

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**ESTUDO DAS VARIÁVEIS DE PROCESSAMENTO DAS
MATÉRIAS-PRIMAS DA REGIÃO DO CRATO - CE NA
FABRICAÇÃO DE PRODUTOS CERÂMICOS POR EXTRUSÃO E
POR PRENSAGEM**

GETÚLIO DE MOURA SANTOS

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Paskocimas

**NATAL
2009**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA**

**ESTUDO DAS VARIÁVEIS DE PROCESSAMENTO DAS
MATÉRIAS-PRIMAS DA REGIÃO DO CRATO - CE NA
FABRICAÇÃO DE PRODUTOS CERÂMICOS POR EXTRUSÃO E
POR PRENSAGEM**

Dissertação submetida à

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

Como parte dos requisitos para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

GETÚLIO DE MOURA SANTOS

Dr. Carlos Alberto Paskocimas

Natal, Julho de 2009.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MECÂNICA**

**ESTUDO DAS VARIÁVEIS DE PROCESSAMENTO DAS
MATÉRIAS-PRIMAS DA REGIÃO DO CRATO - CE NA
FABRICAÇÃO DE PRODUTOS CERÂMICOS POR EXTRUSÃO E
POR Prensagem**

GETÚLIO DE MOURA SANTOS

Dr. Carlos Alberto Paskocimas (UFRN) – Orientador

BANCA EXAMINADORA

Dr. Carlos Alberto Paskocimas (UFRN) – Presidente

Dra. Jaquelígia Brito da Silva (UFRN) – Examinador Interno

Dr. Ricardo Peixoto Suassuna Dutra (UFRN) – Examinador Interno

Dr. Marcio Luiz Nogueira de Moraes (IFRN) – Examinador Externo

***Dedico aos meus pais,
Augustinho e Luzanira,
minha esposa, Alessandra,
e a minha filha, Mariana.***

***“Nós não precisamos de muita coisa.
Só precisamos uns dos outros.”***

Carlito Maia

AGRADECIMENTOS

À DEUS E NOSSA SENHORA DE FÁTIMA, pela força nos momentos difíceis;

À MINHA ESPOSA, pela paciência e compreensão na minha ausência;

AOS MEUS PAIS, que jamais mediram esforços pra me dar à certeza de estar seguindo no caminho certo;

AS MINHAS IRMÃS, Luciana, Adriana, Ivanilda e Márcia, que dividiram comigo tantas alegrias e tristezas;

AOS AMIGOS, Lindomar e Cicera, que me acolheram o tempo que estive em Natal;

AOS ALUNOS DA FATEC CARIRI, Ricardo e Joéferon, pela amizade e disposição em ajudar;

AO AMIGO, Jota Carlos, que auxiliou no desenvolvimento deste trabalho de forma precisa;

AO AMIGO, Carlos André, que não mediu esforços para me auxiliar no decorrer de todo este trabalho;

AO PROFESSOR PASKOCIMAS, pela disponibilidade e diálogo às limitações do orientando;

AO PROFESSOR RUBENS, por todas as informações desde o início deste trabalho;

À CERÂMICA BATATEIRA, por abrir as portas á disposição deste estudo;

AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA (PPGEM), especialmente ao funcionário Walkyso;

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	INTRODUÇÃO	16
CAPÍTULO 2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Fabricação das peças cerâmicas.....	19
2.2	Cerâmica.....	19
2.2.1	Propriedades.....	19
2.3	Matéria-prima.....	20
2.3.1	Conceitos iniciais.....	20
2.3.2	Estrutura.....	20
2.3.3	Plasticidade.....	22
2.3.3.1	Fatores que afetam a plasticidade.....	22
2.3.4	Difração de raios X.....	23
2.3.5	Análise térmica.....	24
2.3.5.1	Análise térmica diferencial.....	24
2.3.5.2	Análise termogravimétrica.....	25
2.3.6	Retração-secagem e queima.....	25
2.3.7	Comportamento térmico.....	26
2.3.8	Composição.....	26
2.3.9	Classificação.....	27
2.3.10	Tratamento.....	27
2.3.11	Moldagem.....	28
2.3.12	Secagem.....	28
2.3.13	Processo de queima.....	29
2.3.14	Curvas de gresificação.....	29
2.4	Fornos.....	30
2.4.1	Síntese (fornos para cerâmica).....	30
2.4.1.1	Fornos intermitentes.....	30
2.4.1.2	Fornos contínuos.....	31
2.5	A indústria.....	32
2.5.1	Caracterização do processo produtivo.....	32

CAPÍTULO 3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
3.1	Materiais.....	40
3.2	Métodos.....	40
3.2.1	Caracterização.....	40
3.2.1.1	Análise granulométrica.....	41
3.2.1.2	Índice de Plasticidade.....	41
3.2.1.3	Fluorescência de raios X.....	41
3.2.1.4	Difração de raios X.....	41
3.2.1.5	Análise Térmica.....	42
3.2.1.5.1	Análise térmica diferencial.....	42
3.2.1.5.2	Análise termogravimétrica.....	42
3.2.1.6	Propriedades tecnológicas.....	42
3.2.1.6.1	Absorção de água.....	45
3.2.1.6.2	Retração linear de queima.....	45
3.2.1.6.3	Porosidade aparente.....	45
3.2.1.6.4	Massa Especifica Aparente.....	46
3.2.1.6.5	Tensão de ruptura a flexão.....	46
CAPITULO 4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	48
4.1	Caracterização.....	49
4.1.1	Análise Granulométrica.....	49
4.2	Índice de plasticidade.....	50
4.3	Fluorescência de raios X.....	50
4.4	Difração de raios-X.....	51
4.5	Análise racional.....	51
4.6	Análise térmica.....	52
4.6.1	Análise térmica diferencial e termogravimétrica.....	52
4.7	Propriedades tecnológicas.....	53
4.7.1	Conformação por prensagem.....	53
4.7.1.1	Absorção de água.....	53
4.7.1.2	Retração linear de queima.....	54
4.7.1.3	Porosidade aparente.....	55
4.7.1.4	Massa específica aparente.....	56

4.7.1.5	Tensão de ruptura a flexão.....	57
4.7.1.6	Curvas de gresificação.....	58
4.7.2	Conformação por estrusão.....	59
4.7.2.1	Absorção de água.....	59
4.7.2.2	Retração linear de queima.....	60
4.7.2.3	Porosidade aparente.....	61
4.7.2.4	Massa específica aparente.....	62
4.7.2.5	Tensão de ruptura a flexão.....	63
4.7.2.6	Curvas de gresificação.....	64
CAPITULO 5	CONCLUSÕES	65
REFERENCIA	69

RESUMO

A limitação de informações sobre as características físicas, químicas, mineralógicas e mecânicas da matéria-prima usada no processo de fabricação dos produtos cerâmicos na região do Cariri, mais precisamente na cidade do Crato, estado do Ceará, motivou o desenvolvimento deste trabalho, visto que nesta região existem cerâmicas que num contexto geral figuram como cadeias produtivas importantes no estado. Foram confeccionados vinte e cinco corpos-de-prova da amostra coletada para cada método de conformação e foi realizado o estudo das variáveis de processamento das matérias-primas na fabricação de produtos cerâmicos por extrusão e prensagem. Os resultados foram obtidos após as análises de: granulometria, índice de plasticidade, fluorescência de raios X, difração de raios X, análises térmicas e propriedades tecnológicas. Através das curvas de gresificação obteve-se um comparativo entre a retração linear de queima, absorção de água, porosidade e massa específica aparente. Os resultados mostram que a matéria-prima tem excelente distribuição e características aceitáveis para o processamento de peças estruturais de cor escura a vermelha, necessitando, pois, da mistura de uma argila menos plástica com granulação grossa, que funciona como redutor de plasticidade. Apesar das diferentes formas de conformação por prensagem e extrusão, as características de absorção de água e tensão de ruptura a flexão mostrou-se dentro dos padrões da ABNT.

Palavras-chaves: caracterização da matéria-prima, produtos cerâmicos, cerâmica vermelha, extrusão, prensagem.

ABSTRACT

The limits to inform is about the character stico of basic, quimica, mineralogical and mechanics of matlaughed material used in the manufacturing process the product certified in economic region the Cariri, specifically in the city of Crato, Ceará state, motivated the development of this work, since in this region the exist ing economic context that a general appear as important in the production chains. Were made twenty-five soils-test specimen collection and the study was performed to differentiate the mat laugh materials of variaveis processing of mathing raw materials in the factory The product mica monkeys by extrusion and pressing. The results were obtained ap's as analyzes: grain size, index of plasticity, fluoresce incidence X-ray difraction the X-ray, and analyzes thermicals and properties technological. through's of curves gresifica returned to was a comparison between the retro the linear, absorb to water, porosity and bulk density. the results show that the excellent distribution and character acceptable available for the processing of the structure color dark red. needing, therefore, of the mixture of a less plastic clay with thick granulation, that works as plasticity reducer. In spite of the different resignation forms for prensagem and extrusion, the characteristics of absorption of water and rupture tension the flexing was shown inside of the patterns of ABNT.

