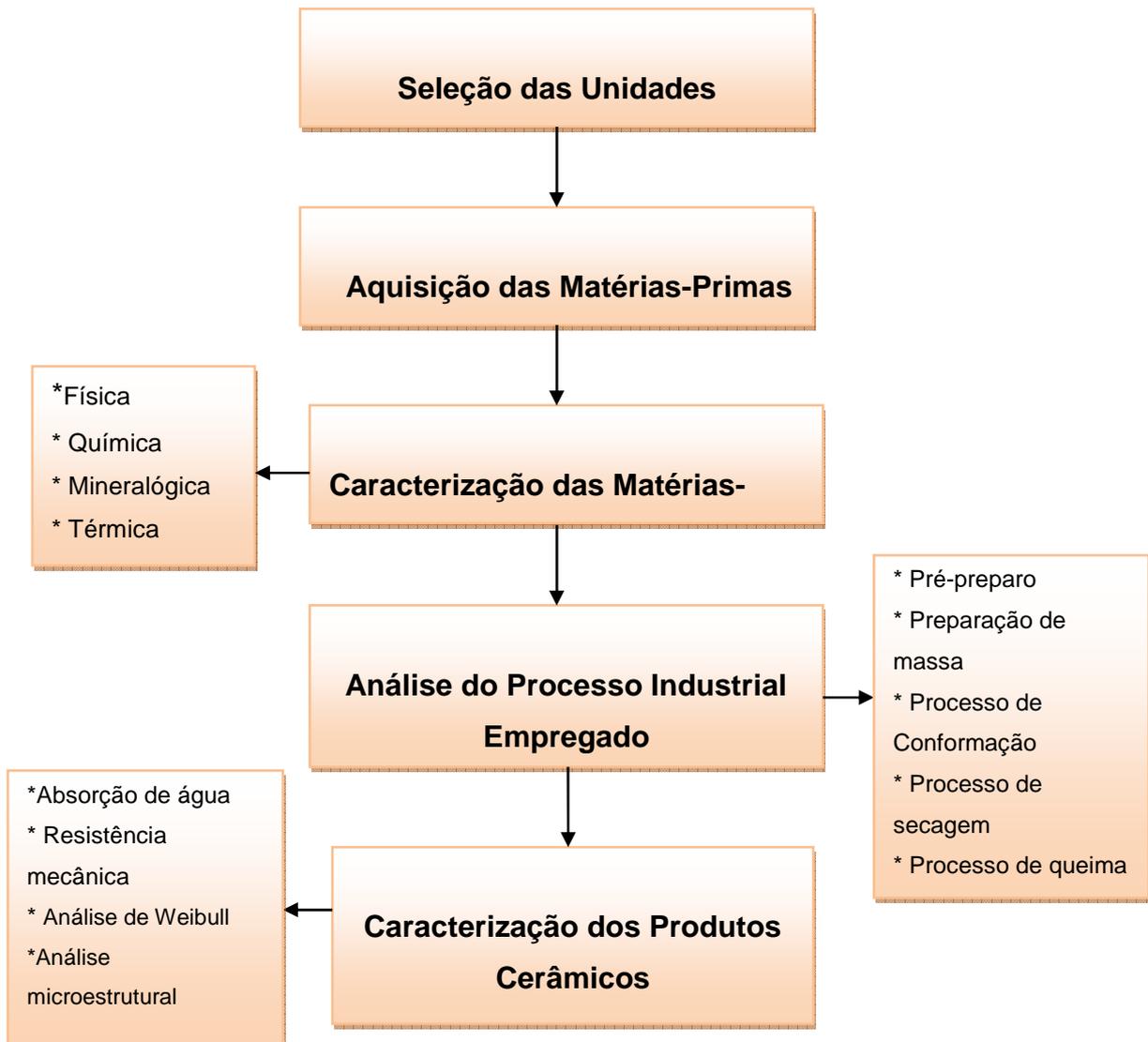


Figura 3.1- Fluxograma do procedimento experimental

3.1-Seleção das Unidades Produzidas

As unidades selecionadas para o desenvolvimento deste trabalho foram da região de Campos dos Goytacazes/RJ.

O critério de seleção para o desenvolvimento desta tese ocorreu através de visitas às cerâmicas e contato direto com os donos que por sua vez, permitiram desenvolver estudos, coletas de dados e materiais fabricados.

Para identificar as indústrias cerâmicas denominaram-se códigos como: AM1, AM2, AM3, AM4, AM5 e AM6 no intuito de preservar a integridade dos mesmos, sendo que as indústrias AM1 e AM4 possuem o processo de fabricação de blocos cerâmicos e as indústrias AM2, AM3, AM5 e AM6 produzem telhas e blocos cerâmicos.

3.2 – Matérias – primas

As matérias-primas utilizadas neste trabalho são compostas pelas massas argilosas e pelos produtos queimados produzidos pelas seis indústrias cerâmicas selecionadas da Região de Campos de Goytacazes. De modo, que as massas cerâmicas foram coletadas direto da linha de produção (após o processo de laminação) e as peças queimadas (blocos e telhas) foram coletadas direto do forno (pós processo de queima). Uma vez coletadas as amostras foi desenvolvida a parte de procedimento experimental relatado no fluxograma da figura 3.1. Este trabalho foi realizado para a caracterização das matérias-primas utilizadas nas indústrias e a qualificação dos materiais por elas produzidos.

Vale ressaltar que as massas coletadas não apresentavam aditivos em sua formulação.

3.3 – Caracterização das matérias – primas

As matérias-primas foram submetidas à caracterização física, química e mineralógica utilizando as técnicas de caracterização como: difração de raio-x, fluorescência de raio-x, análise térmica diferencial, análise termogravimétrica, análise dilatométrica, análise granulométrica e análise morfológica.

3.3.1- Difração de Raios-X

A composição mineralógica das matérias-primas foi determinado por análise de difração de raios-X (DRX) em um difratômetro convencional modelo DRX 7000, marca Shimadzu (figura 3.2), utilizando-se a radiação monocromática de Cu-K_α a velocidade de $1,5^\circ$ (2θ) por minuto. As fases cristalinas foram identificadas por comparação entre as intensidades e as posições dos picos de difração com os valores tabelados pelo JCPDS (Joint Comitee of Power Diffraction Standards).



Figura 3.2 - Difratômetro de raios-x modelo XRD700, marca SHIMADZU.

3.3.2 – Fluorescência de raios-X

A composição química foi determinada por meio de espectroscopia por fluorescência de raios-x, num equipamento Shimadzu, modelo EDX 700(figura 3.3), acoplado a um computador para o processamento de dados.

Esta análise foi realizada para identificar os elementos presentes na amostra (análise qualitativa) e estabelecer a proporção em que cada elemento se encontra presente (análise quantitativa) em termos dos seguintes óxidos: SiO_2 e Al_2O_3 .



Figura 3.3 - Equipamento modelo EDX – 700 – marca Shimadzu.

3.3.3 – Análise Térmica

Nesse trabalho foram utilizadas duas técnicas de análises térmicas: Análise térmica diferencial (ATD) e Análise termogravimétrica (ATG). Estas análises apresentam a mudança de energia térmica dos minerais e a variação da massa em função da temperatura.

As análises foram realizadas no equipamento modelo BP300, marca Bp Engenharia (Figura 3.4), com uma velocidade de aquecimento de 10°C/min até temperatura de 1000°C.



Figura 3.4 – Equipamento de Análise térmica BP 300

3.3.4 - Análise Granulométrica e Plasticidade

As análises granulométricas das amostras de argilas foram determinadas de acordo com a NBR 7181 (ABNT, 1984), pelo processo combinado de peneiramento e sedimentação. As propriedades plásticas foram determinadas segundo as normas NBR 6459-84(Limite de Liquidez) e NBR 7180-84(Limite de plasticidade), através da determinação dos limites de consistência de Atterberg.

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

$$IP = LL - LP$$

onde IP – Índice de plasticidade, LL – limite de liquidez e LP – limite de plasticidade.

3.3.5 – Análise Morfológica

A análise morfológica foi determinada por microscopia eletrônica de varredura/EDS, modelo SSX 550, marca SHIMADZU (Figura 3.5). As análises foram realizadas nas amostras em forma de pó com o objetivo de identificar as morfologias dos minerais compostos na massa cerâmica e das peças cerâmicas acabadas com o objetivo de analisar os poros após a realização do ensaio de resistência mecânica.

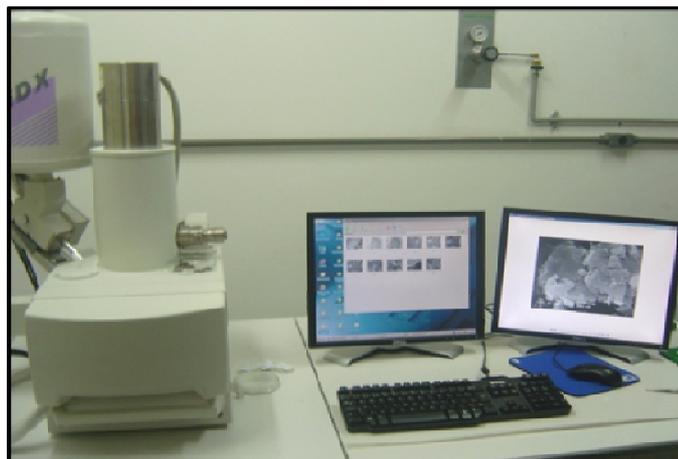


Figura 3.5– Equipamento de MEV a ser utilizado.

3.4 – Análise do Processo Industrial Empregado

Esta análise teve como objetivo documentar todo o processo de fabricação empregado pelas unidades selecionadas. Foi realizado o acompanhamento do processo através de avaliações visuais e de questionários.

3.5- Caracterização dos Produtos Cerâmicos

3.5.1 – Absorção de água

A absorção de água foi determinada de acordo com a norma ABNT NBR 15270 (2005) para blocos cerâmicos e para telhas foi utilizada à norma ABNT NBR 15310(2004). Os corpos-de-prova foram pesados após o processo de queima e, em seguida, foram submersos em um recipiente com água durante 24 horas. Após a imersão foi removido o excesso de água da superfície com um pano umedecido, para que este não absorva água dos corpos de prova. Imediatamente, após esse procedimento, as amostras foram pesados novamente para se obter a massa saturada. O valor de absorção de água foi obtido por meio da equação:

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

Onde: AA - indica a absorção de água, em porcentagem;

mu – indica a massa do corpo-de-prova saturado em água;

ms – indica a massa do corpo-de-prova seco.

3.5.2 – Resistência Mecânica

O ensaio de resistência mecânica foi realizado através das normas ABNT NBR 15310 (2004) para as telhas e ABNT NBR 15270 (2005) para blocos de vedação. Sendo que para a telha foi realizado o ensaio de flexão de 3 pontos e para os blocos de vedação foi realizado o ensaio de compressão, segundo as normas identificadas. O equipamento que foi realizado o ensaio de compressão e flexão é a máquina universal EMIC 100 kN com velocidade de análise de 1 mm/min.

A tensão de ruptura à compressão (δ_c) e a tensão de ruptura à flexão por três pontos (δ_f) foram então determinadas de acordo com as expressões:

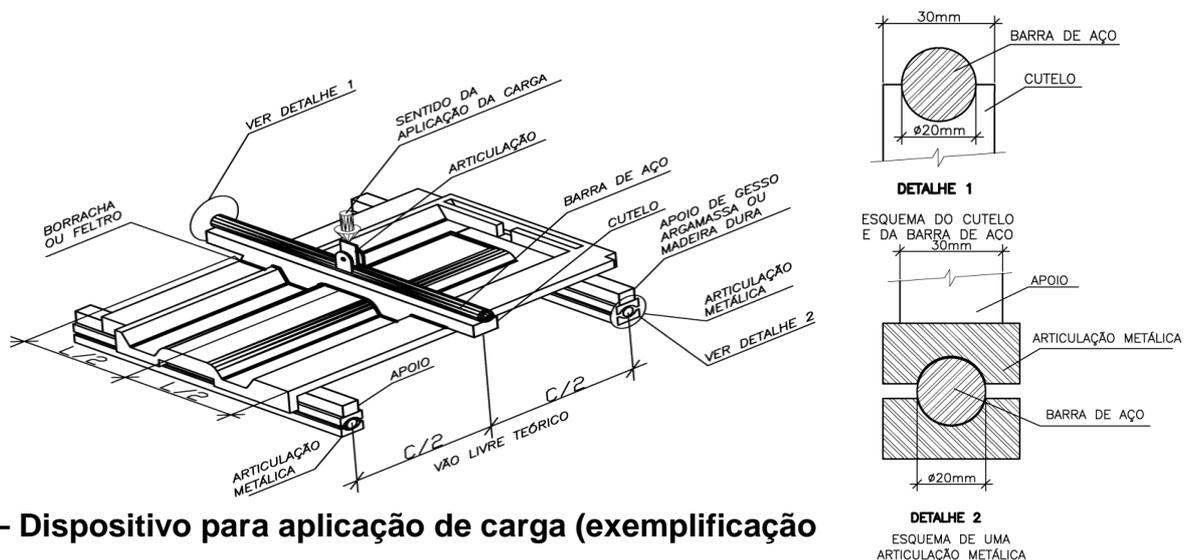
$$\delta_c = \frac{P}{A}$$

$$\delta_f = \frac{3PL}{2bh^2}$$

onde P é a carga aplicada em (N) no corpo cerâmico no momento de ruptura, A é a área do bloco cerâmico (mm), L é a distância entre os cutelos (mm), b é a largura (mm) do corpo cerâmico e h é a espessura (mm).

3.5.2.1 Ensaio de flexão para telhas

O ensaio de flexão é composto por dois apoios de secção transversal retangular de gesso, argamassa (no traço 1:1, em volume) ou madeira dura e largura aproximada de 30 mm, altura mínima de 40 mm e comprimento mínimo superior à largura total do corpo-de-prova, sendo o cutelo de madeira dura, recomenda-se o uso de uma tira de feltro ou de borracha na interface do cutelo com o corpo-de-prova, situados sobre articulações metálicas (ABNT 15270,2005), conforme a figura 3.6.

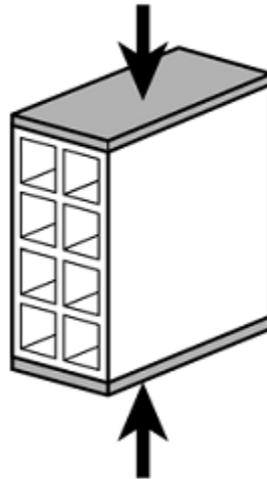


3.6 – Dispositivo para aplicação de carga (exemplificação esquemática, em telha plana de encaixe) (ABNT 15270,2005)

3.5.2.2 Ensaio de compressão

Os blocos cerâmicos foram envolvidos, em suas extremidades, com uma pasta de cimento (ou argamassa) com o auxílio de uma placa plana indeformável recoberta com uma folha de papel umedecido ou com uma leve camada de óleo

mineral. Em seguida, aplica-se à face destinada ao assentamento sobre essa pasta (ou argamassa) exercendo sobre o bloco uma pressão manual suficiente para fazer refluir à pasta interposta, de modo a reduzir a espessura. Após o endurecimento das camadas de capeamento, devem-se imergir os corpos-de-prova em água no período mínimo de 6 horas para a realização do ensaio de compressão (ABNT 15310, 2004).



3.7 – Compressão axial de blocos de vedação

3.5.3- Análise de Weibull

A resistência mecânica dos materiais cerâmicos são grandemente influenciados pelos defeitos presentes em suas microestruturas, como grãos ou poros. Através da distribuição de Weibull, tanto a probabilidade de falha sobre certa tensão, quanto o módulo de Weibull, que descreve a “qualidade” do material, podem ser obtidos. Matematicamente, o módulo de Weibull é independente do tamanho da amostra (Wang, 1997).

De acordo com Zhou e Wu (2006), módulo de Weibull tem sido usado em vários trabalhos científicos devido a sua flexibilidade em se adaptar às diversas distribuições de frequência acumuladas, bem como sua adequação ímpar ao controle de processos que envolvam falhas de materiais ou peças ao longo do tempo (Dodson,2006).

Segundo Menegazzo (2002), a probabilidade de sobrevivência de uma peça (P_s), com o esforço a que está submetida (σ_R) é:

$$P_f(\sigma_R) = \exp \left[- \left(\frac{\sigma_R}{\sigma_0} \right)^m V_e \right]$$

Onde: P_f = probabilidade de sobrevivência (probabilidade de que uma peça submetida a uma tensão máxima σ_R não se rompa).

σ_R = constante de normalização (MPa)

V_e = volume equivalente (m)³

m = constante adimensional (módulo de Weibull)

σ_0 = tensão característica

O valor de (V_e) depende do volume da peça e da forma de aplicação da carga (flexão em 3 pontos, 4 pontos, etc). A constante “m” caracteriza a dispersão da medida da resistência mecânica.

$$\ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - F_j} \right) \right] = m \cdot \ln \sigma_j - m \cdot \ln \sigma_0$$

A Análise de Weibull é um critério importante na determinação da confiabilidade dos materiais cerâmicos. Este consiste em tratar estatisticamente os valores de resistência mecânica, permitindo relacionar à probabilidade acumulada de fratura do material a resistência mecânica. Foi utilizado o fator $N = 30$. A probabilidade de fatura (F) foi determinada de acordo com o método de distribuição acumulada das amostras simétrica, usando um estimador de probabilidade de $F = (i - 0.5) / N$, onde i é a amostra e N é o número total de amostras.

3.5.4 – Densidade Aparente

A densidade aparente das peças queimadas foi obtida a partir da razão entre a massa do corpo-de-prova seco e sua diferença das massas imersa com a massa saturada, conforme a norma C373-72 (ASTM, 1977). A densidade aparente foi calculada utilizando a seguinte equação:

$$\rho = \frac{M_s}{M_u - M_i}$$

ρ = densidade aparente da peça (g/cm³);

M_u = Massa úmida (g)

M_s = Massa seca (g);

M_i = Massa imersa (g).

3.5.5 - Porosidade Aparente

A determinação da porosidade aparente (PA) dos corpos cerâmicos foi realizada de acordo com a norma C373-88 (ASTM), de acordo com a equação:

$$PA = \frac{M_u - M_s}{M_u - M_i} \times 100$$

Sendo: M_u - representa a massa (g) dos corpos cerâmicos saturados com água;

M_s - representa a massa (g) dos corpos cerâmicos secos ;

M_i - representa a massa (g) do corpo cerâmico imerso em água.

3.5.6 - Análise microestrutural

A análise da microestrutura da superfície de fratura das peças de cerâmica vermelha foi feita através de microscopia confocal a Laser, com o objetivo de observar a textura e porosidade existentes em cada produto de indústrias diferente. Para realizar a observação da microestrutura das peças foi utilizado o microscópio Confocal LEXT – 3D Measuring Laser Microscope Ols 4000 da Marca Olympus.

CAPÍTULO 4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados experimentais obtidos.