Keymords: feature the mat laugh-press, ceramic products, red mica, extrusion, prensagem.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Vista aérea da cerâmica.....	31
Figura 2	Local de extração da matéria prima.....	31
Figura 3	Caixão alimentador.....	32
Figura 4	Esteira que antecede o misturador.....	32
Figura 5	Detalhe – misturador.....	33
Figura 6	2º esteira e laminador.....	33
Figura 7	3º esteira e laminador 2.....	34
Figura 8	Maromba.....	34
Figura 9	Cortador.....	35
Figura 10	Boquilha.....	35
Figura 11	Secagem.....	36
Figura 12	Vista lateral dos fornos contínuos.....	36
Figura 13	Área interna do forno.....	37
Figura 14	Vista superior – alimentador durante a sinterização.....	37
Figura 15	Metodologia usada na etapa de caracterização.....	39
Figura 16	Esquema dos procedimentos para a confecção dos corpos-de-prova...	43
Figura 17	Curva granulométrica da amostra.....	48
Figura 18	Difratograma da amostra.....	50
Figura 19	Representação da análise termogravimétrica.....	51
Figura 20	Resultado do ensaio de absorção de água (AA) na etapa de caracterização.....	52
Figura 21	Resultado do ensaio de Retração linear de queima (RLq) na etapa de caracterização.....	53
Figura 22	Resultado do ensaio de porosidade aparente (PA) na etapa de caracterização.....	54
Figura 23	Resultado da massa específica aparente (MEA) na etapa de caracterização.....	55
Figura 24	Resultado do ensaio de tensão de ruptura a flexão (TRF) na etapa de caracterização.....	56
Figura 25	Curva de gresificação.....	57
Figura 26	Resultado do ensaio de absorção de água (AA) na etapa de caracterização.....	58
Figura 27	Resultado do ensaio de absorção de água (AA).....	59
Figura 28	Retração linear de queima.....	60
Figura 29	Resultado do ensaio de massa específica aparente (MEA) na etapa de caracterização.....	61
Figura 30	Resultado do ensaio da tensão de ruptura a flexão (TRF).....	62
Figura 31	Curva de gresificação.....	63

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1	Características granulométricas da amostra.....	49
Tabela 2	Resultados das análises químicas.....	49
Tabela 3	Resultados das análises químicas.....	49
Tabela 4	Resultado da análise racional da amostra.....	51

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AA	→	Absorção de Água
ABNT	→	Associação Brasileira de Normas Estatísticas
AG	→	Análise granulométrica
C_D	→	Coefficiente de Distribuição
CPs	→	Corpos-de-Prova
C_U	→	Coefficiente de Uniformidade
D₁₀	→	Diâmetro no qual 10% das partículas estão abaixo dele
D₆₀	→	Diâmetro no qual 60% das partículas estão abaixo dele
D₉₀	→	Diâmetro no qual 90% das partículas estão abaixo dele
D_M	→	Diâmetro médio das partículas
DRX	→	Difração de raios X
DTA	→	Análise térmica diferencial
FRX	→	Fluorescência de raios X
ICDD	→	Internacional Centre for Diffraction Data
IP	→	Índice de Plasticidade
LC	→	Limite de Contração
LL	→	Limites de Liquidez
LP	→	Limite de Plasticidade
MEA	→	Massa específica aparente
PA	→	Porosidade aparente
RL_q	→	Retração linear de queima
TGA	→	Análise termogravimétrica
T_q	→	Temperatura de queima
TRF	→	Tensão de ruptura a flexão

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

A busca de maior competitividade e sustentabilidade, estimula as empresas de cerâmica a realizarem investimentos na modernização de suas instalações e processos, buscando alternativas para redução de custos, impactos ambientais, melhoria de qualidade e otimização de produção.

Salienta-se ainda que as fontes alternativas de energia apresentem uma relação direta com a queima do produto e sua respectiva qualidade, além de relacionar os materiais que devem ser empregados na cerâmica estrutural.

Particularmente no Estado do Ceará, as empresas de cerâmica vermelha são de pequeno porte, e representam papel importante no desenvolvimento com participação na distribuição de renda, na absorção de mão-de-obra e significativa participação no produto interno bruto.

A cidade do Crato é situada no Cariri cearense, extremo sul do estado do Ceará, fronteira com o estado de Pernambuco. É a segunda cidade mais importante do Cariri em termos econômicos depois de Juazeiro do Norte, constituindo também um entroncamento rodoviário que a interliga ao Piauí, Paraíba e Pernambuco, além da capital do Ceará, Fortaleza.

Mesmo com essa importância, as empresas de pequeno porte não conseguem acompanhar as novas formas de gerenciamento administrativo e de avanços tecnológicos propostos pelas Universidades, Centros de Pesquisas, bem como dos projetos governamentais.

As empresas do interior do Ceará, mais precisamente na cidade do Crato onde se encontra a maior concentração de empresas da região do cariri, a extração da matéria-prima é feita por todas as empresas no mesmo local, ou seja, uma jazida que atende a esse pólo industrial.

Com isso, as características dos produtos dessas empresas são em certo ponto parecidas, visto que as formas de fabricação são semelhantes. Neste contexto o presente trabalho pretende estudar as variáveis de processamento da matéria-prima usada na fabricação de produtos cerâmicos por extrusão e prensagem para uso nas indústrias cerâmicas do Crato, interior do estado do Ceará.

Como objetivos específicos este trabalho almeja:

- Caracterizar a argila utilizada na fabricação de produtos estruturais no interior do Ceará;

-
- Estudar as variáveis de processamento da matéria-prima por extrusão e prensagem;
 - Avaliar o comportamento físico, químico, mineralógico e mecânico da matéria-prima;

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Fabricação das peças cerâmicas

O controle de qualidade das matérias primas tem sido algo fundamental quando o assunto é competição na indústria cerâmica. Não é possível ter uma empresa competitiva se esta não visa à qualidade desde a seleção da matéria prima, pois o resultado será sempre refletido no produto final.

A meta das empresas que almejam alcançar qualidade será esta, pois a atual exigência do mercado é por produtos que sigam as inovações tecnológicas. Com isso, chega-se a conclusão que investir em qualidade torna-se necessário devido à própria exigência do mercado. Assim, novos processos estão sendo estudados e a adaptação desses por parte dos empresários nas empresas já torna-se uma realidade.

As fases para fabricação das peças cerâmicas são: inicialmente a exploração das jazidas, o tratamento prévio da matéria-prima, a homogeneização, secagem e a queima. O volume disponível de material na jazida é um fator relevante antes de iniciar a exploração.

No estudo qualitativo são analisados a composição, a pureza, as características físicas e o comportamento durante a secagem e cozimento da matéria-prima. O valor comercial da jazida é estimado em função da quantidade disponível de material, facilidade de acesso, localização, transporte e se há água disponível.

A fabricação de cerâmica estrutural no Brasil teve origem no século XVI nos estados da Bahia e Pernambuco, espalhando-se por todos os estados da federação (SANTOS, 2001).

2.2 – Cerâmica

2.2.1 – Propriedades

As propriedades das cerâmicas estão relacionadas com:

- **A Constituição:** composição da argila, materiais presentes na matéria prima extraída de uma jazida.
- **Cozimento:** formas de cozimento (tipos de fornos e combustíveis utilizados na queima do material).
- **Moldagem:** preparação das amostras ou peças para o cozimento.

- **Peso:** há cerâmicas que são mais leves que a água e outras de grande peso.
- **Volume aparente:** volume de água deslocado por uma peça já saturada por 24hs de imersão.
- **Peso específico aparente:** relação entre o peso da peça seca ao ar e o seu volume aparente.
- **Resistência ao desgaste:** depende da quantidade de vidro formado.
- **Absorção de água:** depende da compactação, da constituição da temperatura e do tempo de queima, onde ocorre o início da vitrificação da peça.
- **Porosidade:** é mostrada através do aumento do peso que a peça apresenta após 24hs de imersão em água.
- **Resistência:** melhora quando o cozimento é feito na temperatura e no tempo certo, depende da homogeneidade e granulometria.
- **Resistência mecânica:** vai depender da quantidade de água usada na moldagem.

2.3 – Matéria - prima

2.3.1 – Conceitos iniciais

A argila é a matéria-prima para fabricação de materiais cerâmicos. Pertencente ao grupo dos minerais, constituído de silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio, comumente com alguma porcentagem de álcalis e de alcalino-terrosos.

Além de sílica, alumina, mica, ferro, cálcio, magnésio, matéria orgânica, sais solúveis, partículas de quartzo e certos minerais não cristalinos (GRIM, 1968). Com isso, os elementos formadores do vidro estão presentes.

2.3.2 – Estrutura

A estrutura da argila é de filossilicatos, em camadas compostas, com cátions em coordenações tetraédricas e octaédricas. Na maioria são cristalinos, placóides ou fibrosos e de pequenas dimensões.

De acordo com a ABNT a argila é um solo que apresenta características marcantes de plasticidade, quando suficientemente úmido, molda-se facilmente em diferentes formas, quando seco apresenta coesão bastante para constituir torrões dificilmente

desagregáveis por pressão dos dedos; suas propriedades dominantes são devido à parte constituída pelos grãos de diâmetros máximos, inferiores a 0,005mm.

Quanto à estrutura as argilas são subdivididas em cinco grupos: alofana, caulinita, illita, montmorilonita e vermiculita.