4.1 - Caracterização das Massas Argilosas

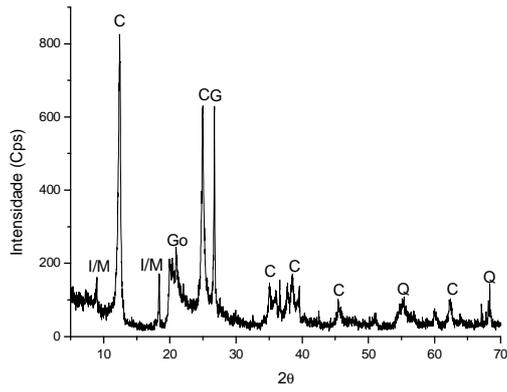
4.1.1 Análise mineralógica das massas argilosas utilizadas

A Figura 4.1 apresenta o difratograma de raios-X para cada massa argilosa estudada. Para melhor visualização e comparação, os difratogramas de raios-X para todas as massas argilosas são apresentados na Fig. 4.2. Pode-se observar que todas as massas argilosas são principalmente constituídas por argilominerais, hidróxidos e quartzo.

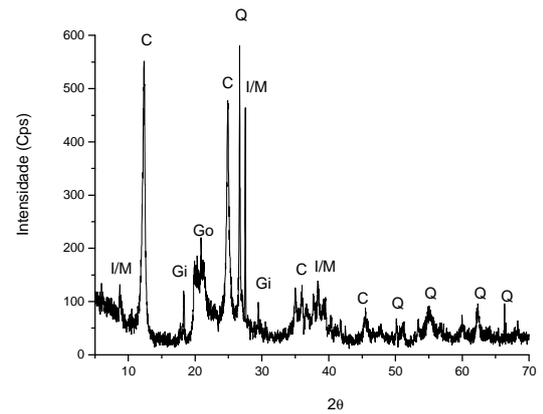
Os argilominerais são uma mistura de caulinita e illita/mica com predominância de caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Isto está de acordo com a literatura (Alexandre et al., 1999; Souza et al., 2002), que indica que as argilas vermelhas da região de Campos dos Goytacazes-RJ são predominantemente caulínicas.

Os hidróxidos presentes são goethita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) e gibsite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). A presença da goethita se deve ao elevado teor de óxido de ferro geralmente encontrado nas argilas da região de Campos dos Goytacazes-RJ. Estas argilas também apresentam, via de regra, uma quantidade pequena de hidróxido de alumínio (gibsite).

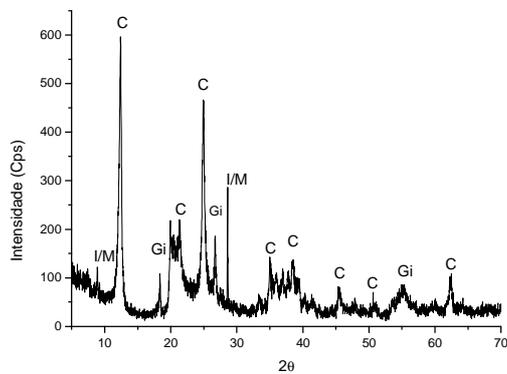
Nota-se também que todas as massas argilosas apresentam quartzo cristalino, provavelmente na forma de areia. Isto é importante devido ao quartzo influenciar o comportamento de plasticidade das massas argilosas.



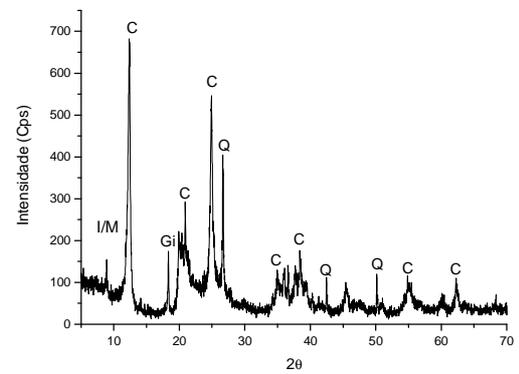
(a)



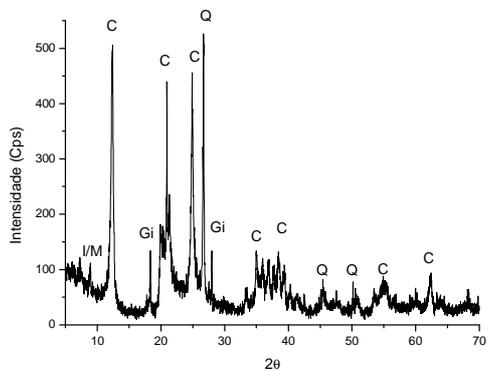
(b)



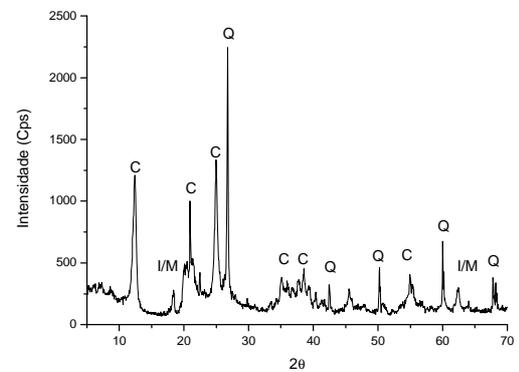
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 4.1 – Difratogramas de raios-X das amostras: (a) AM1; (b) AM2; (c) AM3; (d) AM4; (e) AM5; e (f) AM6. C – caulinita; Q – quartzo; G – gibsitita; Go – goethita; I/M – illita/mica.

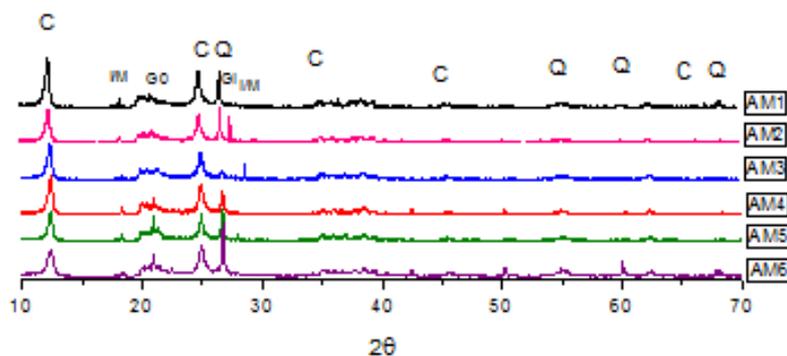


Figura 4.2 – Difratoigramas de raios-X de todas as amostras: AM1, AM2, AM3, AM4, AM5 e AM6. C – caulinita; Q – quartzo; G – gibbsite; Go – goethita; I/M – illita/mica.

4.1.2 Composição química das massas argilosas

Na Tabela 4.1 são apresentadas as composições químicas das massas argilosas estudadas neste trabalho. Os resultados mostram que quimicamente todas as amostras são constituídas essencialmente por óxido de silício (SiO_2), óxido de alumínio (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3), as quais correspondem à cerca de 80,41 a 84,72 %. Isto está de acordo com os resultados de difração de raios-X (Figura 4.1).

Tabela 4.1 – Composição química (% em peso) das massas cerâmicas.

Amostras	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	TiO_2	SO_3	CaO	V_2O_5	PF
AM1	43,17	36,54	3,76	1,73	1,64	1,47	0,53	0,16	10,92
AM2	42,20	34,26	6,97	2,00	1,59	1,78	0,62	0,62	10,37
AM3	41,91	35,01	7,80	1,67	1,65	1,52	0,44	0,11	9,68
AM4	42,04	33,97	4,40	1,81	1,63	1,51	0,47	0,47	13,92
AM5	40,36	35,38	8,87	1,52	1,49	0,45	0,24	0,07	11,43
AM6	40,09	32,91	8,00	2,16	1,56	1,50	0,74	0,14	12,72

PF = perda ao fogo.

O alto teor de óxido de silício (SiO_2) está relacionado à presença de silicatos (caulinita e illita/mica) e, também, a sílica livre. O óxido de alumínio (Al_2O_3) está em sua maior parte combinada formando silicatos e também na forma de hidróxido de alumínio (gibbsite).

As massas argilosas apresentam percentual de óxido de ferro (Fe_2O_3) na faixa entre 3,76 e 8,87 %, o qual é o responsável pela coloração avermelhada dos produtos de cerâmica vermelha após queima. As massas argilosas também apresentaram baixo teor de materiais fundentes (K_2O e CaO), exceto óxido de ferro. Isto é típico das argilas vermelhas da região de Campos dos Goytacazes-RJ.

As massas argilosas apresentaram perda ao fogo relativamente alta da ordem de 9,67 a 13,92 %. A perda ao fogo está relacionada principalmente à caulinita, hidróxidos e possivelmente à presença de matéria orgânica nas argilas utilizadas na formação das massas argilosas.

4.1.3 Caracterização física das massas argilosas

Na Figura 4.3 são apresentadas as curvas de distribuição de tamanho de partículas das massas argilosas estudadas, cujos dados granulométricos estão resumidos na Tabela 4.2.

Na Tabela 4.2 estão apresentados os resultados de análise granulométrica, limites de consistência de Atterberg e massa específica real dos grãos. Deve-se ressaltar que, as massas argilosas utilizadas para produção de blocos cerâmicos (tijolos furados) são aquelas denominadas de AM1, AM2, AM3 e AM4, enquanto que as massas utilizadas na produção de telhas são AM5 e AM6.

Tabela 4.2- Caracterização física das massas argilosas										
Massas	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)			LL (%)	LP (%)	IP (%)	Classificação (*)	ρ (g/cm ³)
			Fina	Média	Grossa					
AM1	45,0	44,4	9,1	1,0	0,5	47,4	23,2	24,2	CL	2,58
AM2	53,2	27,8	11,9	5,7	1,4	55,5	28,9	26,6	CH	2,61
AM3	67,3	24,7	6,2	1,4	0,4	59,6	29,8	29,8	CH	2,62
AM4	47,8	30,2	16,7	4,5	0,8	47,0	16,8	30,1	CL	2,56
AM5	67,4	26,3	5,2	0,9	0,2	74,3	30,5	43,8	CH	2,60
AM6	49,7	39,0	9,1	1,7	0,5	58,4	33,8	24,6	CH	2,62

ρ - massa específica real dos grãos; classificação () - CH = argilas inorgânicas de alta plasticidade; CL = argilas inorgânicas de média plasticidade.*

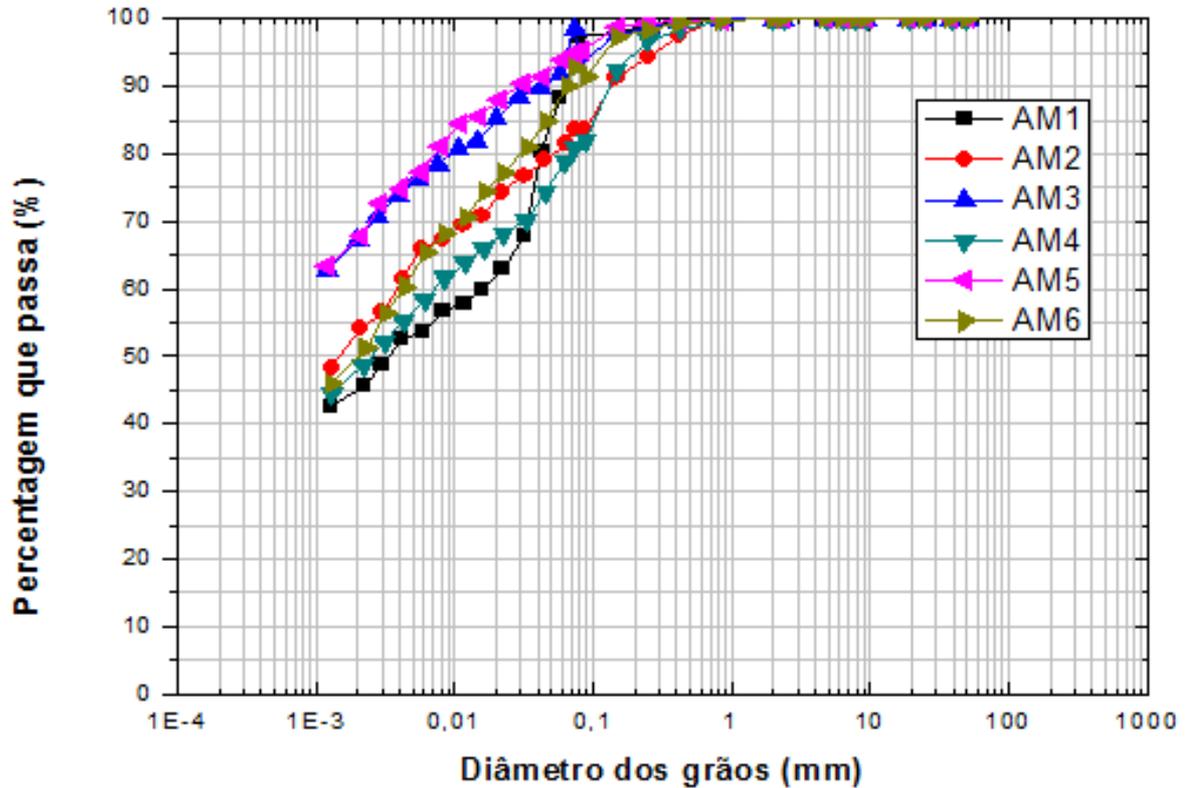


Figura 4.3 - Curvas granulométricas das massas argilosas estudadas.

Os resultados mostram que as massas argilosas apresentam larga variabilidade em termos de tamanho de partículas. Em geral, as massas argilosas apresentaram as seguintes faixas granulométricas:

- a) Fração argila ($< 2 \mu\text{m}$): entre 45,0 e 67,4 %;
- b) Fração silte ($2 \leq x < 63 \mu\text{m}$): entre 24,7 e 44,4 %;
- c) Fração areia fina ($63 \mu\text{m} < x < 200 \mu\text{m}$): entre 5,2 e 16,7 %;
- d) Fração areia média ($200 \mu\text{m} < x < 600 \mu\text{m}$): entre 0,9 e 5,7%;
- e) Fração areia grossa ($600 \mu\text{m} < x < 2000 \mu\text{m}$): entre 0,2 e 1,4%.

A Figura 4.4 mostra o diagrama granulométrico de Winkler com a localização das massas cerâmicas estudadas. Este diagrama apresenta quatro regiões granulométricas que compreendem as composições granulométricas dos produtos de cerâmica vermelha determinadas com base nas seguintes frações: fração $< 2 \mu\text{m}$, fração 2 - 20 μm e fração $> 20 \mu\text{m}$. Cada região está relacionada a uma tipologia de produto de cerâmica vermelha. A região I está relacionada a materiais de qualidade com dificuldade de produção que corresponde à composição granulométrica: 40 a 50 % de fração $< 2 \mu\text{m}$, 20 a 40 % de fração 2 - 20 μm e 20 a 30 % de fração $> 20 \mu\text{m}$.

μm . A região II está relacionada a produção de telhas que corresponde a composição granulométrica: 30 a 40 % de fração $< 2 \mu\text{m}$, 20 a 50 % de fração 2 – 20 μm e 20 a 40 % de fração $> 20 \mu\text{m}$. A região III está relacionada a tijolos furados (blocos cerâmicos) que corresponde à composição granulométrica: 20 a 30 % de fração $< 2 \mu\text{m}$, 20 a 55 % de fração 2 – 20 μm e 20 a 50 % de fração $> 20 \mu\text{m}$. A região IV está relacionada a tijolos maciços que corresponde a composição granulométrica: 15 a 20 % de fração $< 2 \mu\text{m}$, 20 a 55 % de fração 2 – 20 μm e 25 a 55 % de fração $> 20 \mu\text{m}$.

Pode-se observar na Figura 4.4 que todas as massas argilosas estudadas estão fora das faixas granulométricas sugeridas pelo diagrama de Winkler para fabricação de produtos de cerâmica vermelha. Isto significa que, a princípio, as massas argilosas não apresentam uma formulação adequada em termos de grãos finos, médios e grossos.

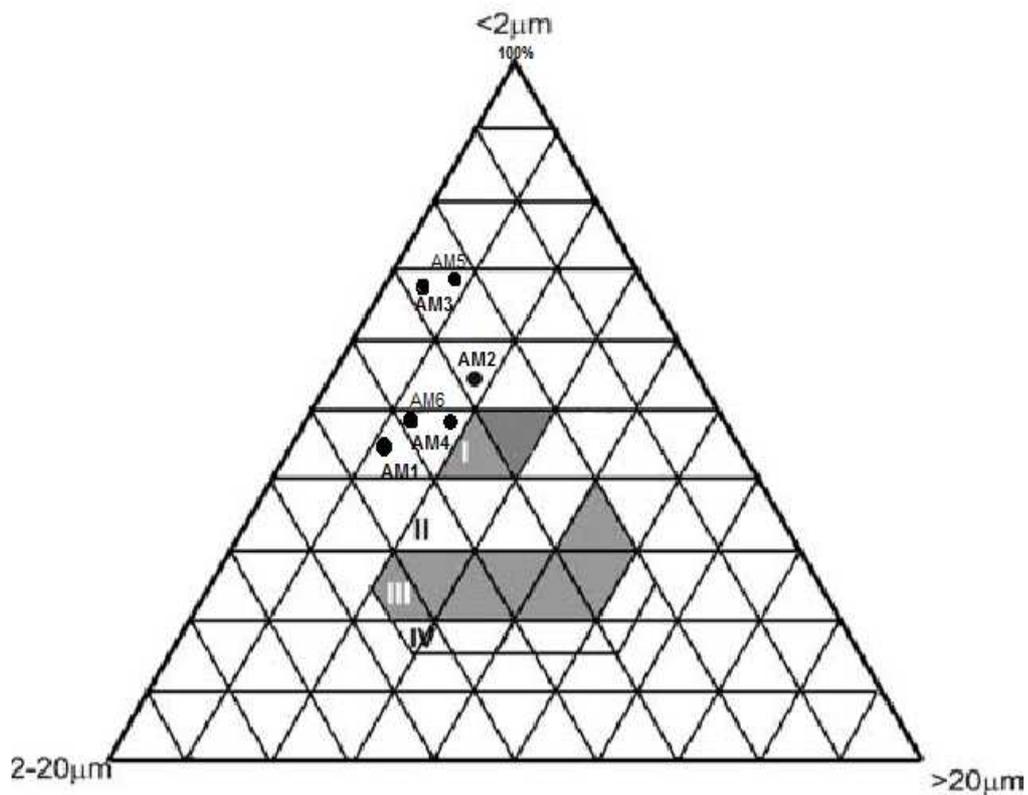


Figura 4.4 – Localização das massas cerâmicas no diagrama de Winkler. Classificação das regiões: I- materiais de qualidade com dificuldade de produção, II- produção de telhas, III- tijolos furados e IV- tijolos maciços.

Os valores de massa específica real (Tabela 4.2) dos grãos das massas argilosas estão compreendidos na faixa de 2,56 a 2,62 g/cm^3 . Estes valores estão

dentro da faixa de massa específica real dos grãos (2,55 a 2,77 g/cm³) das argilas vermelhas do município de Campos dos Goytacazes/RJ (Chrispim *et al.*, 2010).

A Tabela 4.2 também apresenta os valores dos Limites de consistência de Atterberg das massas argilosas utilizadas neste trabalho. Foram obtidos os seguintes valores para os limites de consistência de Atterberg: limite de liquidez (LL): 47 a 74,3 %, limite de plasticidade (LP): 16,8 a 33,8 % e índice de plasticidade (IP): 24,2 a 43,8 %. A larga variabilidade dos limites de consistência de Atterberg reflete a grande variação granulométrica das massas argilosas.

Segundo a classificação do USCS (Sistema Unificado de Classificação de Solos), as massas argilosas podem ser classificadas em termos de plasticidade como: i) AM2, AM3, AM5 e AM6 são classificadas como argilas inorgânicas de alta plasticidade; e ii) as massas AM1 e AM4 como argilas inorgânicas de média plasticidade.

De acordo a literatura (Macedo, 1997; Santos, 1992; Ferreira *et al.*, 1999; e Pinatti *et al.* 2000), os valores estabelecidos para os limites de consistência de Atterberg como parâmetros para o processo de conformação por extrusão em cerâmica vermelha são: 30 a 60 % para o LL, 15 a 30% para o LP e 10 a 30 % para o IP.

A Figura 4.5 apresenta a localização das massas cerâmicas no gráfico de prognóstico de extrusão a partir dos resultados do limite de plasticidade e índice de plasticidade. O prognóstico de extrusão indica as regiões mais favoráveis (região ótima e região aceitável) em termos de plasticidade para conformação das peças de cerâmica vermelha via o método de extrusão. Observa-se que apenas uma amostra (AM1) está localizada na região de extrusão ótima e duas amostras (AM2 e AM3) estão na região de extrusão aceitável. As amostras AM4, AM5 e AM6 estão localizadas fora das regiões recomendadas para extrusão.

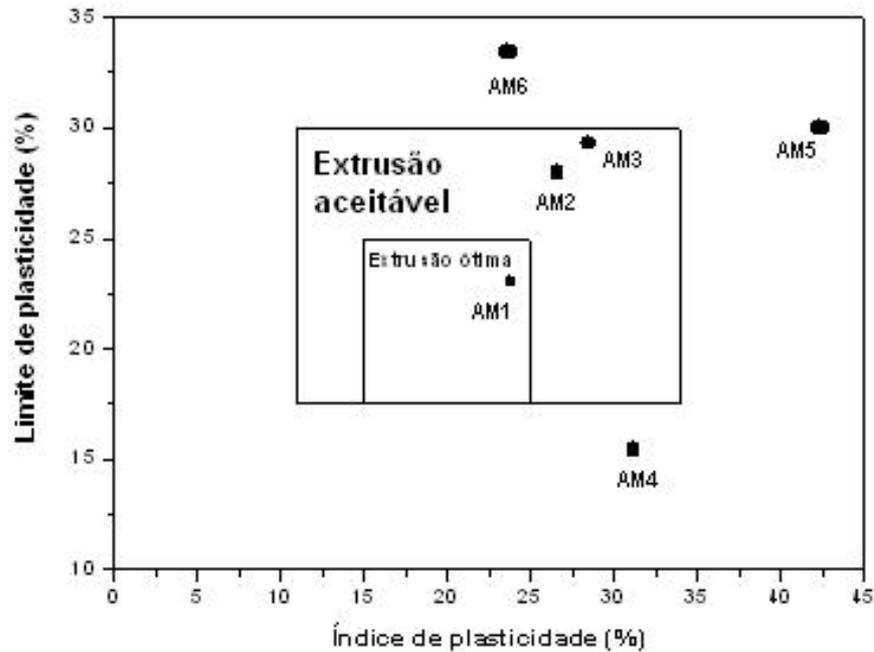


Figura 4.5 – Localização das massas argilosas no Prognóstico de Extrusão.

Na Figura 4.6 estão apresentadas as morfologias das partículas observadas via microscopia eletrônica de varredura das massas argilosas estudadas. Verifica-se para todas as massas argilosas a presença de partículas finas e aglomeradas de perfil irregular, provavelmente de partículas de caulinita. Deve-se ressaltar que a morfologia das partículas da caulinita na forma de placas alongadas pseudo-hexagonais (Murray, 2000) não pode ser visualizada via microscopia eletrônica de varredura.

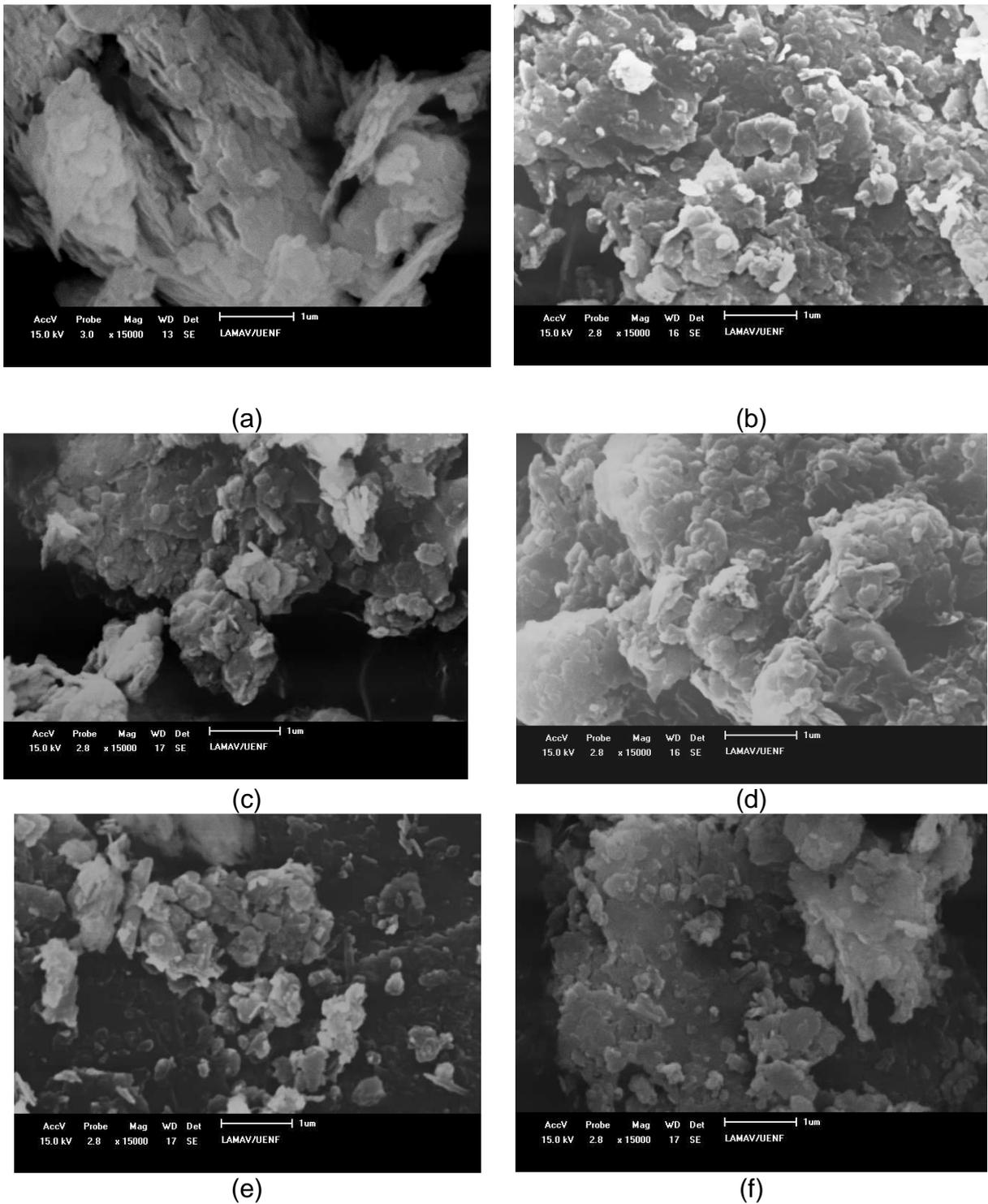


Figura 4.6 – Morfologia das partículas presentes nas massas argilosas: (a) AM1; (b) AM2; (c) AM3; (d) AM4; (e) AM5; e (f) AM6

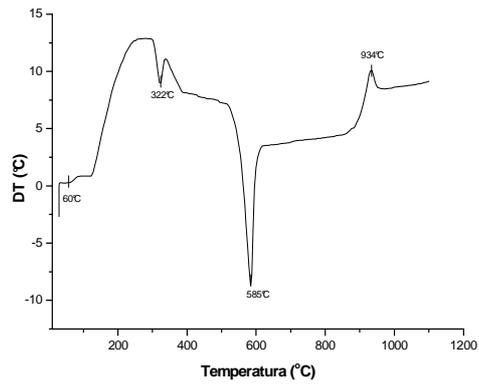
4.1.4 - Comportamento térmico das massas argilosas

A Figura 4.7 apresenta as curvas de análise térmica diferencial (ATD) para cada massa argilosa estudada. Para melhor visualização e comparação, as curvas de ATD para todas as massas argilosas são apresentadas na Fig. 4.8. De forma

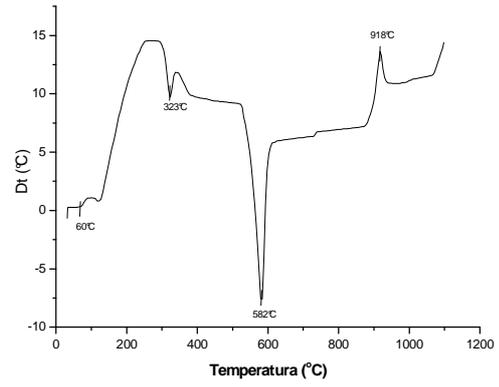
geral as massas argilosas apresentam comportamento térmico muito similar: três eventos endotérmicos e um evento exotérmico. Este comportamento térmico é típico das argilas vermelhas da região de Campos dos Goytacazes-RJ (Souza et al., 2003).

O primeiro evento endotérmico em torno de 60 a 100°C está relacionado à remoção de água fisicamente adsorvida nas partículas dos minerais presentes na massa argilosa. O segundo evento endotérmico na faixa entre 300 a 350°C representa possivelmente a desidratação de hidróxido de alumínio (gibbsite) e hidróxido de ferro (goetite) (Almeida *et al*, 2010). O terceiro evento endotérmico mais intenso na faixa entre 500 a 600°C está associada à perda da água de constituição (hidroxilas) da caulinita, o qual resulta na formação da metacaulinita amorfa. Na faixa de temperatura entre 900 e 950 °C observa-se um pequeno pico exotérmico que é característico da formação de novas fases cristalinas de alta temperatura, possivelmente relacionado à formação de mullita, espinélio Al:Si ou ainda a $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ após a total destruição da estrutura da caulinita (Santos, 1989).

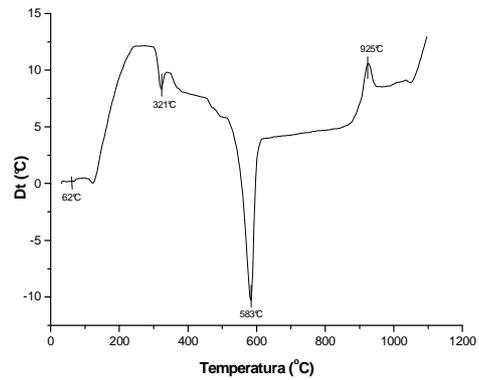
Nas curvas de análise térmica diferencial (ATD) verifica-se também que todas as amostras apresentam uma banda exotérmica na faixa de 180 a 300°C, que está possivelmente relacionado à oxidação da matéria orgânica.



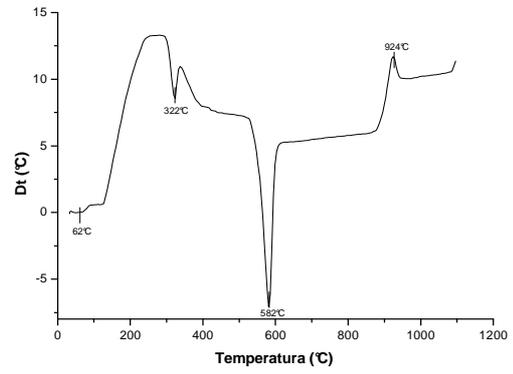
(a)



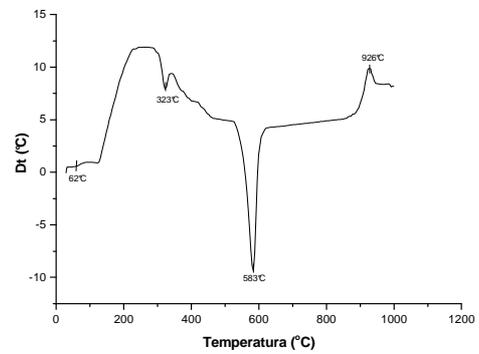
(b)



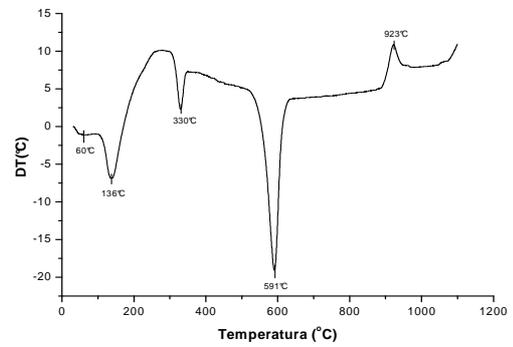
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 4.7 – Curvas de ATD das massas cerâmicas: (a) AM1; (b) AM2; (c) AM3; (d) AM4; (e) AM5; e (f) AM6.

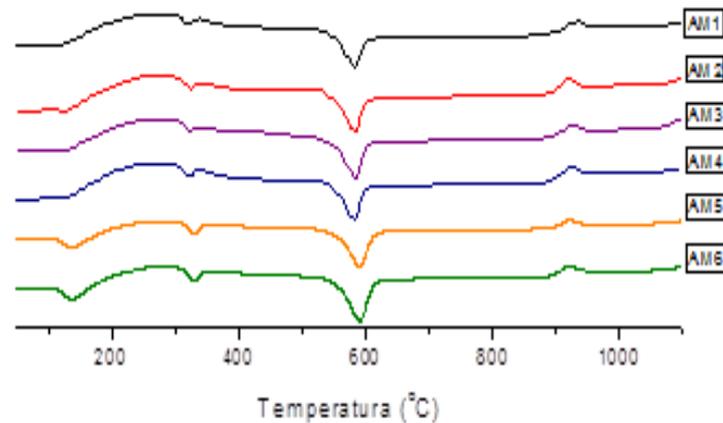
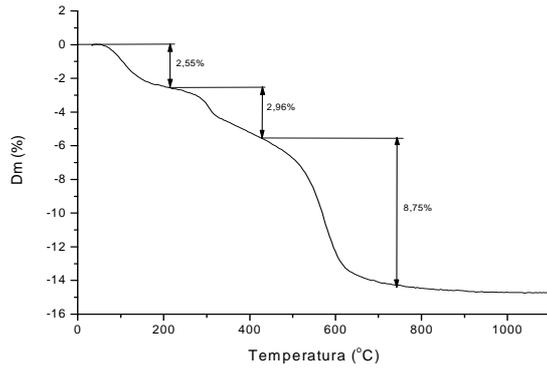


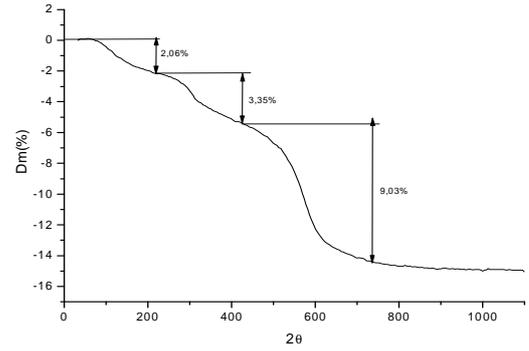
Figura 4.8 – Curvas de ATD das massas cerâmicas.

A Figura 4.9 apresenta os resultados da análise termogravimétrica (ATG) das massas argilosas. Para melhor visualização e comparação, as curvas de ATG para todas as massas argilosas são apresentadas na Fig. 4.10. Os resultados mostram que a perda de massa total das massas argilosas durante aquecimento foi na faixa entre 13,51 a 16,51 %.

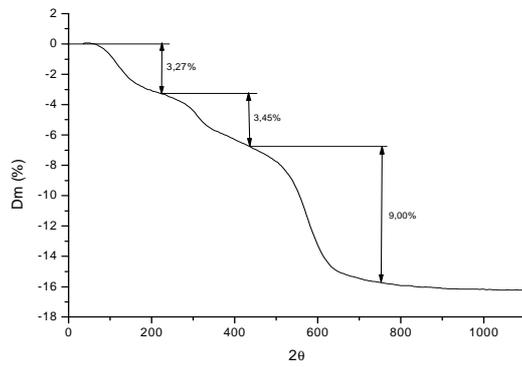
As amostras apresentaram na faixa de temperatura entre 50 e 230 °C uma pequena perda de massa da ordem de 2,06 a 3,27 %. Esta perda de massa está relacionada principalmente com a perda de água fisicamente adsorvida na superfície das partículas constituintes da massa argilosa. Na faixa de temperatura entre 240 a 450 °C observa-se uma perda de massa entre 2,81 a 3,45 % referente à eliminação de água da estrutura dos hidróxidos de alumínio e ferro. Deve-se ressaltar que a decomposição da matéria orgânica presente na massa argilosa deve provavelmente ocorrer nesta região de temperatura. Entre 460 a 750 °C a perda de massa é mais intensa e está associada principalmente à perda de água de constituição da caulinita com variação entre 7,3 a 9,56 %. Estes resultados sugerem que a temperatura de queima mais apropriada para o processo de queima das massas argilosas analisadas deverá ser acima de 750 °C, onde não haverá mais perda de massa e predominará a sinterização do material.



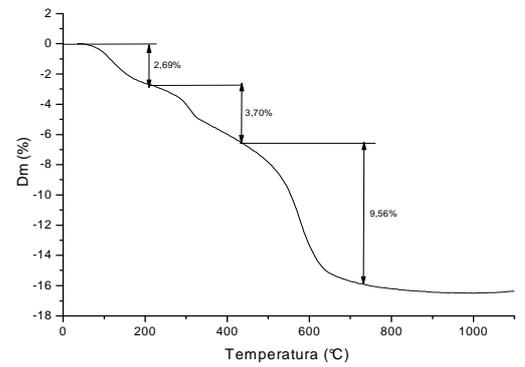
(a)



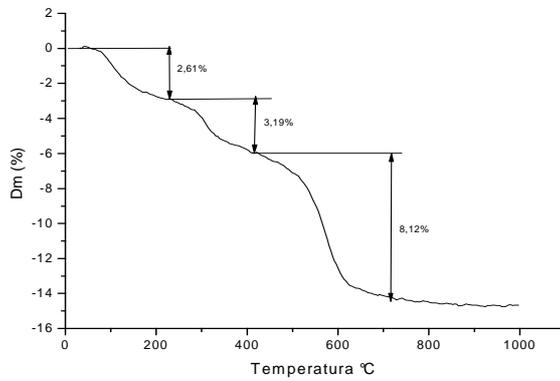
(b)



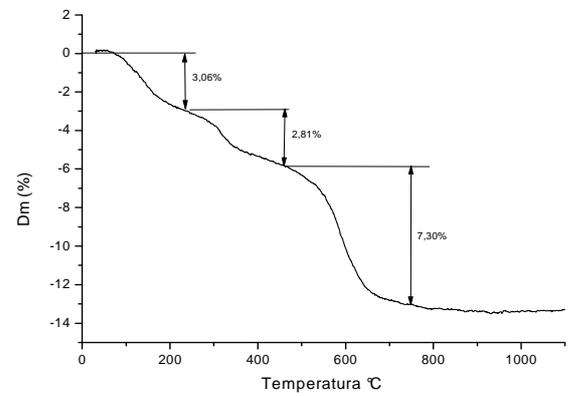
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 4.9 – Curvas de ATG das massas cerâmicas: (a) AM1; (b) AM2; (c) AM3; (d) AM4; (e) AM5; e (f) AM6.