- I. **Alofana:** único grupo de argilo-minerais amorfos, quando analisados através de raios X. É possível que o arranjo das unidades tetraédricas não seja suficientemente regular para permitir a difração das unidades individuais. em geral, os minerais desse grupo não possuem forma e composição química definidas e as propriedades são muito variáveis.
- II. **Caulinita:** os minerais desse grupo cristalizam nos sistemas monoclinico e triclinico. A estrutura consiste em uma camada simples de tetraedros de sílica e uma camada simples de octaedro de alumina, combinadas formam uma camada comum. Provavelmente os argilo-minerais mais comuns pertencem a esse grupo e formam-se, principalmente, pela alteração dos feldspatos, feldspatóides e outros silicatos, durante o intemperismo químico e também hidrotermalmente, ao redor de zonas mineralizadas.
- III. **Ilita:** quanto a composição, assemelha-se à da muscovita, tendo mais sílica e menos potássio. Sua estrutura é similar à da mica e cristaliza-se no sistema monoclinico. São comuns em folhelhos, argilitos e formam-se diretamente durante o intemperismo químico ou durante a diagênese dos sedimentos, a partir da alteração de outros argilo-minerais.
- IV. **Montmorilonita:** inclui entre outros minerais, a esmectita, a saponita e a hectorita. A composição química é complexa, contendo além da sílica, alumínio e magnésio, quantidades variáveis de cálcio, sódio e ferro. Os minerais desse grupo ocorrem em partículas extremamente pequenas, o que dificulta o reconhecimento de sua estrutura, quando analisados pelos raios X. pertencem ao sistema monoclinico. Possui a capacidade de entumescer, aumentando o volume de até 30 vezes quando colocada na água.
- V. **Vermiculita:** características semelhantes às do talco. No estado natural, o mineral apresenta uma alternância de camadas de mica e camadas duplas de água. Possui a propriedade de expandir-se rapidamente, perpendicularmente aos planos de clivagem, quando aquecida, aumentando

frequentemente dez vezes o volume original. No aquecimento, em temperaturas de 500 °C, dá-se à saída de água existente entre as camadas estruturais e, quando umedecida, em temperatura ambiente, o mineral rapidamente se rehidrata de biotita, ocorrendo desde partículas de tamanho diminuto até placas centimétricas.

2.3.3 – Plasticidade

A plasticidade é uma das propriedades mais importante da argila, é essencialmente resultante das forças de atração entre partículas de argilo-minerais e a ação lubrificante da água entre as partículas anisométricas lamelares.

Pode-se admitir que a plasticidade se desenvolve quando a argila tem água suficiente para cobrir toda a superfície acessível dos argilo-minerais com uma película de água rígida, isto é, não-liquida mais um pouco de água líquida que age como meio lubrificante facilitando o deslizamento das placas umas sobre as outras quando uma tensão tangencial for aplicada; essas duas águas expressas percentualmente em relação à massa da argila seca, são o limite de plasticidade de Attenberg (GRIM,1968).

Baseado em conhecimentos adquiridos por extensas investigações experimentais, Atterberg (1911) e Haines (1925) determinaram os três limites de consistência dos materiais argilosos, são eles: o limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e o limite de contração (LC). Como a consistência de interesse nesse trabalho é o estado plástico, os limites determinados foram os LL [ABNT, NBR 6459] e o LP [ABNT, NBR 7180], os quais compõem o índice de plasticidade (IP) das amostras.

2.3.3.1 – Fatores que afetam a plasticidade

Os principais fatores que afetam a plasticidade são:

- **Mineralógicos** – são os minerais argilosos a causa primeira da plasticidade das argilas. Em argilas do mesmo tipo, quanto maior o teor de minerais argilosos, maior será a plasticidade. De acordo com a plasticidade relativa, as argilas podem ordenar-se da seguinte forma: (bentonita, ball-clay, fire-clay e caulim). A presença de minerais não plásticos, reduz a plasticidade das argilas.
- **Granulométricos** – o aumento do percentual de partículas finas corresponde a um aumento de plasticidade. Quanto maior a superfície específica, maior é a

quantidade de água que se pode fixar numa superfície disponível maior. A análise granulométrica consiste na determinação das dimensões das partículas que constituem as amostras (presumivelmente representativas dos sedimentos) e no tratamento estatístico dessa informação. Basicamente, o que é necessário fazer é determinar as dimensões das partículas individuais e estudar a sua distribuição, quer pelo peso de cada classe dimensional considerada, quer pelo seu volume, quer ainda pelo número de partículas integradas em cada classe. Na realidade, estas três formas têm sido utilizadas (DIAS, 2004).

- **Carga elétrica dos cristais** – a carga elétrica global negativa que os minerais argílicos possuem, para quase todos os pH's com a qual está relacionada a sua capacidade de troca de cátions e o seu potencial eletrocinético. As partículas de argila que fazem parte de uma massa plástica estão em posição de equilíbrio entre forças repulsivas devidas as suas cargas elétricas negativas, balanceadas por forças atrativas com uma componente de Van der Waals e a outra de tensão superficial devida à água.
- **Natureza dos cátions de troca e estado de defloculação da argila** – uma argila em que Na^+ é o cátion de troca, requer muito menos água para fluir do que uma argila em que o Ca^{2+} ou Mg^{2+} são cátions de troca. Na argila-Ca as partículas estão fortemente aglomeradas (floculação ou coagulação) e o empacotamento delas é desordenado formando-se estruturas abertas com espaços preenchidos por água. Tal sistema implica uma tensão de cedência elevado requerendo mais água para fluir. Pelo contrário, na argila-Na a aglomeração das partículas é fraca. Consequentemente a argila-Na requer menos água e menos tensão aplicada para fluir (SANTOS, 1989; GOMES, 1988).

2.3.4 – Difração de raios X

O método de difração de raios X em relação a outros métodos físicos como a análise térmica diferencial, ou químicos, como a análise química, oferece a vantagem de que o difratograma apresenta um número grande de picos, o que facilita a identificação, principalmente no caso de misturas, onde pode haver superposição de alguns picos, mas nunca de todos (SANTOS, 1975).

Ao se caracterizar argilominerais, a utilização da técnica de difração de raios X torna-se ainda mais indicada, pois uma análise química reportaria os elementos

químicos presentes no material, mas não a forma como eles estão ligados (ALBERS et al, 2002).

A caracterização químico-mineralógica das argilas e a determinação das propriedades que seus componentes atribuem às massas cerâmicas permitem estudar os beneficiamentos que devem ser feitos para alterar uma ou várias propriedades do corpo cerâmico e melhorar as propriedades do produto final (COELHO, ROQUEIRO & HOTZA, 2002).

As análises de difração de raios X e fluorescência de raios X fornecem como resultados as fases presentes na argila e a relação dos elementos constituintes da argila com a sua proporção na forma de óxidos, respectivamente. Através da combinação da análise química, qualitativa e quantitativa onde os elementos são todos considerados existindo na forma de óxidos, têm-se informações suficientes para determinar a composição mineralógica das fases presentes na argila. Essa técnica tem como fundamento básico a resolução simultânea de equações lineares montadas para cada fase detectada por difração de raios X. Esse conceito é o de análise racional (SANTOS, 1989).

2.3.5 – Análise Térmica

2.3.5.1 – Análise térmica diferencial

As variações de energia podem gerar picos endotérmicos (transformações com ganho de calor) ou exotérmicos (transformações com perda de calor) (BARBA et al, 1997).

Engloba uma série de técnicas nas quais as propriedades físicas de uma substância e/ou seus produtos de reação são medidas de forma contínua em função da temperatura em um ciclo térmico controlado (BARBA *et al*, 1997). Uma das técnicas de análise térmica é a análise térmica diferencial (ATD) que tem como principal função indicar através de picos endotérmicos ou exotérmicos a comprovação da existência de minerais essenciais às argilas e que influenciam as propriedades finais da peça (SILVEIRA & SALLET, 2002).

O método de análise térmica diferencial (ATD) é de uso corrente no Brasil no estudo de argilas, visando principalmente à identificação dos argilominerais presentes.

No caso de argilas plásticas para uso em cerâmica vermelha é tradicional o uso de ATD para identificação mineralógica (SANTOS, 1989).

2.3.5.2 – Análise termogravimétrica

A análise termogravimétrica que determina a perda ou ganho de massa que uma amostra sofre em função da temperatura e/ou tempo (BARBA *et al*, 1997). A amostra é aquecida de maneira controlada, até uma temperatura pré-determinada, com velocidade constante. Este método de análise complementa a análise térmica diferencial por fazer distinção entre as reações onde ocorre perda de massa e as reações onde não ocorre.

2.3.6 – Retração – secagem e queima

A água contida no interior das peças feitas com materiais cerâmicos, evidentemente, tende a evaporar por influencia da atmosfera exterior. O calor que dá origem a secagem, pelo contrário, age do exterior para o interior. Ou seja, a corrente quente do exterior movimenta-se em sentido contrário à água que procura sair do interior.

Como a superfície externa seca mais rapidamente, ela se contrai e, em conseqüência, fecha os poros da argila, dificultando a saída da água ainda contida internamente. Isto gera tensões entre a parte externa e a parte interna. Ao ser eliminada a água e ao surgirem os vazios por ela deixados ocorre uma aproximação das partículas em conseqüência das forças de atração eletrostática provocando o que se chama de aglomeração ou adensamento.

Após queima, e retração é conseqüência do fenômeno de sinterização. A sinterização é um processo de adensamento de partículas sólidas com a eliminação ou redução dos poros mediante tratamento térmico, mantendo nas partículas sua individualidade, mas estando ligadas entre si, seja como conseqüência de formação de fase líquida, seja por difusão de átomos no estado sólido. Propriedades como absorção de água, porosidade e massa específica aparente são relacionadas com sinterização (ZANDONADI, 1995).

2.3.7 – Comportamento térmico

De uma maneira geral os argilominerais apresentam características de comportamento térmico semelhantes, como perda de água e transformações de fases. Em virtude disso, a seguir temos um roteiro de um comportamento de uma argila em diferentes temperaturas.

Existem dois tipos de água: a água da umidade, que evapora a 100 °C e a água interna do cristal, que é eliminada entre 550 °C e 600 °C. Durante a saída de água de umidade o forno funciona como um secador. A 500 °C ainda existem moléculas de água compondo a estrutura dos argilominerais e que não foram afetadas na etapa de secagem. No momento exato em que perder essa água de constituição as propriedades argilosas, associadas à plasticidade, serão perdidas de forma irreversível.

Entre 550 °C e 600 °C essa água é eliminada. Apenas acima desta temperatura pode ser identificado como o início efetivo da sinterização. Entre 560 °C e 580 °C pode haver uma variação dimensional considerável devido à presença de sílica livre na forma de quartzo na composição das matérias primas, como resultado disso pode surgir trincas durante o resfriamento. A partir de 1000 °C os argilominerais se reorganizam em novas estruturas cristalinas. A queda da absorção de água evidencia o preenchimento dos poros.

Durante o aquecimento, é comum a contração de peças; raramente ocorre expansão ou dilatação. Ocorrem também várias reações que dependem da composição química, mineralógica e granulométrica da argila (ZANDONADI, 1995).

2.3.8 – Composição

Os componentes mais importantes das argilas são:

- **Caulinita ($2\text{SO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$):** a forma mais pura de argilo-minerais, mas geralmente misturada com grãos de areia, óxidos de ferro e outros elementos; tem amplo predomínio no caulim, argila muito plástica.
- **Óxido de ferro (Fe_2O_3):** misturado com a caulinita dar a cor vermelha ou amarelada da maioria das argilas, reduz a propriedade de ser refratária e seu teor não ultrapassa 7%.
- **Sílica livre (SO_2 /areia):** diminui a retração e facilita a secagem, diminui a resistência mecânica, forma em geral de 40% a 80% do total da matéria-prima.

- **Alumina (Al_2O_3):** dependendo do tipo, aumenta ou diminui o ponto de fusão da argila, aparece com teores de 10% a 40%.
- **Álcalis:** baixam o ponto de fusão e dão porosidade, facilitando a secagem e o cozimento, o teor de álcalis é da ordem de 10%.
- **Cálcio:** age como fundente e clareia a cerâmica.
- **Sais solúveis:** provocam a eflorescência no material cerâmico.
- **Cal (CaO):** tem geralmente um teor abaixo de 10%.
- **Magnésia (MgO):** não ultrapassa 1%.
- **Água: de constituição** (absorvida ou de inchamento, faz parte da estrutura das moléculas), **de plasticidade** (adere às superfícies das partículas coloidais), **de capilaridade** (preenche os poros e vazios).

2.3.9 – Classificação

- Quanto ao emprego: Infusíveis** (praticamente constituídas de caulim puro), **Refratárias** (não deformam a temperatura de 1500 °C e tem baixo coeficiente de condutibilidade térmica), **Fusíveis** (são as mais importantes, deformam-se e vitrificam-se a temperaturas inferiores a 1200 °C).
- Quanto à plasticidade: Plásticas** (rica em material argiloso e pobre em desengordurantes), **Não-plásticas** (pobres em material argiloso e ricas em desengordurantes).
- Quanto à localização: Residuais** (argilas encontradas no local de formação), **Transportadas ou Sedimentares** (argilas arrastadas e depositadas em outros locais por ação da água ou do vento).

2.3.10 – Tratamento

O tratamento da argila vai desde a depuração até a obtenção da umidade adequada. A depuração compreende na eliminação das impurezas, tais como grãos duros, nódulos de cal e sais solúveis que prejudicam o tratamento mecânico. Na divisão, as argilas só precisam ser reduzidas a pequenos fragmentos, porém os desengordurantes devem ser reduzidos a pó. Na homogeneização as argilas e os desengordurantes devem misturar-se o mais intimamente possível com precisa quantidade de água.

Por fim a umidificação, para cerâmicas finas, quanto maior a quantidade de água na pasta, mais fácil fica conseguir a homogeneização. Existem também tratamentos naturais que englobam a mistura, meteorização, amadurecimento, apodrecimento e levigação.

2.3.11 – Moldagem

A relação teor de água da pasta de argila é a moldagem. Quanto mais água, mais fácil ficará a moldagem. As pastas podem ser classificadas em: brandas (25% de umidade), duras (15% de umidade) e secas (de 5% a 6% de umidade).

No processo de argila mole as peças são moldadas à mão ou à máquina. Na moldagem mecânica são moldadas séries de 4 a 8 peças, em marombas providas ou não de dispositivo de vácuo, que são forçadas por um parafuso sem fim contra um bocal de forma ou prensas automáticas. Deve ser evitada qualquer descontinuidade na pasta, o que ocasiona gretas e fissuras durante secagem e posterior cozimento (SANTOS, 1989).

2.3.12 – Secagem

A secagem é uma etapa bastante delicada e complexa no processo de fabricação de cerâmica vermelha. É comum nesta etapa ocorrerem defeitos de secagem nas peças e que são perceptíveis somente após queima. A compreensão dos mecanismos envolvidos na secagem permite, por exemplo, uma melhor compreensão dos defeitos e da forma de como evitá-los.

O objetivo da secagem é eliminar a água, utilizada na etapa de conformação, necessária para a obtenção de uma massa plástica. A eliminação de água ocorre por evaporação através do aporte de calor, efetuado mediante uma corrente de ar.

Sabe-se que quando se mistura uma argila com certa quantidade de água, obtém-se uma massa coesiva que pode ser moldada com facilidade. A retração que as peças sofrem durante a etapa de secagem é um parâmetro de grande importância tecnológica. Durante a secagem são geradas tensões que podem levar ao aparecimento de defeitos que comprometem a qualidade das peças.

A secagem natural de alguns produtos cerâmicos específicos deve ser feita em lugares bem aerados, mas que não tenham acesso ao vento e aos raios de sol. Durante a

secagem, os materiais cerâmicos devem ser empilhados, pois o contato das faces com materiais absorventes, pode originar distorções.

2.3.13 – Processo de queima

Os minerais sofrem importantes transformações de caráter físico e químico durante a queima. Além disso, podem ocorrer interações entre os diversos minerais constituintes das argilas os quais são também fortemente influenciados pelas condições de queima como atmosfera do forno, temperatura máxima e taxa de aquecimento/resfriamento.

Nos minerais plásticos destacam-se reações de perda de água de constituição e transformações de fases. Da parte dos minerais não plásticos pode ocorrer decomposição de hidróxidos, oxidação de matéria orgânica, decomposição de carbonatos, formação de fase líquida, dentre outras.

Se a queima é lenta, o produto final é de maior qualidade, mas há excessivo gasto de combustível. A queima rápida é mais econômica, mas dá origem a um produto final de qualidade inferior. Pode ser dividida em três estágios (desidratação, oxidação e vitrificação).

2.3.14 - Curvas de gresificação

As principais propriedades físicas estudadas nas argilas são a retração linear, a absorção de água, porosidade e densidade aparente. Neste caso as propriedades são medidas em corpos-de-prova, e podem ser observados após a secagem e/ou após a sinterização. A retração linear consiste na variação das dimensões lineares em porcentagem e seu valor será positivo quando houver retração e negativo quando houver expansão.

A absorção de água é a capacidade que o material possui de aumentar a sua massa absorvendo a água que o envolve. A porosidade aparente determina a quantidade de poros abertos presentes na amostra, já a densidade aparente é a razão entre o peso do corpo-de-prova seco e o seu volume aparente. A resistência mecânica do corpo-de-prova indica a capacidade de suportar esforços exercidos por cargas, que possam levar a ruptura, esmagamento ou quebras; normalmente é obtida por meio de ensaio de flexão

por três pontos e é calculada através de equações que envolvem a força máxima aplicada e as dimensões da peça.

É a representação gráfica simultânea das variações de absorção de água (AA) e retração linear (RL) da peça com a temperatura de queima. Assim, tendo-se claramente estabelecido a faixa de AA desejada e a variação de tamanho admissível no produto final, pode-se utilizar a curva de gresificação para identificar a temperatura na qual essas características são alcançadas.

Além disso, a curva de gresificação nos permite avaliar a tolerância da massa a variações de temperatura e condições de processamento, portanto pode ser de grande utilidade como um instrumento de controle de qualidade.

2.4 – Fornos

2.4.1 – Síntese (fornos para cerâmica)

Os fornos mais empregados pela indústria cerâmica no Brasil segundo (NERI, 1998) são:

- Fornos do tipo caieira, a lenha (intermitentes);
- Fornos do tipo chama reversível, a lenha ou óleo (intermitentes);
- Fornos do tipo plataforma (intermitentes);
- Fornos do tipo Hoffmann (contínuos);
- Fornos do tipo túnel (contínuos).

2.4.1.1 – Fornos intermitentes

Possuindo o formato de um tanque, o forno tipo caieira é típico de pequenas olarias. Com abertura na sua parte inferior por onde é colocada a lenha para queima. Estas aberturas têm uma cobertura na forma de abóbada, feita com fileiras de tijolos separados, para dar passagem às chamas, e sobre elas são arrumadas as peças, de modo a permitir a passagem dos gases quentes da combustão, os quais descrevem um movimento ascendente através delas, e saem pela chaminé situada na parte superior do forno, deixando escapar junto com os mesmos uma grande quantidade de calor para o exterior do forno.

Nesse forno a perda de produtos é alta, devido a má distribuição do calor na câmara de queima, sendo que as primeiras camadas são queimadas demais, enquanto as peças das últimas camadas ficam cruas. Esse forno é considerado ultrapassado e sua utilização é cada vez menor.