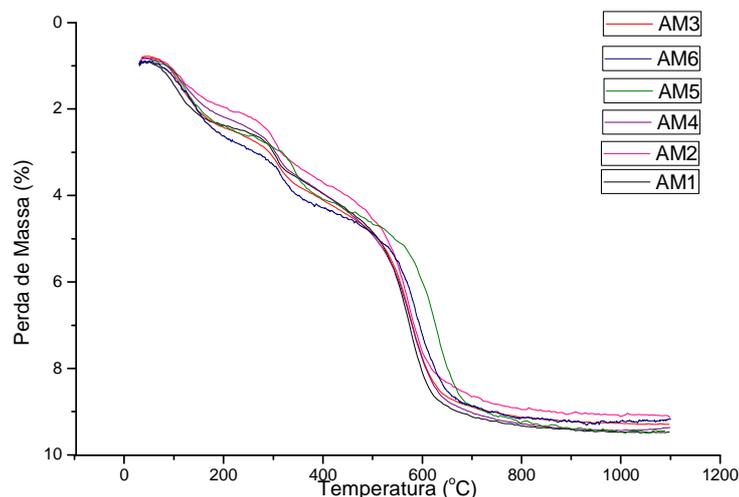
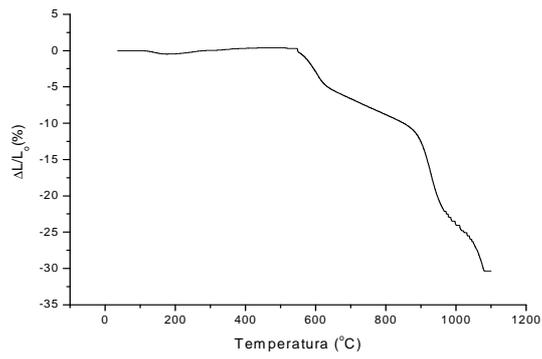


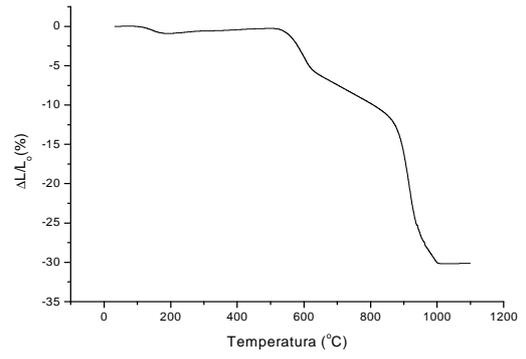
Figura 4.10 – Curvas de ATG das massas cerâmicas.

A Figura 4.11 apresenta os resultados da análise dilatométrica para cada massa cerâmica. Para melhor visualização e comparação, as curvas dilatométricas para todas as massas argilosas são apresentadas na Fig. 4.12. Todas as amostras apresentaram comportamento dilatométrico muito similar e típico de material caulinitico (Gomes, 1988). As pequenas diferenças observadas estão fundamentalmente relacionadas às diferentes quantidades de material argiloso e não argiloso em cada amostra.

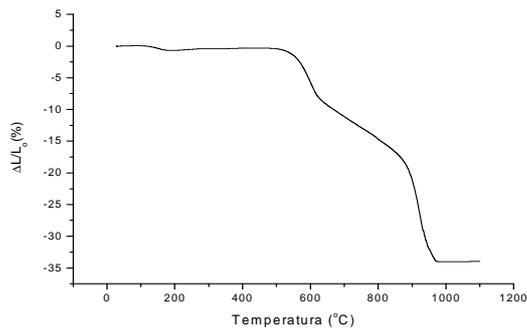
As amostras apresentam uma expansão até cerca de 500°C seguida de três retrações. A dilatação observada se deve fundamentalmente a expansão térmica que os materiais sofrem quando aquecidos. A primeira retração observada por volta de 500 – 650 °C ocorre de forma brusca, devido principalmente à aproximação das partículas pela perda de água de constituição da caulinita e concomitante formação da metacaulinita. A segunda retração por volta de 800 - 910 °C ocorre de forma menos intensa e pode ser atribuída ao início da sinterização do pó argiloso. A terceira retração por volta de 940 - 1100 °C ocorre de forma brusca, que pode ser atribuída à recristalização de novas fases cerâmicas e concomitante início da vitrificação da massa argilosa. Estes valores estão próximos das análises realizadas nas argilas e massas argilosas de Campos dos Goytacazes (Holanda e Pinheiro, 2010). Estes resultados estão de acordo com os dados de ATD e ATG.



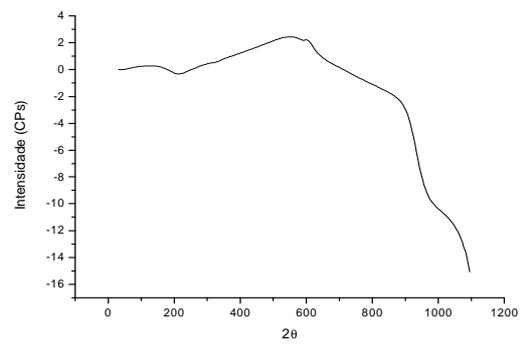
(a)



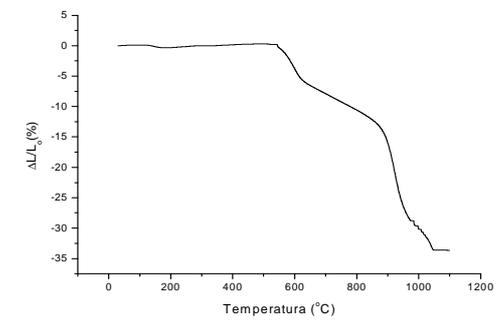
(b)



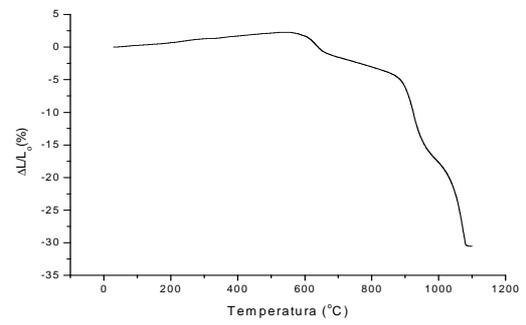
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 4.11 – Curvas de análise dilatométrica das massa argilosas: (a) AM1; (b) AM2; (c) AM3; (d) AM4; (e) AM5; e (f) AM6.

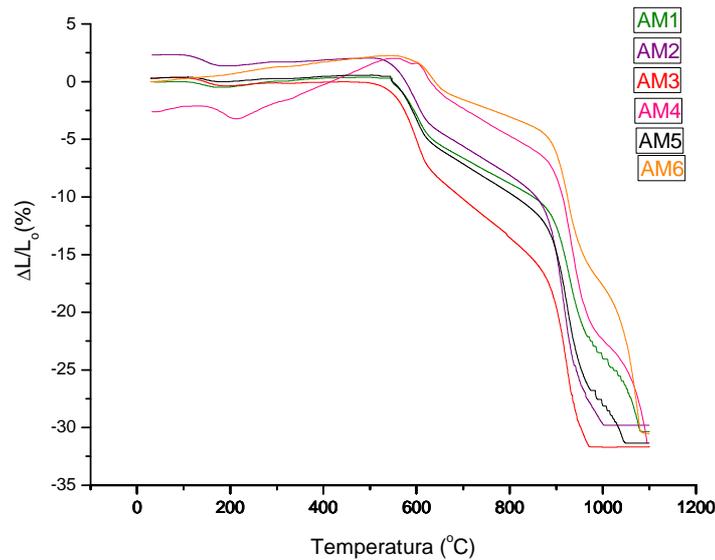


Figura 4.12 – Curvas de análise dilatométrica das massa argilosas.

4.2 - Avaliação do Processo Industrial

Neste item foi realizado uma avaliação do processo industrial empregado nas seis cerâmicas previamente selecionadas neste trabalho.

Para avaliação do processo de fabricação de cada cerâmica, aplicou-se um questionário (ver apêndice), o qual proporciona informações importantes como: produção mensal, uso das normas técnicas, procedência das matérias-primas, preparação da massa argilosa, conformação das peças, processo de secagem e queima.

O fluxograma geral das etapas do processo de fabricação de cerâmica vermelha na região de Campos dos Goytacazes-Rj é apresentado na figura 4.13. Para melhor visualização, a ilustração das etapas do processo produtivo verificado “in loco” é mostrado na figura 4.14. Pode-se se verificar que, as cerâmicas estudadas seguem a rota de processamento tradicionalmente empregada na indústria de cerâmica vermelha. A seguir cada etapa do processo será discutido detalhadamente.

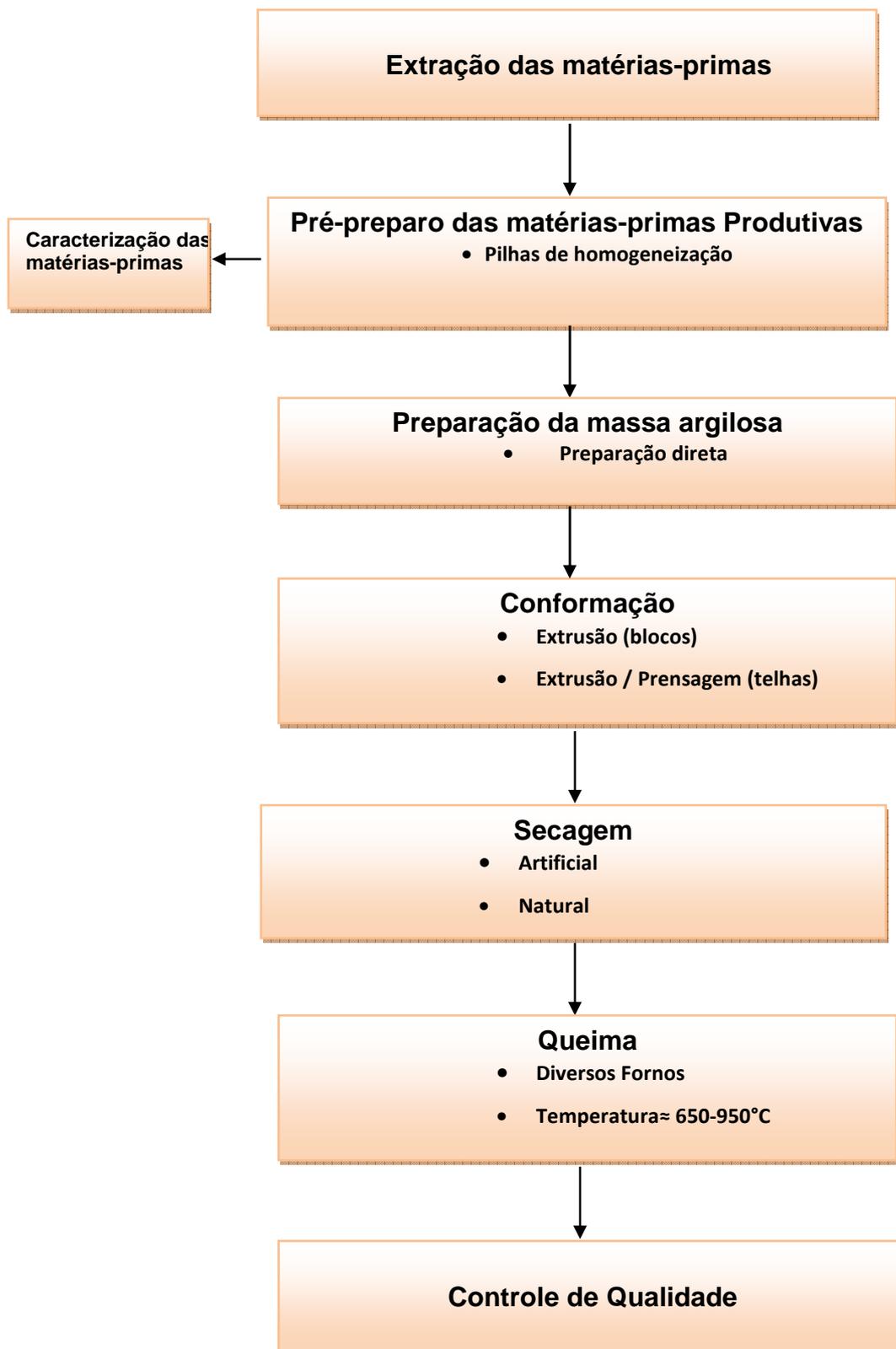


Figura 4.13- Fluxograma do Processo produtivo empregado nas cerâmicas selecionadas.



Figura 4.14– Ilustração das etapas do processo de fabricação das indústrias cerâmicas (a) Sazonamento; (b) Caixão alimentador (desintegrador); (c) Misturador, (d) Laminador e Maromba; (e) Secagem e (f) Queima.

4.2.1- Matérias-primas utilizadas

As matérias-primas utilizadas nas indústrias cerâmicas estudadas são provenientes de jazidas próprias, as quais estão licenciadas no DNPM

(Departamento Nacional de Pesquisa Mineral) para exploração das jazidas de argilas.

As jazidas de argilas vermelhas utilizadas pelas cerâmicas estudadas estão localizadas na baixada campista ao longo a rodovia RJ 216 (Rodovia do açúcar) na margem direita do Rio Paraíba do Sul. De forma que essas argilas são oriundas de sedimentos quartanários recentes (argilas sedimentares) originados de processos de decantação de material argiloso, após eventos de enchentes do Rio Paraíba do Sul (Holanda e Vieira, 2002).

De acordo com os levantamentos de dados aplicados através de questionários nas seis indústrias cerâmicas da região de Campos dos Goytacazes-RJ selecionadas para estudo verificou-se um consumo mensal de 500 a 1000 toneladas de argilas vermelhas.

Em termos de caracterização das matérias-primas cerâmicas utilizadas foi constatado à seguinte situação: i) as cerâmicas AM1, AM3 e AM5 realizam mensalmente caracterização física e mineralógica; e ii) as cerâmicas AM1, AM2 e AM6 realizam caracterização química anualmente. A cerâmica AM4 não realiza qualquer acompanhamento das características das matérias-primas argilosas utilizadas.

4.2.2- Pré-preparo das matérias-primas

A realização desta etapa no processo de fabricação dos produtos de cerâmica vermelha é indispensável para produção sem defeitos e para evitar quebras do produto final. As indústrias cerâmicas avaliadas neste trabalho fazem o processo de sazonalidade nas matérias-primas em período de 3 a 6 meses e nos aditivos por cerca de dois meses, que são preparados em camadas.

Esta etapa de pré-preparo tem os seguintes objetivos:

- Melhor trabalhabilidade da plasticidade das argilas;
- Lavagem dos sais solúveis;
 - Decomposição da matéria orgânica;
 - Diminuição das tensões causadas pelas quebras das ligações químicas.

As indústrias cerâmicas AM1, AM2, AM4 e AM6 sofrem adição de matérias primas como pó de granito e da lama de alto forno com uma porcentagem na faixa de 5 a 15% apenas para a fabricação de produtos com alto valor agregado como

telhas e placas de revestimento cerâmico. Com o objetivo de: 1) diminuir a absorção de água; 2) aumentar a tensão de ruptura à flexão; 3) diminuir a retração linear das peças cerâmica queimadas; e 4) contribuir para a economia energética durante a etapa de queima dos produtos cerâmicos (Monteiro *et al.* 2007).

4.2.3- Preparação da massa

As indústrias cerâmicas utilizam massas argilosas compostas por duas ou mais matérias-primas, além de aditivos e água. No caso da produção de peças cerâmicas na qual é utilizada apenas argila como matéria-prima, dois ou mais tipos de argilas com características diferentes entram em sua composição. Em geral são empregadas argilas de alta plasticidade, geralmente denominados de “forte” ou “gorda”, e argilas de baixo ou media plasticidade denominados de “fraca” ou “magra”.

O processo de preparação da massa argilosa nas indústrias cerâmicas é feito utilizando os seguintes equipamentos: desintegrador, misturador e laminador.

A primeira etapa da preparação da massa que ocorre no desintegrador tem como objetivo reduzir o tamanho dos sólidos. Este processo de moagem desenvolve maior contato de superfície entre os grãos facilitando a homogeneização entre os sólidos.

A partir daí são misturados as argilas e os aditivos que são colocados na massa antes do misturador, que devem seguir com rigor as formulações de massa previamente estabelecidas. Como já mencionado, as indústrias AM1, AM2, AM4 e AM5, neste momento, adiciona os resíduos de pó de granito e de lama de alto forno. Também, neste momento é adicionada a porcentagem de água na massa cerâmica.

A etapa de laminação, na preparação da massa, não é realizada em todas as indústrias cerâmicas estudadas, mas somente nas indústrias AM1, AM5 e AM6. O objetivo principal é aglomerar as partículas para melhor empacotamento do produto final. Além disso, otimiza tempo e evita paradas consecutivas durante o processo produtivo gerado por cascalhos e raízes encontrados na argila, conforme apresenta a figura 4.15.



Figura 4.15 - Processo de Laminação das massas (a) Massa cerâmica AM1 saindo do misturador para o laminador por esteira e (b) Massa AM5 laminada

Segundo Ramos *et al* (2006), a massa preparada deve ser armazenada em montes e permanecer em descanso durante um período de pelo menos 02 dias, em local apropriado, antes de ser utilizada na fabricação dos produtos. O período de descanso tem como objetivo, promover a uniformidade da umidade da massa. O local de descanso deve ser fechado e sem aeração, para impedir o ressecamento da camada superficial dos montes. No entanto, as indústrias cerâmicas avaliadas não possuem este procedimento durante a preparação da massa. A prática comum é a preparação da massa e logo após já é conformada sem nenhum tempo de descanso.

4.2.4- Conformação

A etapa do processo de conformação dos blocos cerâmicos é realizada por extrusão. Verifica-se que todas as indústrias cerâmicas analisadas possuem uma extrusora (maromba) com um sistema de vácuo acoplado que retira o ar presente na massa argilosa. Na seqüência do processo a massa argilosa é compactada através de boquilha de aço (matriz) dando forma ao produto desejado. Os cortadores que dimensionam o tamanho das peças cerâmicas são automáticos. Já na fabricação de telhas, após passagem da massa cerâmica pela maromba, a massa é prensada para adquirir a forma e dimensões do produto final.

No método de prensagem de telhas, a extrusão é uma etapa intermediária do processo de conformação, seguindo-se após o corte da coluna extrudada, a prensagem.

De acordo com os resultados do questionário, todas as indústrias cerâmicas apresentam uma produção registrada, ou seja, possui registro de produção diário, fazem o uso do controle dimensional e de peso das peças produzidas. As indústrias AM1 e AM4 não realizam controle de perda de conformação em relação às outras indústrias estudadas.