Alguns fornos, como os tipos chama reversível, utilizam um princípio de tiragem ascendente/descendente. Nesses fornos, parte dos gases da combustão podem ter saída através de aberturas no fundo do forno, impedindo deste modo a condensação na parte inferior do mesmo e tomando possível o término da queima simultaneamente na parte superior e inferior do forno.

Os fornos do tipo chama reversível, tem uma estrutura constituída de uma câmara com uma abóbada fechada, com o piso feito de tijolos perfurados de modo a permitir a passagem dos gases da combustão para os dutos de tiragem. Sua seção horizontal é retangular ou quadrada com uma ou mais câmaras de combustão ao longo de uma ou duas paredes laterais de maior dimensão, ou então possui seção horizontal circular com seis fornalhas equidistantes entre si.

Em termos energéticos, o forno reversível é mais eficiente que o forno caieira, sendo usado nas cerâmicas de pequeno e médio porte (NERI, 1998).

2.4.1.2 – Fornos contínuos

Fornos para produção em grande escala e de forma econômica, reutilizando o calor despreendido durante o resfriamento. Os fornos do tipo túnel utilizam um método diferente de queima contínua onde os materiais se deslocam ao longo de um túnel aquecido.

A temperatura atingida pelos materiais enquanto avançam ao longo do túnel aumenta no início e diminui depois gradualmente como no forno intermitente, mas a estrutura do forno num dado ponto permanece sempre à mesma temperatura. Deste modo, consegue-se a maior aproximação ao método de queima ideal, no qual a energia térmica se consome só nas transformações químicas irreversíveis.

Um túnel reto ou circular de superfície interior relativamente pequena, ao longo desse túnel desloca-se um sistema de transporte dos materiais, que usualmente são carrinhos especiais que se deslocam sobre trilhos. Os materiais avançam contra uma corrente de ar que transfere calor daqueles que se encontram na seção de resfriamento e transferem esse calor para aqueles que se encontram na seção de aquecimento. Os

queimadores encontram-se na parte central do forno conhecido como seção de queima dos materiais cerâmicos (CTGÁS, 1998).

2.5 – A Indústria

2.5.1 – Caracterização do Processo Produtivo

A produção da Indústria Cerâmica em estudo começa com a extração da matéria-prima onde a jazida encontra-se nas proximidades do local da indústria, que pode ser observado nas Figuras 1 e 2 :



Figura 1: Vista aérea da cerâmica



Figura 2: Local de extração da matéria - prima

O processo é constituído da seguinte forma:

- **Caixão alimentador com destorroador:** Permite a instalação de um volume considerável de argila que ampliam a capacidade de armazenagem, evitando perdas de argila. O movimento da argila é feito através de uma esteira de aço, com roletes de apoio que garante uma produção segura. O caixão alimentador pode ser observado na Figura 3:



Figura 3: Caixão alimentador

- **Misturador:** Prepara a argila antes de ser extrusada. As máquinas amassam, umedecem e homogeneízam a argila. Possibilita além da homogeneização da massa, a quebra dos torrões antes de serem processados no laminador. Neste equipamento há uma correção de umidade da argila. A esteira transporta a matéria-prima até o misturador como mostra a Figura 4. o misturador pode ser observado na Figura 5:



Figura 4: Esteira que antecede o misturador



Figura 5: Detalhe – misturador

- **Laminador 1:** O laminador localiza-se após o misturador e completa a homogeneização da argila fracionando os pedriscos, laminando-os e misturando-os a massa cerâmica, o que evita as perdas na produção e proporciona produtos com melhor acabamento. A segunda esteira e o laminador podem ser observados na Figura 6:



Figura 6: 2º esteira e laminador

- **Laminador 2:** A laminação total da argila é obtida no laminador 2, com velocidades diferentes nos cilindros laminadores. Mas ao mesmo tempo em que ocorre a laminação, há o atrito de deslizamento. Uma laminação boa implica em produtos bem acabados e uma redução no consumo de energia para queima visto que a granulometria diminui. A 3ª esteira e o laminador 2 podem ser observados na Figura 7:



Figura 7: 3º esteira e laminador 2.

- **Maromba:** Na fabricação de tijolos aparentes, bastões e telhas que necessitam de uma massa mais homogênea e uniforme. Equipamento que possui dois caracóis, sendo o primeiro no recebimento da argila e o segundo para a extrusão. Através do primeiro caracol o material é transportado para a câmara de vácuo principal, passando antes por um grelha-filtro, que reduzirá a granulometria do material conforme a abertura da grelha utilizada. Aplicado na produção de tijolos furados. Por suas características econômicas é a extrusora para cerâmicas de pequeno porte. A maromba pode ser observada na Figura 8:



Figura 8: Maromba

- **Cortador:** Executar cortes sincronizados e precisos junto ao fluxo da extrusora. Diferencia-se dos cortadores tradicionais, devido o seu sistema de corte horizontal, eliminando as deformações nos elementos. O cortador pode ser observado na Figura 9:



Figura 9: Cortador

- **Boquilha:** Local de saída dos blocos moldados. A boquilha pode ser observada na Figura 10:



Figura 10: Boquilha

- **Secador:** A forma de secagem é natural, depois empilha-se as peças cerâmicas e em seguida vai para o forno que na indústria é o forno contínuo. A área de secagem das peças pode ser observada na Figura 11:



Figura 11: Secagem

- **Fornos:** usados para a queima dos produtos, os fornos da Indústria Cerâmica em estudo são do tipo contínuo e os operadores monitoram a passagem das chamas na alimentação na parte superior dos fornos e o funcionamento é a lenha. Os fornos podem ser observados na Figura 12:



Figura 12: Vista lateral dos fornos contínuos

- **Área interna dos fornos e alimentador:** A área interna onde os blocos são sinterizados é observada na Figura 13 e o alimentador que fica em cima dos fornos pode ser observado na Figura 14:



Figura 13: Área interna do forno



Figura 14: Vista superior – alimentador durante a sinterização

CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Para o desenvolvimento deste trabalho, utilizou-se a matéria-prima que é usada na fabricação de peças (telhas, lajotas e tijolos), fornecidos por uma indústria do Crato – Ce.

Foram coletados, na saída da extrusora, 25 (vinte e cinco) blocos com dimensões de (9 X 19 X 19)cm e em seguida acondicionados em recipientes plásticos a fim de manter a umidade e enviados para o laboratório de materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

3.2 Métodos

A metodologia aplicada durante o desenvolvimento deste trabalho pode ser observada a seguir.

3.2.1 Caracterização

As Análises e os ensaios tecnológicos da matéria-prima fornecida pela indústria, foram realizados conforme o esquema da Figura 15:

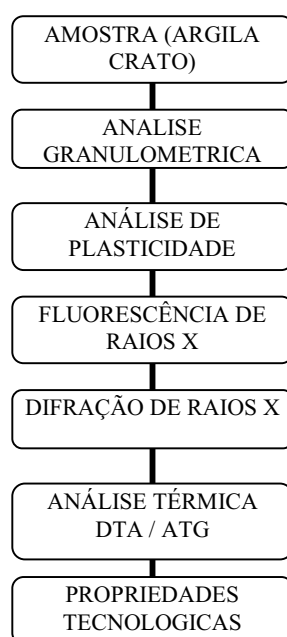


Figura 15: Metodologia usada na etapa de caracterização.

3.2.1.1 Análise granulométrica

A etapa de análise granulométrica (AG) foi realizada em um granulômetro a laser da marca CILAS, modelo 920L. Na análise pequenas quantidades da amostra pré-selecionada na peneira nº 40 (abertura de 0,42mm) ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), foram dispersas em meio aquoso sob perturbação mecânica (ultra-som) durante 1 min.

O histograma e a curva cumulativa (menor que), mostram o resultado da análise granulométrica e através destes retira-se (D_{10} , D_{60} , D_{90} e D_M).

3.2.1.2 Índice de Plasticidade

Classificação de JENKINS *apud* CAPUTO, 1981 da amostra pelo valor do índice de plasticidade:

Fracamente Plásticos	→	$1 < IP < 7$
Medianamente Plásticos	→	$7 < IP < 15$
Altamente Plásticos	→	$IP > 15$

3.2.1.3 Fluorescência de raios X

A análise química (FRX) foi utilizado um espectrômetro modelo EDX-700 da marca Shimadzu as análises passaram na peneira malha nº 200 da ABNT (0,074mm de abertura).

3.2.1.4 Difração de raios X

A análise de difração de raios X (DRX) foi realizada em um difratômetro XRD-6000 da Shimadzu alocado no Laboratório de Ensaios de Materiais do Centro de tecnologia do gás (CTGÁS). As amostras secas e passantes da peneira ABNT nº 200 (abertura de 0,074 mm) foram submetidas as seguintes condições de ensaio: tubo de Cu ($\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$) como fonte primária de raios X, tensão de 40 kV, corrente de 30 mA, varredura de 2° a 80°

para 2_θ, velocidade de 2°/min e passo de 0,02°. Para a identificação dos picos foi usado o software JCPDF cadastradas no ICDD (Internacional Centre for Diffraction Data).

3.2.1.5 Análise Térmica

3.2.1.5.1 Análise térmica diferencial

O equipamento usado na ATD foi o analisador termodiferencial modelo ATD- 50H da marca Shimadzu. As seguintes condições foram aplicadas na análise: amostras com granulometria inferior a 0,074 mm (peneira ABNT nº 200); fluxo de ar sintético de 50 ml/min; e taxa de aquecimento de 10 °C/min até 1000 °C.