4.2.5- Secagem

A secagem é uma etapa importante no processo de fabricação de cerâmica vermelha. Este processo consiste basicamente em eliminar a água, utilizada na etapa de preparação da massa, necessária para a obtenção de uma massa plástica. A eliminação de água ocorre por evaporação através da ação de um fluxo de calor, efetuado mediante uma corrente de ar (Abajo, *et al.* 2000; Barba 1997).

As indústrias cerâmicas selecionadas para estudo possuem dois tipos de secagem: natural (Figura 4.16) e artificial. As cerâmicas AM2, AM3, AM5 e AM6 possuem secagem artificial com a temperatura estimada em torno de 100°C durante um período de 15 a 17 horas. Já as indústrias AM1 e AM4 possuem secagem natural em galpões por um período de sete dias. Este método de secagem pode se tornar um fator complicativo por não possuir controle de temperatura, apresentar deficiências técnicas, limitações de produção e estar expostos a qualquer alteração de fenômenos naturais.

O controle de temperatura só é realizado nas indústrias que utilizam o método de secagem artificial. Este método permite o controle de aquecimento ou resfriamento sobre as peças, diminuição de perdas e como com seqüência um controle sobre o processo elevando a qualidade do produto, porém seu custo inicial é elevado.



(a)



(b)

Figura 4.16 – Processo de secagem natural em: (a) Céu aberto e (b) Galpão

A Figura 4.17 apresenta a secagem artificial das amostras AM5 e AM6 que são realizadas em estufa com controle de temperatura. As amostras são colocadas em prateleiras para melhor armazenamento e cuidados com a preservação das dimensões do produto final.



(a)



(b)

Figura 4.17 – Processo de secagem artificial em: (a) Telhas sendo colocadas nas prateleiras após serem prensadas e (b) Prateleiras na estufa

4.2.6- Queima

A queima é a etapa principal da rota tecnológica de fabricação de um produto de cerâmica vermelha. Durante essa etapa manifestam várias propriedades através das transformações físicas e químicas das argilas causadas pela ação do calor.

As indústrias cerâmicas em estudo possuem os seguintes fornos: Hoffman, reversível e Abóboda. O combustível utilizado nas indústrias AM1, AM2, AM4 e AM6 é a lenha. Já as indústrias AM3 e AM5 utilizam o gás natural com o objetivo de atingir a temperatura de queima de forma mais rápida e para o equilíbrio da temperatura elevada utiliza-se a lenha como combustível.

O processo de queima dos tijolos e das telhas se inicia após a vedação das portas dos fornos. A temperatura de queima dos produtos da AM1, AM2, AM3 e AM4 são em torno de 650 a 750°C, tendo uma duração de queima em torno de 5 (cinco) dias. As empresas AM2 e AM4 não efetuam o controle de queima, tendo como consequências produtos não uniformes com várias camadas de manchas.

A queima das telhas pelas empresas AM5 e AM6 são controladas por termopar inserido dentro dos fornos com o painel de controle do lado externo do forno. Os termopares são distribuídos nas extremidades internas dos fornos sendo dois na parte superior e dois na parte inferior. A lenha é colocada a cada intervalo de 40 a 60 minutos no período mínimo de 50 horas a temperatura de 950 °C.

Após o processo de queima, efetua-se o controle dimensional das peças queimadas antes de enviar para a expedição. As perdas após queima são determinadas. No entanto, as indústrias AM1, AM2, AM3, AM5 e AM6 somente realizam eventualmente o controle das propriedades tecnológicas, como por exemplo, resistência mecânica e absorção de água, das peças fabricadas. Já a indústria AM4 não realiza ensaios físicos e mecânicos no produto final.

4.3 - Caracterização dos Produtos Cerâmicos

4.3.1- Absorção de água

A Tabela 4.3 apresenta os valores da absorção de água obtidos para as peças de cerâmica vermelha estudadas. Para melhor visualização, os dados de absorção de água são também apresentados na Figura 4.18. Na Tabela 4.3 são apresentados também os valores de absorção de água estabelecidos nas normas técnicas (ABNT, 2005a; ABNT, 2005b) para blocos cerâmicos ($\leq 20\%$) e telhas ($\leq 22\%$).

Pode-se observar dos resultados da Tabela 4.3 que os blocos cerâmicos das amostras AM2 gfe AM4 estão de acordo com o valor especificado na norma ABNT

NBR 15270 e 15 310. Já a amostra AM1 apresentou valor de absorção de água bem acima (26, 42 %) do estabelecido na norma brasileira.

Os valores de absorção de água para telhas, como mostrado na Tabela 4.3, indicaram que a amostra AM5 apresentou valor (34,11 %) bem acima daquele estabelecido na Norma NBR 15310 (2005). Já a amostra AM6 encontra-se dentro do limite de absorção de água desejável para telhas.

Tabela 4.3 – Valores de absorção de água das peças cerâmicas.		
Amostras	Absorção de Água (%)	Norma ABNT
AM1	26,42 ± 0,27	≤ 22%
AM2	17,67 ± 0,51	
AM3	22,31 ± 0,36	
AM4	19,34 ± 0,08	
AM5	34,11 ± 3,44	≤ 20%
AM6	9,39 ± 2,64	

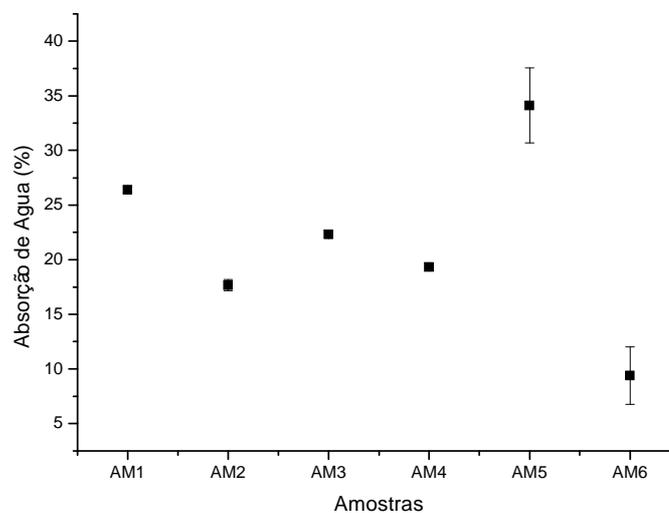


Figura 4.18 – Resultados de absorção de água para as peças de cerâmica vermelha estudadas.

4.3.2- Resistência Mecânica

A Tabela 4.4 apresenta a tensão de ruptura à flexão (carregamento em três pontos) para as amostras em telhas e compressão para as amostras de blocos cerâmicos. Conforme a análise dos resultados observa-se que as amostras AM5 e AM6 apresentam resultados, maiores que a norma para a resistência mecânica das

amostras. Já as amostras AM1, AM2, AM3 e AM4 apresentam baixa resistência mecânica em relação à norma.

Amostras	Resistência Mecânica (MPa)	Norma ABNT (MPa)
AM1	1,08 ± 1,04	≥1,5
AM2	0,35 ± 0,70	
AM3	0,30 ± 0,12	
AM4	0,08 ± 0,04	
AM5	11,80 ± 3,40	≥6,5
AM6	9,70 ± 5,27	

4.3.3- Análise da resistência mecânica via Estatística de Weibull

A resistência mecânica é uma propriedade muito importante na indústria cerâmica vermelha. Isto decorre do fato de que esta propriedade é utilizada nas normas técnicas para padronizar e qualificar os produtos de cerâmica vermelha.

O modelo de Weibull tem sido usado em trabalhos científicos por ter grande flexibilidade em se adaptar às diversas distribuições de frequência acumuladas, bem como sua adequação ímpar ao controle de processos que envolvam falhas de materiais ou peças ao longo do tempo (Dodson, 2006).

Grande parte dos problemas enfrentados pelas indústrias cerâmicas são as divergências de valores encontrados na resistência mecânica que o mesmo lote pode apresentar. De acordo com Brindley et al. (2000), o módulo de Weibull “m” fornece o indicativo da reprodutibilidade da resistência mecânica do produto. Quanto maior é o módulo de Weibull, menor é a dispersão dos valores de resistência mecânica. Logo, esta dispersão pode ser obtida através da aplicação da estatística de Weibull sobre as informações de tensão de ruptura a flexão (telhas) e resistência à compressão (blocos cerâmicos) das peças de cerâmica vermelha queimadas.

As Tabelas 4.5 - 4.10 mostram os dados experimentais de resistência à compressão e tensão de ruptura à flexão (carregamento em três pontos) das peças de cerâmica vermelha para análise de Weibull. Mais especificamente, os dados referentes às massas argilosas AM1 a AM4 são relacionados a resistência a compressão dos blocos cerâmicos, enquanto que os dados das massas argilosas AM5 e AM6 são referentes a tensão de ruptura à flexão das telhas estudadas. Para efeito da aplicação da Estatística de Weibull, os dados de resistência mecânica são

dispostos em ordem crescente, bem como cada resistência mecânica é assinalada uma probabilidade.

Tabela 4.5 - Análise de Weibull para os valores de tensão de ruptura à compressão da massa cerâmica AM1

Ni	$F=(Ni-0,5)/30$	$\bar{\sigma}$ (MPa)	$\ln(\ln(1/(1-F)))$	$\text{Ln}\sigma$
1	0,0167	0,081	-2,4714	-2,51
2	0,0500	0,118	-2,0749	-2,14
3	0,0833	0,201	-1,4944	-1,60
4	0,1167	0,256	-1,2184	-1,36
5	0,1500	0,292	-1,0633	-1,23
6	0,1833	0,305	-1,0110	-1,19
7	0,2167	0,368	-0,7790	-1,00
8	0,2500	0,373	-0,7618	-0,99
9	0,2833	0,384	-0,7246	-0,96
10	0,3167	0,408	-0,6458	-0,90
11	0,3500	0,428	-0,5823	-0,85
12	0,3833	0,431	-0,5729	-0,84
13	0,4167	0,462	-0,4782	-0,77
14	0,4500	0,465	-0,4692	-0,76
15	0,4833	0,472	-0,4484	-0,75
16	0,5167	0,521	-0,3065	-0,65
17	0,5500	0,526	-0,2923	-0,64
18	0,5833	0,554	-0,2139	-0,59
19	0,6167	0,574	-0,1586	-0,56
20	0,6500	0,593	-0,1065	-0,52
21	0,6833	0,642	0,0269	-0,44
22	0,7167	0,653	0,0568	-0,43
23	0,7500	0,677	0,1223	-0,39
24	0,7833	0,731	0,2723	-0,31
25	0,8167	0,735	0,2837	-0,31
26	0,8500	0,744	0,3094	-0,30
27	0,8833	0,747	0,3180	-0,29
28	0,9167	0,800	0,4759	-0,22
29	0,9500	0,819	0,5361	-0,20
30	0,9833	0,840	0,6057	-0,17

Tabela 4.6- Análise de Weibull para os valores de tensão de ruptura à compressão da massa cerâmica AM2

Ni	$F=(Ni-0,5)/30$	$\delta(\text{MPa})$	$\ln(\ln(1/(1-F)))$	$\ln\sigma$
1	0,0167	0,111	-4,0860	-2,20
2	0,0500	0,119	-2,9702	-2,13
3	0,0833	0,117	-2,4417	-1,82
4	0,1167	0,162	-2,0870	-1,74
5	0,1500	0,175	-1,8170	-1,67
6	0,1833	0,188	-1,5969	-1,51
7	0,2167	0,220	-1,4098	-1,49
8	0,2500	0,226	-1,2459	-1,45
9	0,2833	0,236	-1,0992	-1,44
10	0,3167	0,237	-0,9656	-1,41
11	0,3500	0,244	-0,8422	-1,37
12	0,3833	0,253	-0,7269	-1,31
13	0,4167	0,269	-0,6180	-1,22
14	0,4500	0,297	-0,5144	-1,16
15	0,4833	0,313	-0,4150	-1,06
16	0,5167	0,347	-0,3188	-1,02
17	0,5500	0,362	-0,2250	-1,01
18	0,5833	0,364	-0,1330	-0,99
19	0,6167	0,371	-0,0420	-0,79
20	0,6500	0,454	0,0486	-0,70
21	0,6833	0,494	0,1397	-0,66
22	0,7167	0,515	0,2320	-0,63
23	0,7500	0,532	0,3266	-0,60
24	0,7833	0,548	0,4249	-0,57
25	0,8167	0,564	0,5285	-0,51
26	0,8500	0,603	0,6403	-0,46
27	0,8833	0,634	0,7647	-0,39
28	0,9167	0,675	0,9102	-0,25
29	0,9500	0,778	1,0972	-0,19
30	0,9833	0,830	1,4096	1,40

Tabela 4.7- Análise de Weibull para os valores de tensão de ruptura à compressão da massa cerâmica AM3

Ni	$F=(Ni-0,5)/30$	$\delta(\text{MPa})$	$\ln(\ln(1/(1-F)))$	$\ln\sigma$
1	0,0167	0,076	-4,0860	-2,58
2	0,0500	0,133	-2,9702	-2,02
3	0,0833	0,137	-2,4417	-1,99
4	0,1167	0,186	-2,0870	-1,68
5	0,1500	0,197	-1,8170	-1,62
6	0,1833	0,205	-1,5969	-1,59
7	0,2167	0,214	-1,4098	-1,54
8	0,2500	0,214	-1,2459	-1,54
9	0,2833	0,238	-1,0992	-1,43
10	0,3167	0,260	-0,9656	-1,35
11	0,3500	0,273	-0,8422	-1,30
12	0,3833	0,282	-0,7269	-1,27
13	0,4167	0,291	-0,6180	-1,24
14	0,4500	0,292	-0,5144	-1,23
15	0,4833	0,294	-0,4150	-1,22
16	0,5167	0,299	-0,3188	-1,21
17	0,5500	0,302	-0,2250	-1,20
18	0,5833	0,315	-0,1330	-1,15
19	0,6167	0,342	-0,0420	-1,07
20	0,6500	0,352	0,0486	-1,04
21	0,6833	0,364	0,1397	-1,01
22	0,7167	0,419	0,2320	-0,87
23	0,7500	0,420	0,3266	-0,87
24	0,7833	0,433	0,4249	-0,84
25	0,8167	0,438	0,5285	-0,83
26	0,8500	0,439	0,6403	-0,82
27	0,8833	0,452	0,7647	-0,79
28	0,9167	0,485	0,9102	-0,72
29	0,9500	0,536	1,0972	-0,62
30	0,9833	0,594	1,4096	-0,52

Tabela 4.8- Análise de Weibull para os valores de tensão de ruptura à compressão da massa cerâmica AM4

Ni	$F=(Ni-0,5)/30$	δ (Mpa)	$\ln(\ln(1/(1-F)))$	$\ln\sigma$
1	0,0167	0,076	-4,0860	-2,58
2	0,0500	0,133	-2,9702	-2,02
3	0,0833	0,137	-2,4417	-1,99
4	0,1167	0,185	-2,0870	-1,69
5	0,1500	0,197	-1,8170	-1,62
6	0,1833	0,205	-1,5969	-1,59
7	0,2167	0,214	-1,4098	-1,54
8	0,2500	0,214	-1,2459	-1,54
9	0,2833	0,238	-1,0992	-1,43
10	0,3167	0,261	-0,9656	-1,34
11	0,3500	0,273	-0,8422	-1,30
12	0,3833	0,291	-0,7269	-1,24
13	0,4167	0,292	-0,6180	-1,23
14	0,4500	0,294	-0,5144	-1,22
15	0,4833	0,295	-0,4150	-1,22
16	0,5167	0,299	-0,3188	-1,21
17	0,5500	0,302	-0,2250	-1,20
18	0,5833	0,315	-0,1330	-1,15
19	0,6167	0,339	-0,0420	-1,08
20	0,6500	0,352	0,0486	-1,04
21	0,6833	0,364	0,1397	-1,01
22	0,7167	0,417	0,2320	-0,87
23	0,7500	0,419	0,3266	-0,87
24	0,7833	0,433	0,4249	-0,84
25	0,8167	0,434	0,5285	-0,83
26	0,8500	0,439	0,6403	-0,82
27	0,8833	0,452	0,7647	-0,79
28	0,9167	0,485	0,9102	-0,72
29	0,9500	0,536	1,0972	-0,62
30	0,9833	0,594	1,4096	-0,52

Tabela 4.9- Análise de Weibull para os valores de tensão de ruptura à compressão da massa cerâmica AM5

Ni	$F=(Ni-0,5)/30$	$\bar{\sigma}$ (MPa)	$\ln(\ln(1/(1-F)))$	$\ln\sigma$
1	0,0167	3,810	-4,0860	1,34
2	0,0500	5,564	-2,9702	1,72
3	0,0833	6,791	-2,4417	1,92
4	0,1167	6,866	-2,0870	1,93
5	0,1500	7,059	-1,8170	1,95
6	0,1833	7,176	-1,5969	1,97
7	0,2167	7,230	-1,4098	1,98
8	0,2500	7,449	-1,2459	2,01
9	0,2833	7,601	-1,0992	2,03
10	0,3167	8,949	-0,9656	2,19
11	0,3500	9,303	-0,8422	2,23
12	0,3833	10,590	-0,7269	2,36
13	0,4167	11,353	-0,6180	2,43
14	0,4500	11,638	-0,5144	2,45
15	0,4833	11,702	-0,4150	2,46
16	0,5167	11,849	-0,3188	2,47
17	0,5500	11,918	-0,2250	2,48
18	0,5833	12,423	-0,1330	2,52
19	0,6167	12,448	-0,0420	2,52
20	0,6500	12,552	0,0486	2,53
21	0,6833	12,598	0,1397	2,53
22	0,7167	12,642	0,2320	2,54
23	0,7500	13,118	0,3266	2,57
24	0,7833	13,180	0,4249	2,58
25	0,8167	14,173	0,5285	2,65
26	0,8500	14,221	0,6403	2,65
27	0,8833	14,716	0,7647	2,69
28	0,9167	14,938	0,9102	2,70
29	0,9500	15,864	1,0972	2,76
30	0,9833	17,513	1,4096	2,86

Tabela 4.10- Análise de Weibull para os valores de tensão de ruptura à compressão da massa cerâmica AM6

Ni	$F=(Ni-0,5)/30$	$\bar{\delta}$ (MPa)	$\ln(\ln(1/(1-F)))$	$\ln\sigma$
1	0,0167	2,553	-4,0860	0,94
2	0,0500	3,833	-2,9702	1,34
3	0,0833	4,623	-2,4417	1,53
4	0,1167	6,113	-2,0870	1,81
5	0,1500	6,431	-1,8170	1,86
6	0,1833	6,980	-1,5969	1,94
7	0,2167	6,980	-1,4098	1,94
8	0,2500	7,509	-1,2459	2,02
9	0,2833	7,530	-1,0992	2,02
10	0,3167	7,820	-0,9656	2,06
11	0,3500	8,201	-0,8422	2,10
12	0,3833	8,594	-0,7269	2,15
13	0,4167	8,673	-0,6180	2,16
14	0,4500	8,964	-0,5144	2,19
15	0,4833	9,675	-0,4150	2,27
16	0,5167	9,682	-0,3188	2,27
17	0,5500	10,138	-0,2250	2,32
18	0,5833	10,617	-0,1330	2,36
19	0,6167	10,863	-0,0420	2,39
20	0,6500	11,336	0,0486	2,43
21	0,6833	12,618	0,1397	2,54
22	0,7167	13,278	0,2320	2,59
23	0,7500	13,317	0,3266	2,59
24	0,7833	14,929	0,4249	2,70
25	0,8167	15,907	0,5285	2,77
26	0,8500	18,220	0,6403	2,90
27	0,8833	18,620	0,7647	2,92
28	0,9167	18,746	0,9102	2,93
29	0,9500	22,654	1,0972	3,12
30	0,9833	23,020	1,4096	3,14

As Figuras 4.19 - 4.20 mostram o diagrama de Weibull, $\ln(\ln(1/(1-F)))$ versus $\ln\bar{\delta}$, onde F é a probabilidade de estimada e $\bar{\delta}$ é a resistência mecânica para todas as massas argilosas estudadas. Através dos diagramas foram determinados o módulo de Weibull (m) e a tensão característica ($\bar{\delta}_0$). O valor máximo de resistência mecânica (resistência a compressão ou tensão de ruptura a flexão) ($\bar{\delta}_{max}$) para cada formulação também é mostrado nos diagramas de Weibull. O módulo de Weibull torna-se de grande valia para o processo cerâmico, porque constitui num critério importante para a determinação da qualidade dos produtos.

Os diagramas de Weibull (Figs. 4.19 – 4.24) mostram que as massas argilosas apresentam um comportamento unimodal para os dados de resistência mecânica. De forma que, em princípio, os produtos de cerâmica vermelha avaliados apresentam uma mesma classe de defeitos.

Na Tabela 4.11 são apresentados os valores obtidos para o módulo de Weibull (m), tensão característica (σ_0) e coeficiente de correlação linear (R) para todas as massas argilosas estudadas. Verifica-se que, em geral, os melhores valores de correlação linear são os próximos de 1. De acordo com os dados experimentais de resistência mecânica para os produtos de cerâmica vermelha estudados as indústrias cerâmicas AM1, AM3, AM4, AM5 e AM6 são relativamente bem ajustados conforme a distribuição de Weibull, bem como representados por uma equação de 1º grau, ou seja, uma reta.

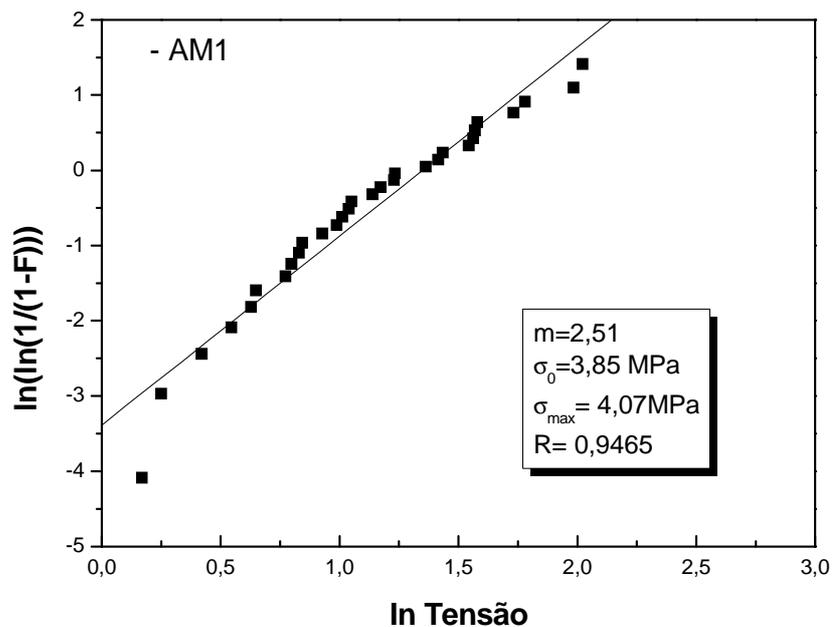


Figura 4.19 - Diagrama de Weibull para AM1

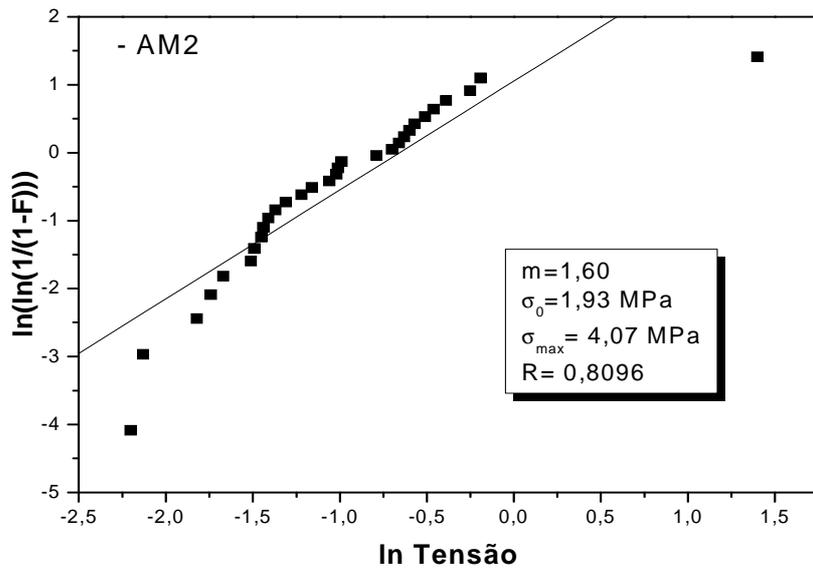


Figura 4.20 - Diagrama de Weibull para AM2

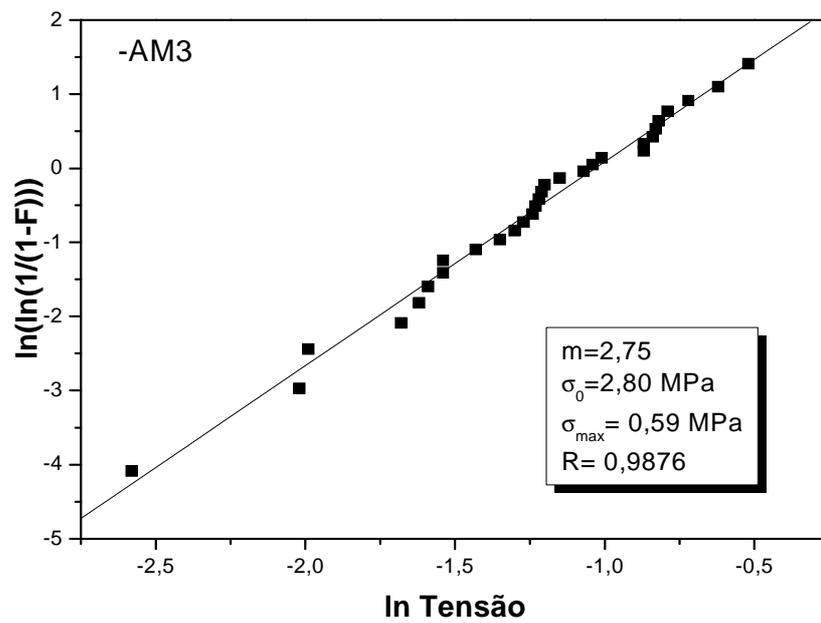


Figura 4.21 - Diagrama de Weibull para AM3

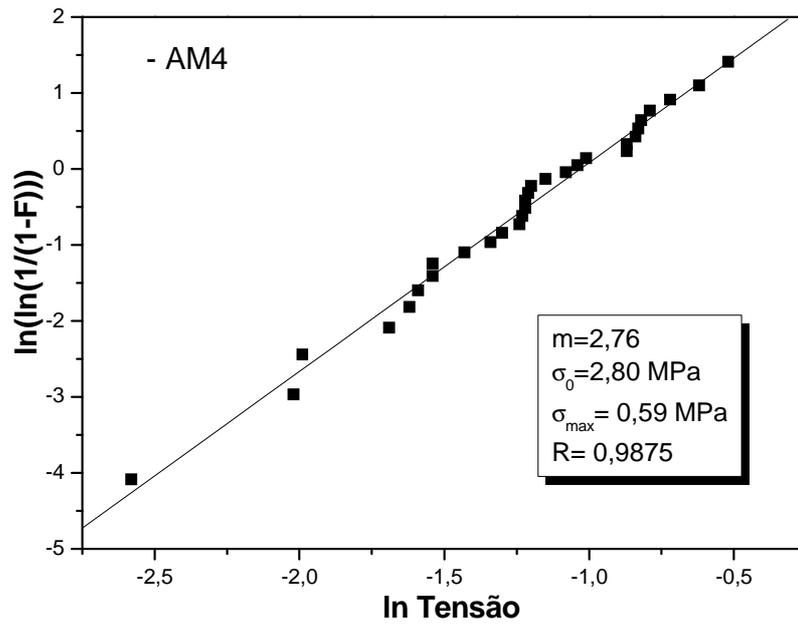


Figura 4.22 - Diagrama de Weibull para AM4

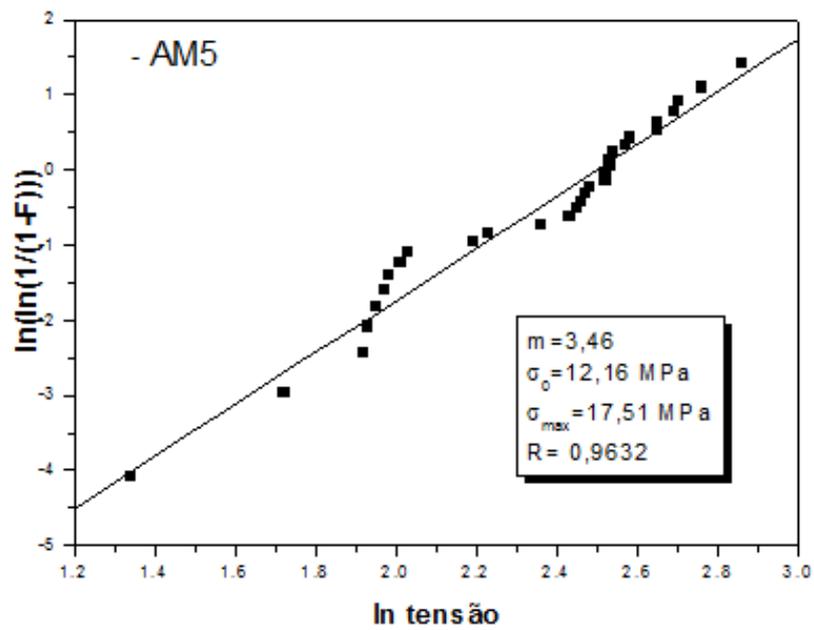


Figura 4.23 - Diagrama de Weibull para AM5

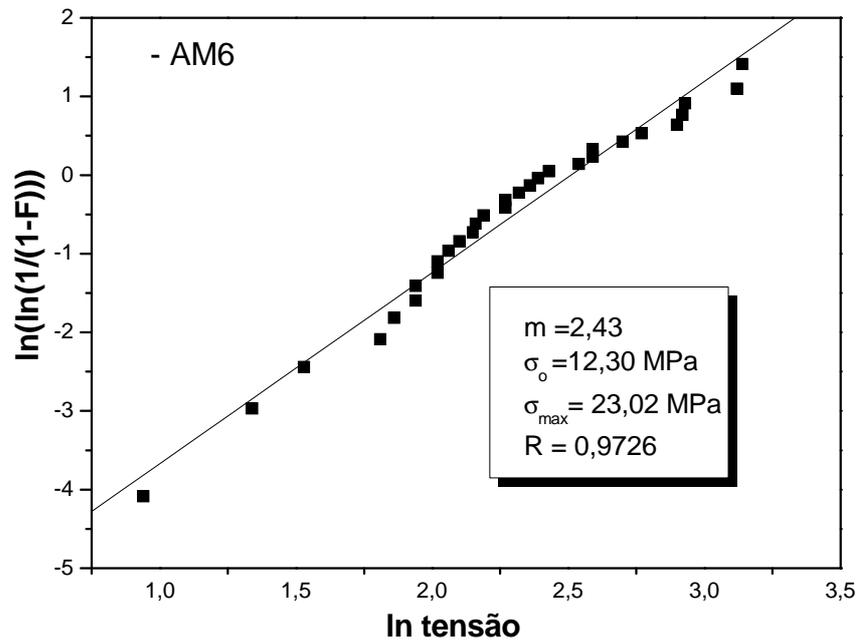


Figura 4.24 - Diagrama de Weibull para AM6

Tabela 4.11 - Análise de Weibull dos dados de resistência mecânica dos produtos de cerâmica vermelha estudados						
	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6
m	2,51	1,60	2,75	2,76	3,46	2,43
$\bar{\sigma}_0$ (MPa)	3,85	1,93	2,80	2,80	12,16	12,30
R	0,9465	0,8096	0,9876	0,9875	0,9632	0,9726

As peças de cerâmicas vermelhas estudadas apresentam valores de módulo de Weibull compreendidos na faixa de 1,60 a 3,46. Estes valores são relativamente baixos, pois somente a amostra AM5 se encontra dentro da faixa para materiais cerâmicos $3 < m < 15$ (Zanoto e Migliori Jr., 1991). Os valores de AM1, AM2, AM3, AM4 e AM6 estão fora da faixa de Weibull para materiais cerâmicos. Isto significa que dentre as peças avaliadas, aquelas da amostra AM5 são mais homogêneas quanto aos defeitos de fabricação, ou seja, é mais confiável. Deve-se ressaltar que, os baixos valores de módulo de Weibull obtidos estão fundamentalmente relacionados ao processamento cerâmico aplicado na fabricação dos produtos de cerâmica vermelha. Por exemplo, como discutido no item 4.1.3, as formulações das massas argilosas necessitam de ajustes em termos granulométricos e plasticidade.

Os resultados da Tabela 4.11 mostram que a tensão característica das peças cerâmicas está entre $\bar{\sigma}_0 = 1,93 - 12,30$ MPa. Esta variabilidade observada também está relacionada ao processamento cerâmico utilizado pelas empresas cerâmicas.

4.3.4- Densidade Aparente

A Figura 4.25 apresenta os valores de densidade aparente após a queima das amostras. Pode-se observar que os valores de densidade aparente estão compreendidos dentro da faixa de 1,57 a 1,75 g/cm³. Em comparação com os resultados obtidos por Vieira *et al* (2011) as amostras apresentam um comportamento que é atribuído ao caráter refratário das matérias-primas utilizadas, devido à predominância da caulinita. Isto evidencia que para as temperaturas de queima utilizadas nas indústrias cerâmicas ocorreu pobre sinterização dos produtos cerâmicos sem densificação. Vale ressaltar, que grande parte dos produtos cerâmicos já apresentavam trincas antes de sofrer os ensaios de compressão e flexão.

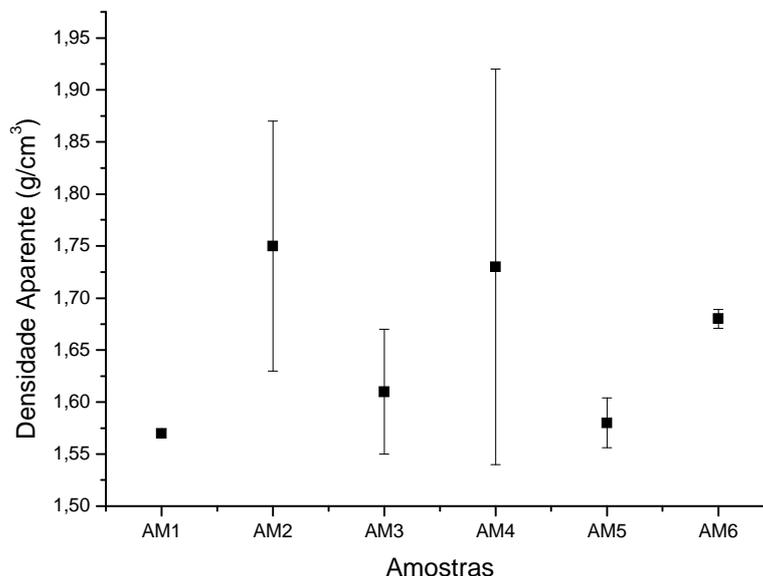


Figura 4.25 – Resultado da análise de Densidade das amostras queimadas

Os resultados das amostras estudadas estão dentro da faixa (1,57 – 1,75 g/Cm³) dos resultados já alcançados por Vieira *et al* (2011) para as amostras de matérias-primas da região de Campos dos Goytacazes/RJ.

4.3.5- Porosidade Aparente

A Figura 4.26 apresenta os resultados de porosidade aparente das amostras. Os valores de porosidade aparente estão compreendidos na faixa entre 17,53 a 50,10 %, sendo que o menor valor foi obtido na amostra AM6 e o maior valor foi da amostra AM5, onde ambas são referentes às amostras de telhas. Estes resultados confirmam os valores obtidos na análise de absorção de água das peças de cerâmica vermelha estudadas.

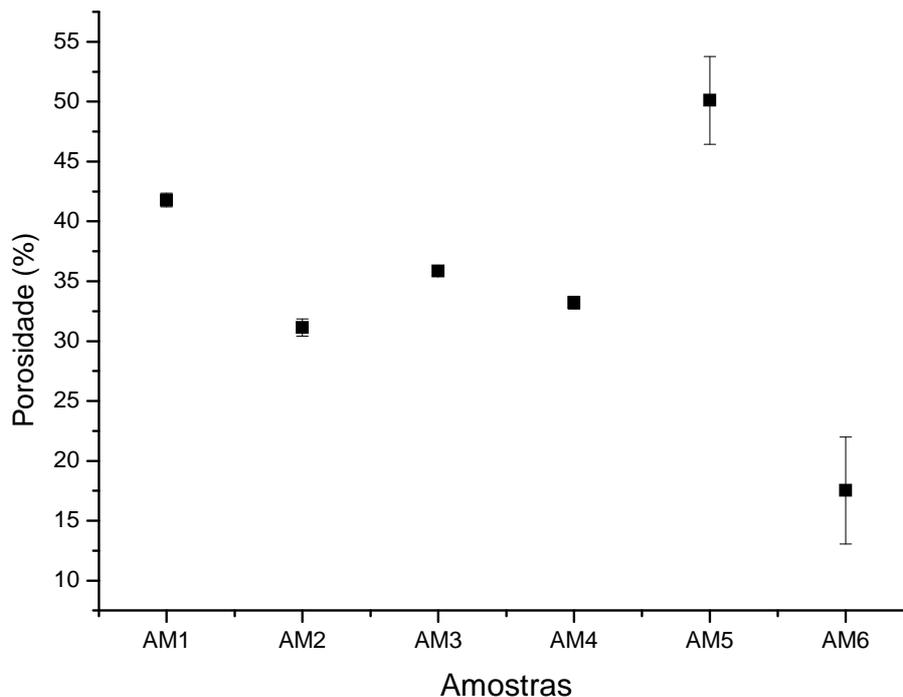


Figura 4.26 – Resultado da análise de porosidade aparente das amostras queimadas.

4.3.6- Análise microestrutural

Nas Figuras 4.27 a 4.32 são apresentadas as microestruturas das superfícies de fratura das peças de cerâmica vermelha observadas via microscopia confocal.