3.2.1.5.2 Análise termogravimétrica

As curvas termogravimétricas foram obtidas utilizando um analisador termogravimétrico modelo ATG-50 da Shimadzu. A Análise termogravimétrica (TGA) foi realizada simultaneamente a ATD, portanto nas mesmas condições (atmosfera, amostragem e ciclo térmico).

3.2.1.6 Propriedades Tecnológicas

Nesta etapa a matéria-prima veio acondicionada em sacos plásticos direto da fábrica depois de coletada na saída da extrusora. Os corpos-de-prova foram conformados em uma matriz metálica de cavidade retangular com dimensões de 6cm x 2cm, aplicando, por intermédio de uma prensa hidráulica modelo PHS 15t e marca Schulz, 25 MPa (3 toneladas força). Foram conformados 25 CPs para cada análise por prensagem e 25 CPs por extrusão.

O processo de extrusão consiste basicamente na pressurização de uma massa plástica por meio de dispositivos propulsores (pistão, hélice ou cilindro) contra a boquilha da maromba. As boquilhas possuem orifícios que permite a passagem da massa plástica de forma a imprimir uma secção transversal desejável a massa passante. Os CPs à verde foram então identificados, pesados, medidos, secos em estufa elétrica à temperatura de 110 °C por 24h, medidos e pesados novamente.

A etapa seguinte foi a queima. Nesta os CPs foram submetidos à temperatura de queima (T_q) na faixa de 800 °C a 1000 °C variando 50 °C da primeira temperatura à última. O ciclo térmico teve uma taxa de aquecimento (2 °C/min da temperatura ambiente até a T_q). As queimas dos CPs foram realizadas em um forno elétrico modelo 2314 da marca jung equipado com um controlador Novus N1100. Durante a etapa de sinterização, cinco CPs foram submetidos ao mesmo ciclo térmico, sendo apresentados os resultados das propriedades tecnológicas através da média desses 5 CPs em cada temperatura de queima.

Na Figura 16, podem ser observados os procedimentos usados para confecção dos corpos-de-prova e os ensaios tecnológicos realizados.

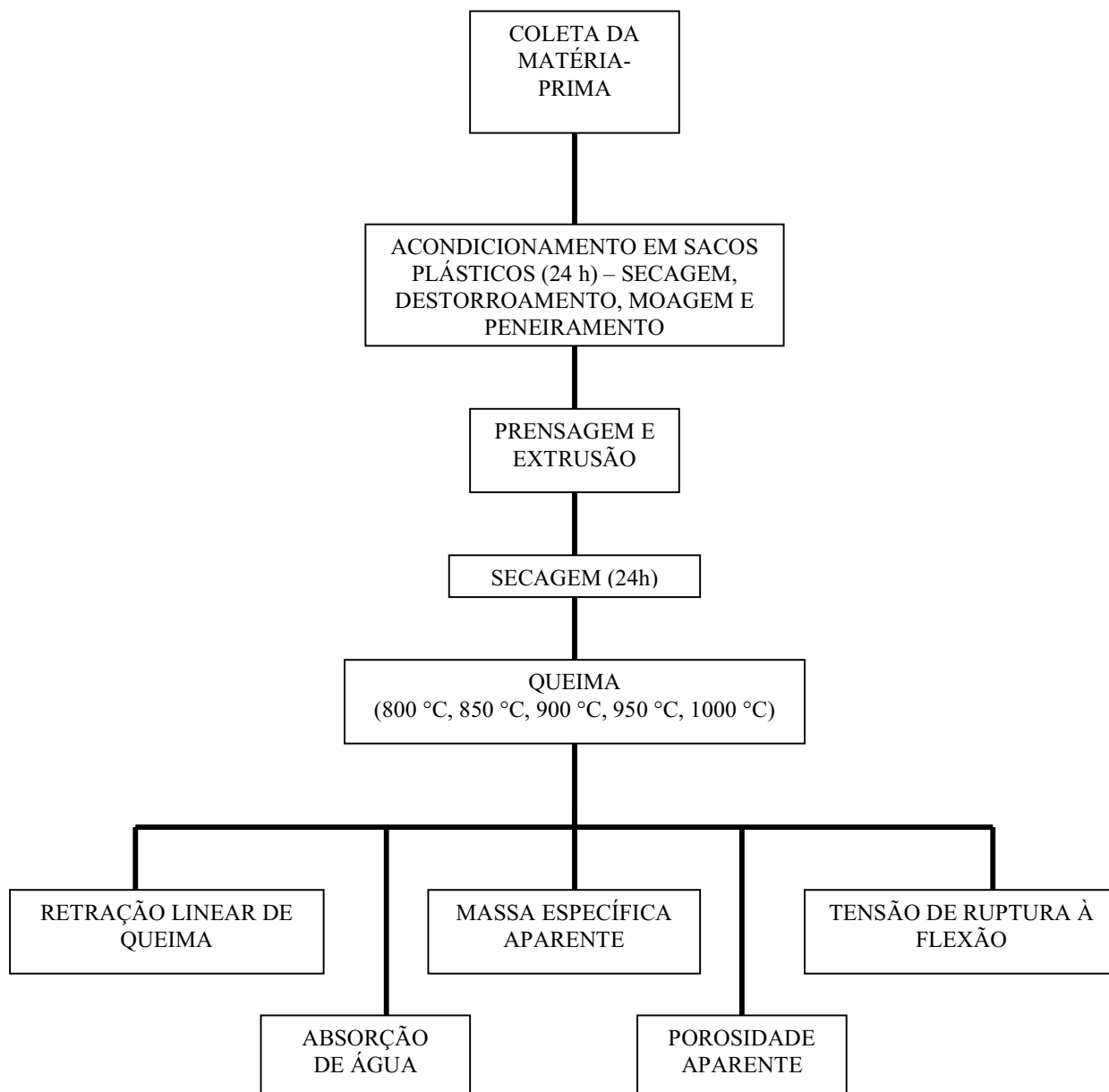


Figura 16: Esquema dos procedimentos para confecção dos corpos-de-prova e ensaios tecnológicos realizados.

3.2.1.6.1 Absorção de água (AA)

Neste trabalho, os CPs pós-queima foram submersos em água na temperatura ambiente durante o período de 24 h. O peso antes e pós-queima são os parâmetros usados para o cálculo de AA, como é observado na (Equação I) a seguir:

$$AA = (P_u - P_q)/P_q \times 100 \quad (I)$$

Sendo:

AA = Absorção de água;

P_u = Peso do corpo-de-prova saturado (depois de saturado durante 24h);

P_q = Peso do corpo-de-prova queimado.

3.2.1.6.2 Retração linear de queima (RLq)

A retração linear de queima é obtida através da medida da variação das dimensões lineares que ocorre nos corpos-de-prova durante a queima, aferindo-os antes (L_s) e pós queima (L_q). A (Equação II) utilizada para o cálculo da RLq, pode ser observada a seguir:

$$RLq = (L_s - L_q)/L_s \times 100 \quad (II)$$

Sendo:

RLq = Retração linear de queima;

L_s = Comprimento do corpo-de-prova seco (antes de ser queimado)

L_q = Comprimento do corpo-de-prova queimado

3.2.1.6.3 Porosidade aparente (PA)

Para determinação da porosidade aparente foi usado o método de Arquimedes e a água na temperatura ambiente foi o fluido de imersão. A (Equação III) utilizada para o cálculo da PA, pode ser observada a seguir:

$$PA = (P_u - P_q)/(P_u - P_i) \times 100 \quad (III)$$

Sendo:

PA = Porosidade aparente;

Pu = Peso do corpo-de-prova saturado;

Pq = Peso do corpo-de-prova queimado;

Pi = Peso hidrostático do corpo-de-prova imerso em água.

3.2.1.6.4 Massa Específica Aparente (MEA)

A massa específica aparente é a relação entre a massa de uma amostra e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e pelos poros (volume total). A (Equação IV) utilizada para o cálculo da MEA, pode ser observada a seguir:

$$MEA = Pq / (Pu - Pi) \quad (IV)$$

Sendo:

MEA = Massa específica aparente;

Pu = peso do corpo-de-prova saturado;

Pq = peso do corpo-de-prova queimado;

Pi = peso hidrostático do corpo-de-prova imerso em água.

3.2.1.6.5 Tensão de ruptura a flexão (TRF)

O ensaio visa determinar qual a tensão que provoca a ruptura das peças, quando submetidas a esforços fletores.

O equipamento utilizado para este ensaio foi uma máquina de ensaios mecânicos da marca Zwick/Roell, modelo BZ 2.5/TS1T, com célula de carga com capacidade de 2,5 KN. Realizado com uma velocidade de carregamento de 0,5 mm/min e com distância fixa entre os apoios de 5 cm. Os resultados, dados em termos da tensão de ruptura à flexão (TRF) em três pontos, foram obtidos pela expressão matemática mostrada na (Equação V) a seguir:

$$TRF = (3Cr \times d) / 20 \times l \times h^3 \quad (V)$$

Sendo:

TRF = Tensão de ruptura a flexão;

CR = carga de ruptura (Kgf);

d = distância entre os apoios do suporte (cm);

l = largura do corpo-de-prova (cm);

h = altura do corpo-de-prova (cm).

CAPITULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 – Caracterização

4.1.1 – Análise Granulométrica

A curva granulométrica da amostra estudada é apresentada na Figura 16 a seguir, sendo obtidos os coeficientes de uniformidade (C_U) e de distribuição (C_D).