Pode-se observar que as amostras AM1 e AM5 apresentam em sua microestrutura trincas de grande espessura, que possivelmente estão associadas ao

baixo grau de empacotamento da cerâmica, ou seja, porosidade inerente ao processamento. As amostras AM2, AM3 e AM4 apresentam microestruturas com texturas porosas e grosseiras, indicando pouca sinterização. Já a amostra AM6 (Fig. 4.32) apresenta microestrutura aparentemente mais densificada, o qual corrobora os dados de absorção de água (porosidade aberta) e resistência mecânica. Vale ressaltar, que algumas peças cerâmicas de tijolos e telhas apresentavam pequenas trincas ou rachuras quando coletas no forno. Este fator está relacionado a etapa de conformação da massa e da etapa de queima.

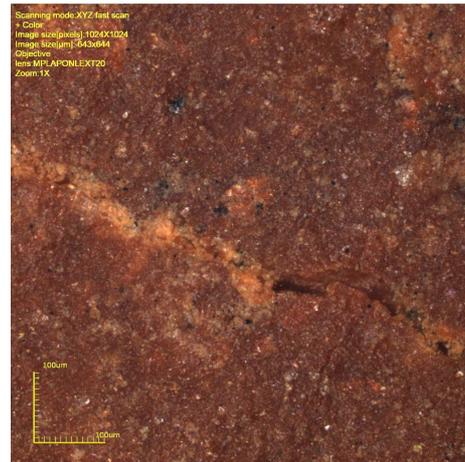
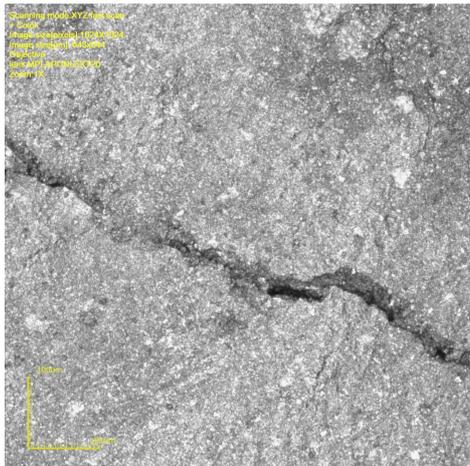


Figura 4.27 – Microestrutura sinterizada da amostra AM1.

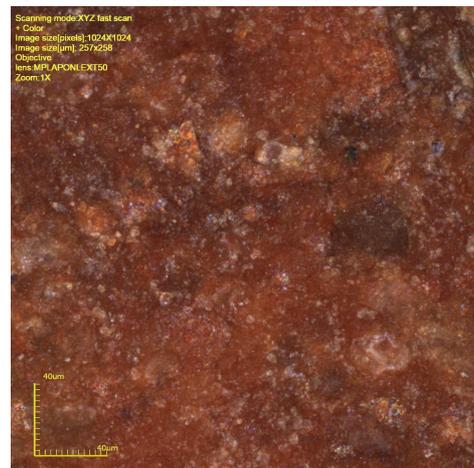
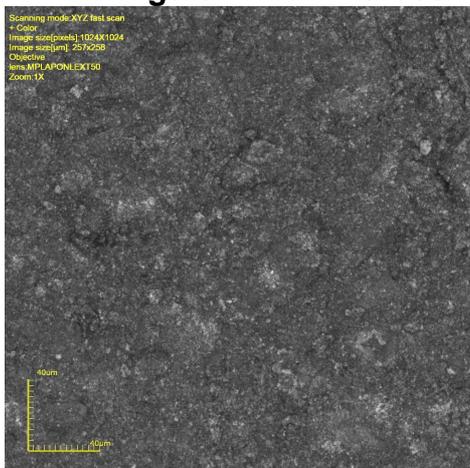


Figura 4.28 – Microestrutura sinterizada da amostra AM2

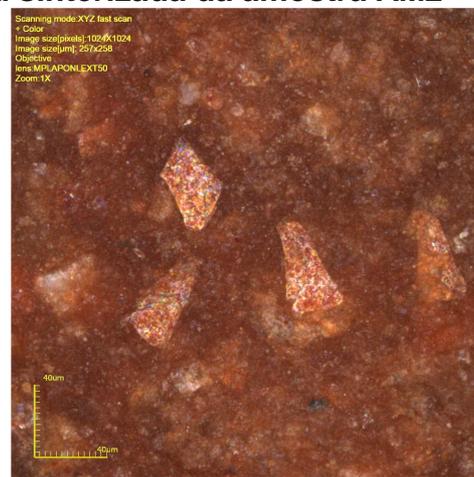
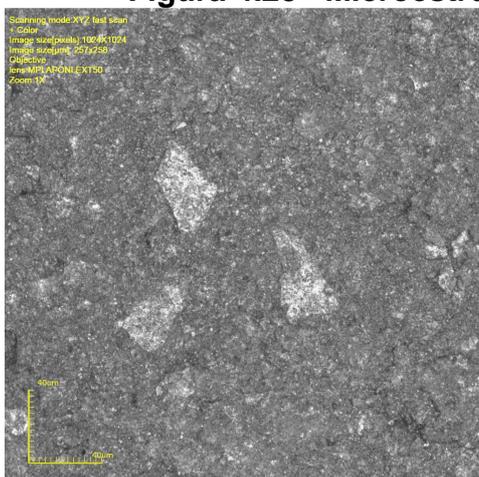


Figura 4.29 – Microestrutura sinterizada da amostra AM1.

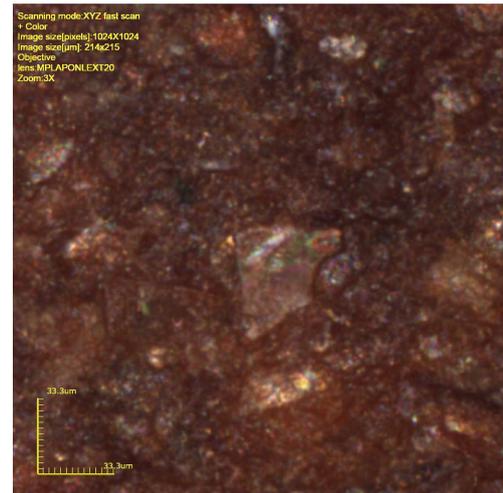
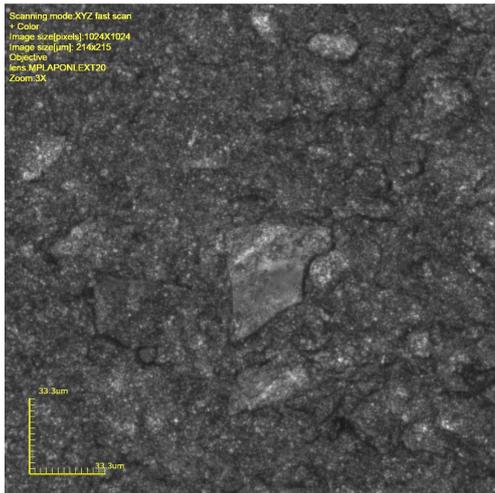


Figura 4.30 – Microestrutura sinterizada da amostra AM4

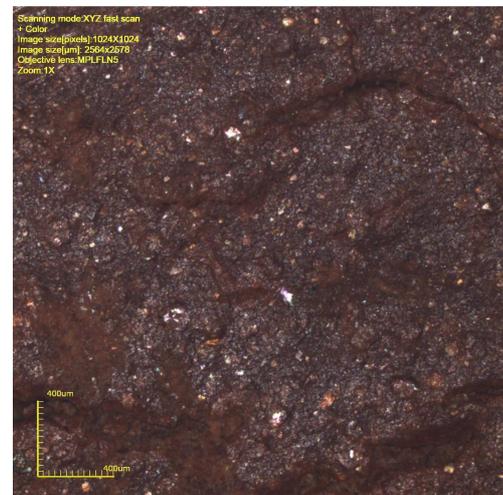
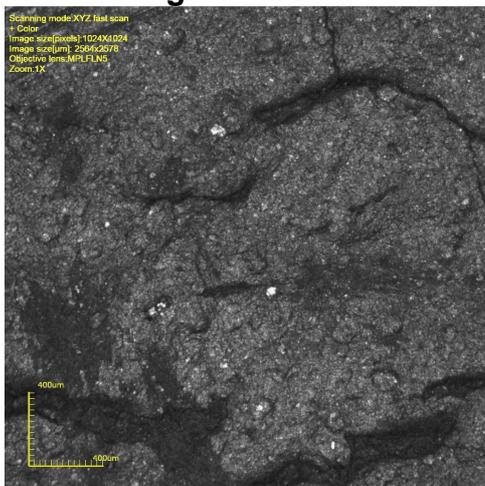


Figura 4.31 - Microestrutura sinterizada da amostra AM5

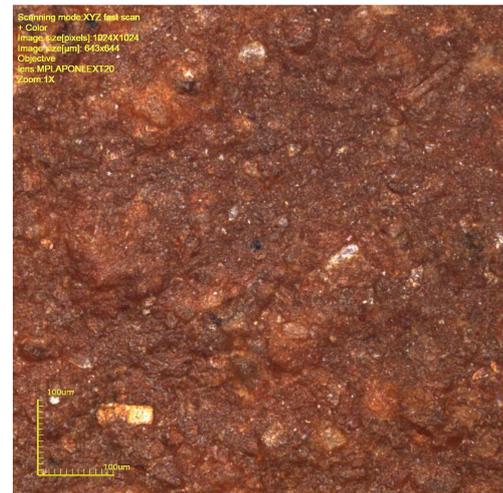
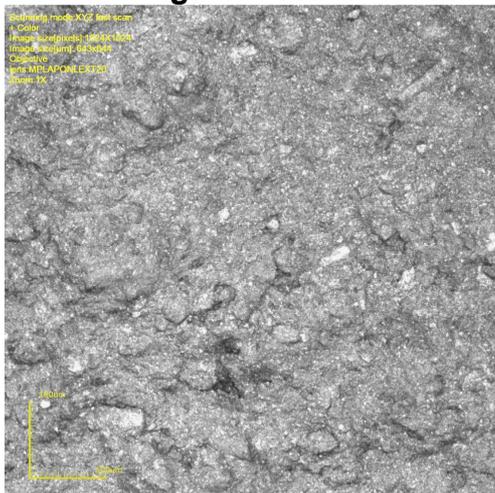


Figura 4.32 - Microestrutura sinterizada da amostra AM6

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

Este trabalho teve como finalidade avaliar as massas cerâmicas argilosas, as condições de processamento e propriedades finais dos produtos de cerâmica vermelha fabricados na região de Campos dos Goytacazes.-RJ. Com base nos resultados experimentais e discussão deles, as seguintes conclusões podem ser destacadas:

1) Do ponto de vista mineralógico, as massas argilosas estudadas das indústrias cerâmicas selecionadas AM1, AM2, AM3, AM4, AM5 e AM6 apresentam predominância de caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Os hidróxidos presentes são: goethita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), sendo esta responsável pelo elevado teor de óxido de ferro e gibsitita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Nota-se também a presença de quartzo cristalino.

2) Os ensaios de caracterização física descreveram grande variabilidade do tamanho dos grãos das massas argilosas. As massas argilosas podem ser classificadas em termos de plasticidade como: i) AM2, AM3, AM5 e AM6 são classificadas como argilas inorgânicas de alta plasticidade; e ii) as massas AM1 e AM4 como argilas inorgânicas de média plasticidade.

3) Os resultados de avaliação do diagrama de Winkler descreveram que todas as massas argilosas estudadas estão fora das faixas granulométricas apropriadas para fabricação de produtos de cerâmica vermelha. De acordo com o prognóstico de extrusão, a amostra AM1 está localizada na região de extrusão ótima, as amostras AM2 e AM3 estão na região de extrusão aceitável e as amostras AM4, AM5 e AM6 estão localizadas fora das regiões recomendadas para extrusão.

4) As cerâmicas estudadas seguem a rota de processamento tradicionalmente empregada na indústria de cerâmica vermelha.

De acordo com as análises realizadas no processamento cerâmico empregado observa-se que a maioria das cerâmicas não usam parâmetros exigidos pelas normas tais como: caracterização física e mineralógica; possuem dosagem de forma empírica de manipulação de argila magra ou gorda, realizam eventualmente o controle das propriedades tecnológicas, como por exemplo, resistência mecânica e

absorção de água, das peças fabricadas, com exceção da indústria AM4 não realiza ensaios físicos e mecânicos no produto final. Logo, pode se observar que os principais parâmetros estabelecidos pelas Normas ABNT são os fatores que compõem as dimensões da qualidade para o processo cerâmico e sendo os mesmos não realizados de forma devida tendo como consequência a desvalorização dos produtos para aqueles que visam obter produtos normalizados.

4) Os testes laboratoriais de absorção de água para blocos cerâmicos indicaram que somente a amostra AM1 encontra-se com valor acima do máximo permitido em blocos cerâmicos. Já a absorção de água nas amostras de telhas indicou que a amostra AM5 está bem acima do valor estabelecido pela Norma 15310 (2005), enquanto que a amostra AM6 encontra-se dentro do limite de absorção de água desejável para telhas.

5) Os resultados de resistência mecânica indicaram que todas as amostras para blocos cerâmicos (AM1, AM2, AM3 e AM4) apresentaram valores abaixo do estabelecido na norma ABNT NBR 15270, o qual atesta a baixa qualidade técnica destes produtos de cerâmica vermelha. Por outro lado, os valores de tensão de ruptura a flexão obtidos para as amostras AM5 e AM6 estão dentro do estabelecido para telhas de acordo com a norma ABNT NBR 15310, embora com grande dispersão dos valores de tensão de ruptura obtidos.

6) A análise da resistência mecânica via Estatística de Weibull das peças de cerâmicas vermelhas estudadas apresentaram valores de módulo de Weibull compreendidos na faixa de 1,60 a 3,46. Estes por sua vez, são relativamente baixos, pois somente a amostra AM5 se encontra dentro da faixa para materiais cerâmicos $3 < m < 15$. Os valores de AM1, AM2, AM3, AM4 e AM6 estão fora da faixa de Weibull para materiais cerâmicos. Isto significa que dentre as peças avaliadas, aquelas da amostra AM5 são mais homogêneas quanto aos defeitos de fabricação, ou seja, é mais confiável.

7) Os baixos valores de módulo de Weibull obtidos estão fundamentalmente relacionados ao processamento cerâmico aplicado na fabricação dos produtos de cerâmica vermelha.

8) As empresas cerâmicas selecionadas para análise possuem grandes divergências de valores segundo os parâmetros de normas técnicas determinadas pela ABNT.

Através da análise microestrutural observa-se a correlação dos altos índices de absorção e porosidade visíveis através de trincas de grande espessura associadas ao baixo grau de empacotamento da cerâmica, ou seja, porosidade inerente ao processamento de acordo com dados de absorção de água (porosidade aberta). A resistência mecânica para blocos cerâmicos são consideravelmente baixos para qualidade técnica destes produtos de cerâmica vermelha. Por outro lado, os valores de tensão de ruptura a flexão obtidos para as amostras estão dentro do estabelecido para telhas de acordo com a norma ABNT NBR 15310, embora com grande dispersão dos valores de tensão de ruptura obtidos.

Para obter produtos dentro dos parâmetros exigidos pela ABNT, é necessário que as indústrias cerâmicas invistam em seus processos de forma que conheçam as jazidas no qual são exploradas. Esta identificação permitirá conhecer os minerais presentes e favorecer na elaboração da massa ideal (seja através de aditivos ou na mistura entre argila magra/ gorda) no intuito de obter melhor trabalhabilidade do processo, proporcionando uma extrusão ótima para que nas etapas de secagem e queima os produtos tenham melhor sinterização e conseqüentemente melhor resistência.

Logo, conclui-se que as indústrias produtoras de blocos cerâmicos necessitam reavaliar os processos cerâmicos buscando ajustar o processo industrial para obter melhor caracterização dos produtos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abajo, M.F. (2000) Manual sobre Fabricación de Baldosas, Tejas y Ladrillos, Beralmar S. A., Terrassa. p.193-266.2.

Associação Brasileira de Normas Técnicas- ABNT (2004) Telhas cerâmicas: especificações. Rio de Janeiro-RJ.

Associação Brasileira de Normas Técnicas- ABNT (2005) Blocos cerâmicos de vedação: especificações. Rio de Janeiro-RJ.

Almeida L. L. P., Paixão, L.P., Petrucci, L.J.T., Pessanha, E.M., Vieira, C.M.F. (2010) Caracterização de Massas de Blocos de Vedação de Campos dos Goytacazes. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos materiais. Campos do Jordão, SP-Brasil.

Amoros, J.L., Sanchez, E., Cantavella, V., Monzó, M., Timellini, G., Brindley, C.(2000) Propriedades mecânicas de los soportes cerâmicos crudos- Qualicer.

Alves, H. J.; Melchiades, F.G.; Boschi, A.O. (2008) Consumo de gás natural na indústria de revestimentos cerâmicos brasileira. Cerâmica, 54: 326-331.

American Society for Testing and Materials - ASTM (1977) - Standard test method for water absorption, bulk density apparent of red ceramics products.

Associação Brasileira de Cerâmica. Disponível em: <<http://www.abceram.org.br>> acesso em 28 de out. 2009.

Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Disponível em: <<http://www.anicer.com.br>> acesso em 31 de maio. 2011.

Barba, A. (1997) Materias primas para lafabricación de soportes de baldosas cerâmicas. Instituto de Tecnologia Cerámica-AICE 1ª ed. Castellón-Espanha, p. 239-255.

Bustamante, G.M., Bressaiani, J.C. (2000) A indústria cerâmica brasileira. *Cerâmica Industrial*. São Paulo. 31 – 36.

Campos, L.F.A., Macedo, R.S., Kiyohara, P.K.C., Ferreira, H. (1999) Características de plasticidade de argilas para uso em cerâmica vermelha ou estrutural. *Cerâmica*, 45. São Paulo. 144-145.

Carniglia, S.C., Am, J. *Ceram.Soc.*,66 (1983) - 495. Tuan, W.H. (2000). *Ceramics International*, 26-716.

Coelho, A.C.V., Santos, P.S., Santos, H.S. (2007) Argilas especiais: O que são, caracterização e propriedades *Quím. Nova* vol.30 no.1 São Paulo Jan./Feb.

Chripim, Z.M.P., Almeida, L.L.P., Alves, M.G., Ramos, I.S. Silva, A.L. C (2010) Caracterização de solos residuais da região de Campos dos Goytacazes/ RJ para uso de engobes em cerâmica artística. 54º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Foz do Iguaçu- PR.

Centro de Tecnologia do Gás - CTGÁS (1998) *Projeto Cerâmicas – Indústria Cerâmica Santa Rosa: relatório de teste*. Natal- RN.

Dadam, A.P., Nicolau, V.P., Lehmkuhl W.A., Hartke, R.F., Kawaguti, W.M., Jahn, T.G. (2003) Uso do Gás Natural na Queima de Produtos de Cerâmica Vermelha. 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica. João Pessoa – PB.

Dodson, B. (2006). *The Weibull Analysis Handbook*, 2nd ed., ASQ Quality Press.

Fernández, M.A. (1990) Fabrication y control de calidad de los materiales de arcilla cocida. In: *Seminário Internacional*, v.1, Medellín, Colômbia.

Gomes, C.F. (1988) Argilas - o que são e para que servem. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 475p.

Gouvéia, F.P., Spoto, R.M. (2009) Incorporação de chamote em massa cerâmica para a produção de blocos. Um estudo das propriedades físico-mecânicas. *Cerâmica* 55: 415-419.