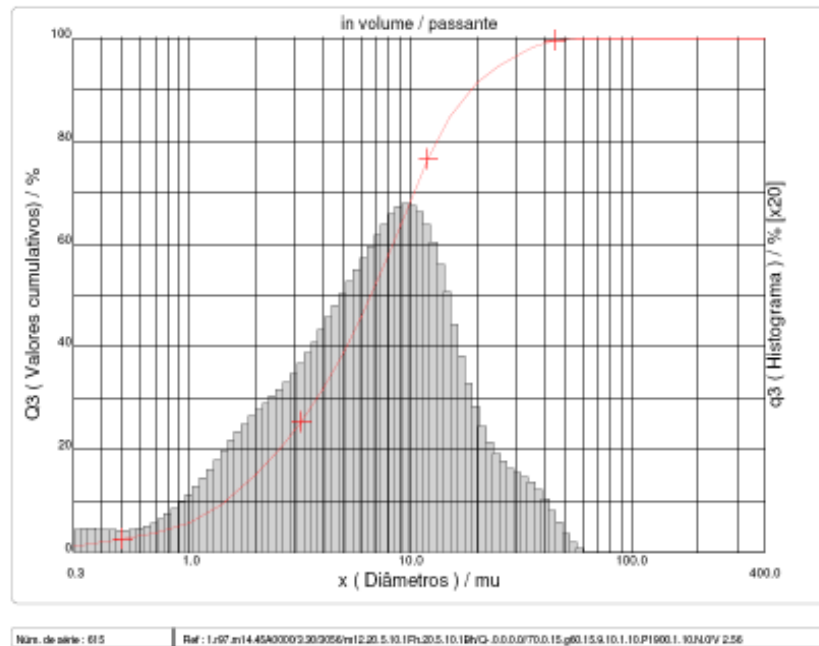


Figura 17: Curva granulométrica da amostra

O coeficiente de uniformidade (C_U) é dado pela razão D_{60}/D_{10} , quanto maior o valor do C_U mais desuniforme é a granulometria da amostra. No estudo este coeficiente apresentou um valor de (4,53), mostrando assim, uniformidade no tamanho das partículas.

O coeficiente de distribuição (C_D) é dado pela razão D_{90}/D_{10} , este parâmetro indica a extensão da faixa granulométrica ocupada pelas partículas da amostra analisada. Quanto mais larga a faixa granulométrica, mais desuniforme o tamanho das partículas. No estudo este coeficiente apresentou um valor de (12,90), portanto uma estreita faixa. O que determina um solo uniforme concordando com o resultado apresentado acima. A Tabela 1, apresenta as características granulométricas da amostra.

Tabela 1: Características granulométricas da amostra.

Amostra	D ₁₀	D ₆₀	D ₉₀	D _M	C _U	C _D	Teor de finos < 2µm (% em volume)
AM01	1,46	6,62	18,84	8,9	4,53	12,90	14,12

Com relação ao diâmetro médio e o teor de finos, estes apresentaram valores de (8,9) e (14,12) respectivamente.

4.2 – Índice de plasticidade

Os limites de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e índice de plasticidade (IP) foram determinados com o objetivo de verificar a plasticidade da amostra, sendo definida como argila altamente plástica. Os resultados podem ser observados na Tabela 2:

Tabela 2: Resultado – Índice de Plasticidade.

PLASTICIDADE DA AMOSTRA (%)				
Amostra	LL	LP	IP	Classificação
AM01	61,76	40,94	20,82	Altamente plástica

Por ser uma argila altamente plástica, deve ser adicionada a esta uma argila menos plástica rica em quartzo que funciona como redutor de plasticidade.

4.3 Fluorescência de raios X

Observando os valores da composição química, verifica-se que a massa apresenta óxido de silício (SiO₂) indicando a presença de silicatos e sílica livre correspondente ao quartzo. Segundo BARBA *et. al* (1997), a presença da sílica origina uma redução na plasticidade, aumenta a permeabilidade e o coeficiente de expansão térmica melhorando a estabilidade. Os resultados podem ser observados na Tabela 3:

Tabela 3: Resultados das análises químicas

PRINCIPAIS ELEMENTOS (% EM PESO)								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	SO ₃	MgO	TiO ₂	CaO	Outros
56,84	25,16	8,89	3,78	1,72	1,62	1,21	0,49	0,29

O teor de Al_2O_3 (25,16%) e está relacionado com a proporção do mineral argiloso. O óxido de ferro Fe_2O_3 presente quantifica a cor vermelha da massa após a queima, reduz a plasticidade, mas também diminui a retração e facilita a secagem. O K_2O age como fundente melhorando a vitrificação dos materiais cerâmicos na faixa de temperatura de 950 °C a 1000 °C. O MgO e CaO também agem como fundentes diminuindo a tendência de refratariedade. O óxido de titânio TiO_2 desvia a cor para um tom alaranjado.

4.4 Difração de raios-X

Na Figura 18, observa-se a presença de caulinita como constituinte argiloso e do quartzo como mineral acessório conforme análise racional.

K – Caulinita; Q – Quartzo; I – Ilita; M – Montmorilonita

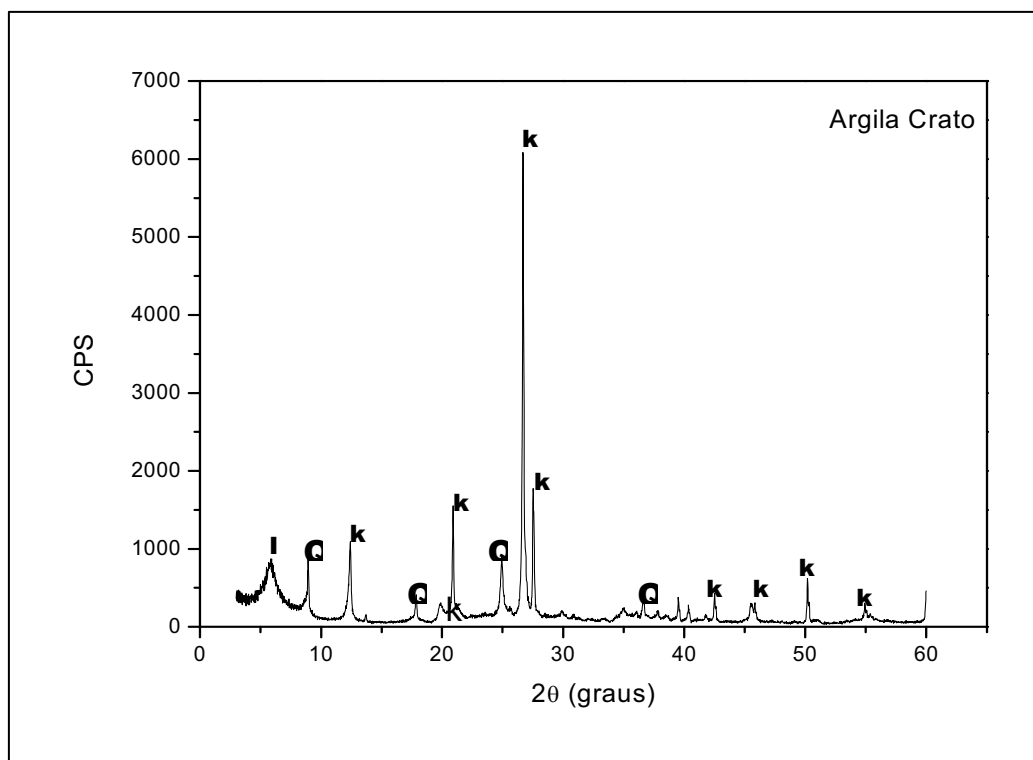


Figura 18: Difratograma da amostra.

4.5 Análise racional

O resultado da análise racional é mostrado na Tabela 4. A amostra possui a caulinita como argilomineral predominante e o quartzo como mineral acessório.

Tabela 4: Resultado da análise racional da amostra

Amostra	K	I	M	Q	G	Outro	Soma
	(%)						
AM01	70,80	5,10	-	24,10	-	-	100

4.6 Análise térmica

4.6.1 Análise térmica diferencial e termogravimétrica

Na Figura 19, observa-se que existem duas faixas de temperatura em que a perda de massa é mais evidente como mostra na curva termogravimétrica.

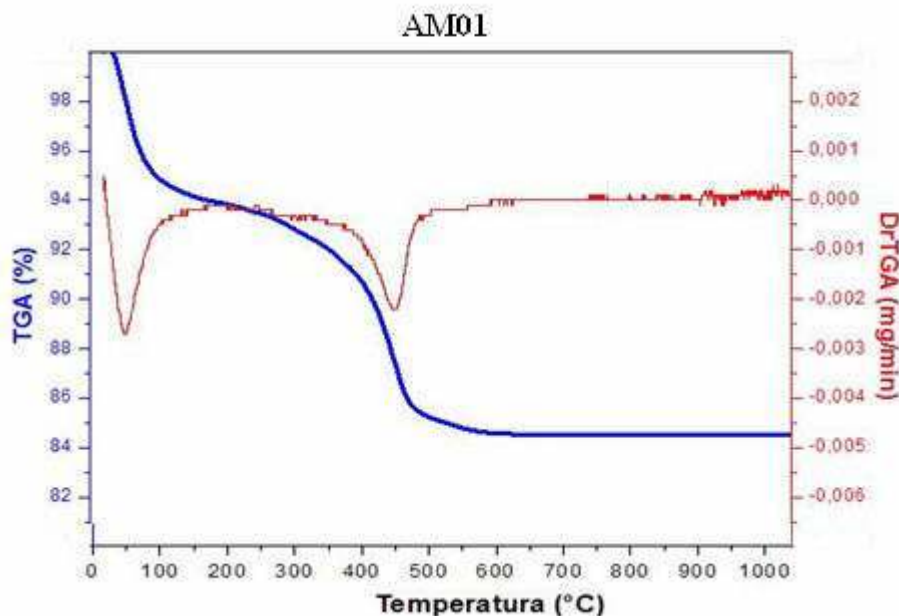


Figura 19: Representação da análise termogravimétrica.