Holanda, J.N.F., Viera, C.M.F. (2002) *Mundo Cerâmico* 82.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2007) Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> acesso em 2010.

Jordão, M.A.P., Zandonadi, A.R.(2002) *Informações Técnicas: Anuário brasileira de cerâmica*. Associação Brasileira de Cerâmica, São Paulo. 26-64.

Juliato, D. (1995) *Recomendações para implantação de uma nova fábrica de processamento de cerâmica vermelha*. Relatório técnico. Florianópolis: SEBRAE.

Júnior, J.A.V; Loyola, L.C; Santiago, R.E.A; Guilherme, A. (1998) *Programa de Capacitação de Recursos Humanos na Indústria Cerâmica do Estado do Paraná - MINEROPAR/SERT*,

Keay, P.J., Wang, Y. (1997) Applications of flow injection analysis to analytical biotechnology. *Trends Biotechnol.* 15:76-81.

Kingery, W.D., Browwen, H.K., Uhlmann, D.R. (1976) "Introduction to ceramics". A Wiley-Intercience Publication, John Wiley and Sons, New York. 1032p.

Loyola, L.C. (1998) *Programa de capacitação de recursos humanos na indústria cerâmica do estado do Paraná*. Curitiba.

Macedo, R.S. (1997) *Estudo das matérias-primas e tijolos furados produzidos no Estado da Paraíba*. Dissertação de Mestrado (Mestrado de Engenharia de Materiais), Campina Grande-PB, Universidade Federal de Campina Grande - UFPB, 107p.

Martins, E.A., Castro, J.H.C. (1982) Estrudabilidade de materiais Cerâmicos, *Cerâmica*, 28 (156): 463-469.

Más, E. (2002) Qualidade e tecnologia em cerâmica vermelha- os combustíveis- Editora Polo produções Ltda, São Paulo. 33-48.

Menegazzo, A.P.M., Paschoal, J.O.A., Andrade, A.M., Carvalho, J.C., Gouvêa, D. (2002) Avaliação da resistência mecânica e módulo de Weibull de produtos tipo grês porcelanato e granito. *Cerâmica Industrial*, 7: 24-32.

Monteiro, C., Franco, M., Pinatti, A., Barbosa, F., Sousa, R., Carvalho, F. (2007) Noções Básicas do Processo Produtivo de Cerâmica Vermelha, Centro de Tecnologia da Cerâmica "Wildson, Gonçalves" - SENAI, Teresina - Piauí, Brasil.

Motta, J.F.M.; Zanardo, A., Cabral Junior, M.M. (2001) As matérias-primas cerâmicas - Parte I: O perfil das principais indústrias cerâmicas e seus produtos. *Cerâmica industrial*. 6 (2): 28-39.

Motta, J.F.M, Zanardo, A., CABRAL Junior, M.M., Tanno, L.C., Cuchierato, G. (2004) As matérias-primas plásticas para a cerâmica tradicional: Argilas e Caulins. *Cerâmica Industrial*. 9 (2): 33-46.

Murray, H.H.(2000). Traditional and new Applications for kaolinite, smectite, and paligorskite: A General Overview. *Applied Clay Science*, 17: 207-221.

Nicolau, V.P., Dadam, A.P., Hartke, R.F., Lehmkuhl, W.A., Kawaguti, W.M.; Jahn, T. G. (2003) Uso do gás natural na queima de produtos de cerâmica vermelha. In: 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica, João Pessoa. 12 p.

Oliveira, G.E., Holanda, J.N.F. (2004) Reaproveitamento de resíduo sólido proveniente do setor siderúrgico em cerâmica vermelha. *Cerâmica*,50: 75-80.

Pacheco, C.A.G. (2005) Análise das possibilidades de expansão do uso do gás natural na indústria cerâmica. 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Salvador- Ba.

Pinheiro, R.M., Vieira, C.M.F., Sanchez, R., Monteiro, S.N. (2007) Caracterização de resíduo de papel. Congresso Brasileiro de Cerâmica: 1-11, Salvador- Bahia.

Pedroti L.G., Alexandre J., Xavier G.C.X., Monteiro S.N., Vieira, C. M. F., Bahiense, A.V., Maia, P.C.A. (2011) Desenvolvimento de massa cerâmica para blocos queimados e prensados, Cerâmica Industrial, (16): 25-30.

Pinheiro, R.M. (2009) Desenvolvimento de pavimentos argilosos extrudado: Adoquim Cerâmico. Projeto de tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense- UENF.

Pinheiro, B.C.A., Holanda, J.N.F. (2010) Efeito da temperatura de queima em algumas propriedades mecânicas de cerâmica vermelha. Cerâmica 56: 237-243.

Pinto, M.F., Sousa, S.J.G. Holanda, J.N.F. (2005) Efeito do ciclo de queima sobre as propriedades tecnológicas de uma massa cerâmica vermelha para revestimento poroso. Cerâmica 51: 225-229.

Ramos, I.S., Alves, M.G., Alexandre, J. (2006) Diagnóstico do pólo cerâmico de Campos dos Goytacazes- RJ. Cerâmica Industrial-11:28-32.

Reed, J.S. (1995) Principles of ceramic processing, 2nd edition, New York, John Wiley & Sons, 658p.

Revista turismo (2012) - Especial Campos dos Goytacazes. Disponível em: [Http://www.revista.turismo.com.br](http://www.revista.turismo.com.br). Acesso em 01 de junho de 2012.

Ribeiro, M.J., Ferreira, A.A.L., Labrincha, J.A. (2003). Aspectos fundamentais sobre a extrusão de massas cerâmicas vermelhas. Cerâmica industrial- Janeiro/Fevereiro. 37-42.

Santos, P.S. (1989) Ciência e tecnologia das argilas, 2ª Ed., São Paulo, Edgard Blucher, v.1, 405p.

Santos, P.S. (1992) Ciência e tecnologia dea argilas, 3º Ed., São Paulo: Edgard Blücher, Vol. 1, 4p.

Silva, M.A., Paes, Jr., H.R., Holanda, J.N.F. (2011) Reuse of ornamental rock-cutting waste in aluminous porcelain. Journal of Environmental Management, v. 92: 936-940.

Soares, J.M.D., Zetti, R.R., Tavares, I.S., Pinheiro, R.B. (2004) Panorama sócio-econômico das indústrias de cerâmica vermelha da região central do estado do Rio Grande do Sul, Cerâmica Industrial, 39- 46.

Soares, R.A.L., Nascimento, R.M. (2007) II Congresso de pesquisa e inovação da rede norte nordeste de educação tecnológica João Pessoa – PB.

Sposto, R.M., Morais, D.M., Pereira, C.H.A.F. (2006) Melhoria da qualidade de blocos cerâmicos e implantação de sistemas de gestão da qualidade em empresas que abastecem o mercado de Brasília. Universidade de Brasília, Brasília, FUB/CDT, SINDUSCON-DF.

Souza, G.P., Sanchez, R., Holanda, J.N.F. (2002) Características e propriedades físico-mecânicas de materiais caulíníficos queimados). Cerâmica, 48: 102-107.

Souza, G.P., Sanchez, R., Holanda, J.N.F. (2003) Thermal and structural characterization of Brazilian South-Eastern kaolinitic clays. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry.73: 293-305.

Tubino, L.C.B., Borba, P. SENAI (2006). Dossiê Técnico: Etapas do processo cerâmico a sua influência no produto final- massa, extrusão, secagem e queima. SENAI-RS.

Vieira, C.M.F., Holanda, J.N.F., Pinatti, D.G. (2000) Caracterização de massa cerâmica vermelha utilizada na fabricação de tijolos na região de Campos dos Goytacazes – RJ. Cerâmica, 46: São Paulo.

Vieira, C.M.F, Monteiro S.N., Dualibi Filho, J.(2001) Formulação de massa de revestimento cerâmico com argilas plásticas de Campos dos Goytacazes (RJ) e Taguá (SP)- 6 (6).

Vieira, C.M.F. (2002) Introdução à tecnologia de cerâmica vermelha. Campos dos Goytacazes-RJ,134.

Vieira, C.M.F., Feitosa, H.S., Monteiro, S.N. (2003) Avaliação da secagem de cerâmica vermelha através da curva de Bigot - *Cerâmica Industrial* 8: 42-46.

Vieira, C.M.F., Soares, T.M., Monteiro, S.N. (2003) Massas cerâmicas para telhas: características e comportamento de queima. (Ceramic bodies for roofing tiles: characteristics and firing behavior) Cerâmica: 245-250.

Vieira, C.M.F., Pinheiro, R.M., Monteiro, S.N. (2010) Massas cerâmicas para telhas: avaliação microestrutural, *Revista Matéria*, 050-055.

Vieira, C.M.F., Pinheiro, R.M. (2011) Avaliação de argilas caulínicas de Campos dos Goytacazes utilizadas para fabricação de cerâmica vermelha Cerâmica 57: 319-323.

Wendhausen, P.A; Rodrigues, G.V.; Marchetto, O. (2005). Análises Térmicas. Apostila do curso de graduação em Engenharia de Materiais, Departamento de Engenharia Mecânica. Disciplina: Caracterização de Materiais III. Universidade Federal de Santa Catarina.

Wu, D., Zhou. J. (2006) Unbiased Estimation of Weibull Parameters with Linear Regression Method. *Journal of the European Ceramic Society*- 26 (7): 1099-1105.

Zanotto, E. D., Migliore Jr., A.R. (1991) Propriedades mecânicas de materiais cerâmicos: uma introdução. *Cerâmica*. 37 (247): 7-16.

Questionário

Cadastro da Empresa - Ficha nº: _____ Data: _____

Dados Iniciais _____

Nome da Empresa: _____

Endereço _____

Telefone: _____ Fax: _____ Ano de Fundação: _____

e-mail: _____

Site: _____

Informações Gerais

1) Situação do gestor da Cerâmica

Proprietário

Arrendatário

2) Quais são os tipos de produtos cerâmicos fabricados nela e certificado de qualidade?

Produto	Dimensão (cm x cm x cm)	Peso Unitário Queimado (Kg)	Produção Mensal
Tijolo maçico			
Bloco de vedação			
Bloco estrutural			
Telha			
lajota			
outros			

3) Qual é o percentual aproximado de vendas no fabricação de seus produtos?

0 a 5 %

5 a 10 %

10 a 15 %

Acima de 15%

4) Os produtos fabricados são identificados (uso de carimbo).

Sim

Não

5) A empresa tem conhecimento das normas técnicas da ABNT?

Sim

Não

6) A empresa é filiada ao sindicato regional?

Sim

Não

7) A cerâmica é afiliada ao sindicato regional da indústria cerâmica (ANCER)?

Sim

Não

8) A cerâmica possui licenciamento ambiental?

- | | | | |
|--------------------------|--------------|--------------------------|-----------|
| <input type="checkbox"/> | Sim | <input type="checkbox"/> | Não |
| <input type="checkbox"/> | Em renovação | <input type="checkbox"/> | Requerida |

Água

1) Qual a procedência?

- | | | | |
|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------|
| <input type="checkbox"/> | Rede pública | <input type="checkbox"/> | Poço próprio |
| <input type="checkbox"/> | Rio, lagoa ou açude | <input type="checkbox"/> | Outro |

2) Possui cadastro na ANA (Agência Nacional de Água)?

- | | | | |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> | Sim | <input type="checkbox"/> | Não |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|

Matéria-Primas

1) As cerâmicas possui jazidas próprias?

- | | | | |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> | Sim | <input type="checkbox"/> | Não |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|

2) Situação legal da jazida (licença de operação para extração - L.O.extração).

- | | | | |
|--------------------------|---------------|--------------------------|--------------|
| <input type="checkbox"/> | Requerida | <input type="checkbox"/> | Licenciado |
| <input type="checkbox"/> | Não requerido | <input type="checkbox"/> | Em renovação |

3) A cerâmica possui no DRM /RJ (Departamento de Processos Minerais do Estado do Rio de Janeiro)?

- | | | | |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> | Sim | <input type="checkbox"/> | Não |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|

4) Qual a procedência da argila usada na fabricação dos produtos cerâmicos?

- Argila primária (residual) - barranco
- Argila secundária (transportada) - rio

5) Qual a estimativa do consumo mensal de argila?

- | | | | |
|--------------------------|----------------|--------------------------|------------------|
| <input type="checkbox"/> | < 100 ton. | <input type="checkbox"/> | 100 a 500 ton. |
| <input type="checkbox"/> | 500 a 1000 ton | <input type="checkbox"/> | 1000 a 2000 ton. |
| <input type="checkbox"/> | > 2000 ton. | | |

6) Qual a frequência de realização de caracterização física e mineralógica da argila?

- | | | | |
|--------------------------|--------------|--------------------------|-------------|
| <input type="checkbox"/> | Semanalmente | <input type="checkbox"/> | mensalmente |
| <input type="checkbox"/> | Anoalmente | <input type="checkbox"/> | Raramente |
| <input type="checkbox"/> | Não realiza | | |

7) Qual a frequência de realização de caracterização química da argila?

- | | | | |
|--------------------------|--------------|--------------------------|-------------|
| <input type="checkbox"/> | Semanalmente | <input type="checkbox"/> | mensalmente |
| <input type="checkbox"/> | Anoalmente | <input type="checkbox"/> | Raramente |
| <input type="checkbox"/> | Não realiza | | |

8) No caso de mudanças na formulação da argila e composição da massa são efetuados testes (laboratório ou prático) para operação?

- | | | | |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> | Sim | <input type="checkbox"/> | Não |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|

9) A cerâmica realiza estoques?

- | | | | |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> | Sim | <input type="checkbox"/> | Não |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|

10) Disposição:

- | | | | |
|--------------------------|------------------|--------------------------|------------|
| <input type="checkbox"/> | Pilhas separadas | <input type="checkbox"/> | Em camadas |
|--------------------------|------------------|--------------------------|------------|

11) A cerâmica utiliza sistema de sazonalamento?

- | | | | |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> | Sim | <input type="checkbox"/> | Não |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|

12) Quanto tempo dura o sazonalamento?

- | | | | |
|--------------------------|------------------|--------------------------|------------------|
| <input type="checkbox"/> | Menos de 6 meses | <input type="checkbox"/> | de 6 a 9 meses |
| <input type="checkbox"/> | de 9 a 12 meses | <input type="checkbox"/> | Mais de 12 meses |

13) Como é feito o sazonalamento?

- | | | | |
|--------------------------|-------------------------|--------------------------|------------|
| <input type="checkbox"/> | Pilhas separadas | <input type="checkbox"/> | Em camadas |
| <input type="checkbox"/> | em montes já misturados | | |

14) É adicionado água no monte sazonalado?

- | | | | |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> | Sim | <input type="checkbox"/> | Não |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|

15) É realizado a adição de algum material a argila (resíduo, chamote, etc)?

- | | | | |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> | Sim | <input type="checkbox"/> | Não |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|

16) Qual o material adicionado e qual a sua função?

Material	_____
Função	_____

Preparação da massa cerâmica

1) Quais são os equipamentos utilizados na preparação das massas argilosas?

- | | | | | | |
|--------------------------|------------|--------------------------|---------------|--------------------------|-------|
| <input type="checkbox"/> | Moinho | <input type="checkbox"/> | Desintegrador | <input type="checkbox"/> | Colgo |
| <input type="checkbox"/> | Misturador | <input type="checkbox"/> | Laminador | <input type="checkbox"/> | Outro |

* Qual? _____

2) É efetuado o descanso da massa antes do material entrar no misturador?

- | | | | |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> | Sim | <input type="checkbox"/> | Não |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|

3) Qual a duração do descanso?

- | | | | |
|--------------------------|--------------|--------------------------|------------------|
| <input type="checkbox"/> | 1 a 5 dias | <input type="checkbox"/> | 5 a 10 dias |
| <input type="checkbox"/> | 10 a 15 dias | <input type="checkbox"/> | acima de 15 dias |

4) É realizado o controle da unidade?

- | | | | |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> | Sim | <input type="checkbox"/> | Não |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|

5) A alimentação no caixão alimentador é?

- | | | | |
|--------------------------|--------|--------------------------|----------|
| <input type="checkbox"/> | Manual | <input type="checkbox"/> | Mecânico |
|--------------------------|--------|--------------------------|----------|

Conformação da peça cerâmica

1) A produção é registrada?

- | | | | |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> | Sim | <input type="checkbox"/> | Não |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|

2) A maromba possui sistema de vácuo?

- | | | | |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> | Sim | <input type="checkbox"/> | Não |
| <input type="checkbox"/> | Não possui vacuômetro | | |

3) O controle dimensional do produto é efetuado?

- | | | | |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> | Sim | <input type="checkbox"/> | Não |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|

4) O peso das peças é controlado?

- | | | | |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> | Sim | <input type="checkbox"/> | Não |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|

5) Que tipo de boquilha (matriz de compactação) é utilizado?

- | | | | |
|--------------------------|-----|--------------------------|----------|
| <input type="checkbox"/> | Aço | <input type="checkbox"/> | Cerâmico |
|--------------------------|-----|--------------------------|----------|

6) Qual o tipo de cortador usado?

Manual Automático

7) As perdas de conformação estão sendo controladas?

Sim Não

Processo de Secagem

1) Qual o tipo de secagem usada?

Natural Artificial Ambos

2) Como a secagem é realizada (no caso de natural)?

Em galpões Ao ar livre

3) Existe controlador de temperatura no secador ?

Sim Não

4) Qual a temperatura estimada de secagem? _____

5) Qual o tempo de secagem? _____

6) As perdas de secagem estão sendo controladas?

Sim Não

Processo de queima

1) Qual o tipo de forno utilizado?

Hoffman Reversível Túnel
 Paulistinha Vagão Outro

* Qual? _____

2) Qual o combustível usado para queima (pode ser mais de um)?

Lenha Cavaco Óleo BPF
 Serragem/pó de serra Gás natural
 Resíduo de madeira Outro

* Qual? _____

3) Qual é a temperatura de queima?

Até 700°C 700 a 800°C
 800 a 900°C Acima de 300°C

Outro
* Qual? _____

4) Qual é o tempo médio de queima?

Abaixo de 20h 20 a 30h 30 a 40h
 40 a 50h Acima de 50h

5) A cerâmica utiliza alguma curva de queima?

Sim Não

6) Existe controlador de temperatura?

Sim Não

7) O controle dimensional é efetuado após a queima?

Sim Não

8) Existe controle de qualidade das peças fabricadas antes de enviar para expedição?

Sim Não

9) As perdas das queimas são controladas?

Sim Não Quanto _____

10) As propriedades físico-mecânicas das peças fabricadas são medidas (resistência de compressão, tensão de ruptura, etc)?

Sim Não Quanto _____

Capacitação

1) A empresa possui algum profissional com formação técnica ou com especialização em cerâmica?

Sim Não

Questão Ambiental

1) A cerâmica realiza recuperação da área degradada com a extração da argila?

Sim Não

2) Caso positivo, qual o tipo de recuperação é feita?

Replântio Psicultura
 Goro Outro

* Qual? _____

3) A cerâmica controla os gases emitidos durante o processamento técnico (secagem e queima)?

Sim

Não

4) A cerâmica controla /recicla os resíduos gerados durante o processo produtivo (ou seja, vai ser realimentado no sistema ou joga fora)?