Na análise da curva TG verifica-se que a perda total de massa foi de 15,8%. O primeiro pico a 100 °C indica presença de água livre e água adsorvida (pico endotérmico), o segundo pico endotérmico na faixa de 450 °C a 550 °C, está relacionado à eliminação de íons OH⁻ da argila. A partir de 1000 °C os argilominerais se reorganizam em novas estruturas cristalinas, a queda de absorção de água evidencia o preenchimento dos poros.

4.7 Propriedades tecnológicas

4.7.1 Conformação por Prensagem

4.7.1.1 Absorção de água (AA)

Na Figura 20, observa-se o resultado da absorção de água (AA) obtido através da média dos corpos-de-prova nas suas respectivas temperaturas.

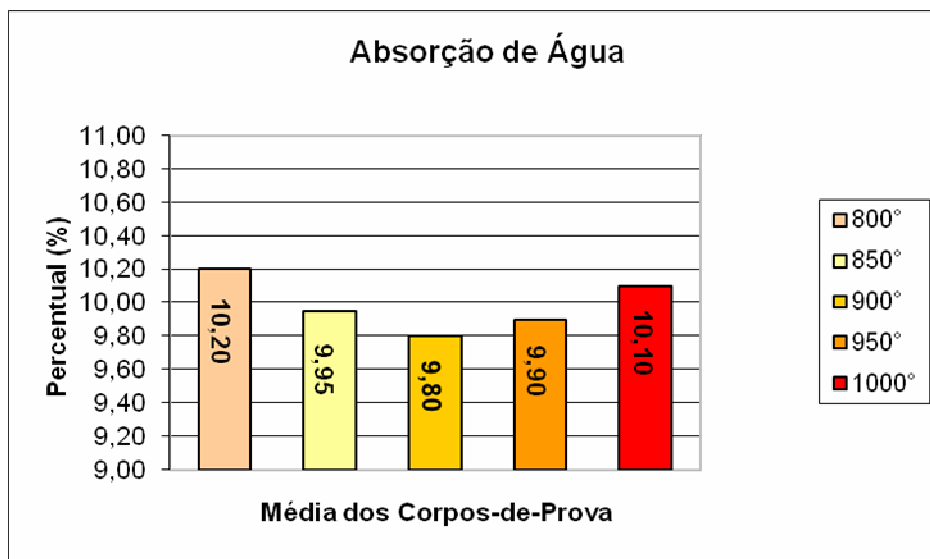


Figura 20: Resultado do ensaio de absorção de água (AA) na etapa de caracterização.

Para cada Tq (Temperatura de queima) há uma variação na absorção de água na média dos CPs. A absorção de água é um fator chave no efeito da durabilidade do produto cerâmico estrutural, a menor infiltração de água, determina maior durabilidade e resistência ao ambiente natural ao qual o material é exposto. A queda da absorção de água no caso evidencia o preenchimento dos poros.

Analisando de acordo com as especificações da norma ABNT (NBR 8947 – Telha cerâmica – Determinação da Massa e da Absorção de Água e NBR 6461 – Bloco Cerâmico para Alvenaria – Verificação da Resistência a Compressão) para os ensaios físicos e mecânicos feitos com amostras de tijolos, conclui-se que todas as amostras atenderam a especificação quanto à absorção de água (entre 8% e 25%).

4.7.1.2 Retração linear de queima (RLq)

Na Figura 21, observa-se o resultado da Retração linear de queima (RLq) obtido através da média dos corpos-de-prova nas suas respectivas temperaturas.

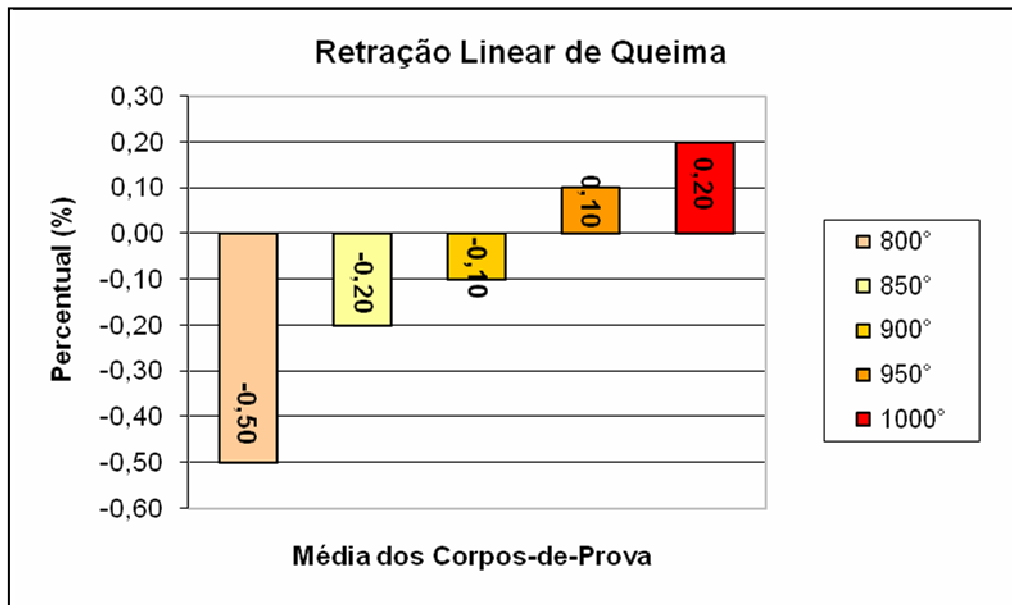


Figura 21: Resultado do ensaio de Retração linear de queima (RLq) na etapa de caracterização.

Os resultados da retração linear de queima mostram valores negativos (expansão dos corpos-de-prova) nas temperaturas de 800 °C, 850 °C, 900 °C. Nas temperaturas de 950 °C e 1000 °C os valores foram positivos (retração dos corpos-de-prova) mostrando que a partir de daí os CPs começaram a retrair, vale ressaltar que alguns corpos-de-prova mantiveram-se estabilizados neste parâmetro de variação dimensional.

A retração e expansão têm relação direta com o aumento da temperatura de queima, a retração é consequência da sinterização. Na faixa a partir de 800 °C a água de umidade e a água interna dos cristais já foram eliminadas, a variação dimensional foi ocasionada provavelmente devido a presença de sílica livre na forma de quartzo na composição da matéria-prima.

4.7.1.3 Porosidade aparente (PA)

Na Figura 22, observa-se o resultado da porosidade aparente (PA) obtido através da média dos corpos-de-prova nas suas respectivas temperaturas.

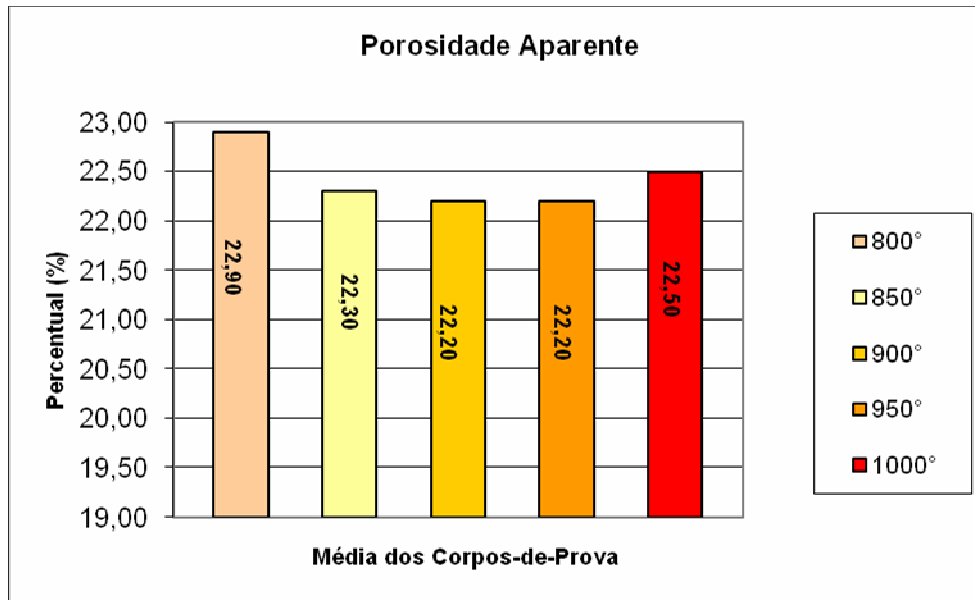


Figura 22: Resultado do ensaio de porosidade aparente (PA) na etapa de caracterização.

A porosidade aparente está relacionada com a capacidade de absorção de água. O corpo que apresenta poros abertos em sua estrutura, quando em contato com a água tende a absorvê-la, a quantidade elevada desses poros compromete a qualidade dos produtos cerâmicos.

Nos CPs analisados ocorreram variações discretas de PA, tendo uma variação mais visível na média dos CPs na temperatura inicial de 800 °C. A porosidade facilita no processo de secagem, mas prejudica o desempenho mecânico das peças.

4.7.1.4 Massa específica aparente (MEA)

Na Figura 23, observa-se o resultado da massa específica aparente (MEA) obtido através da média dos corpos-de-prova nas suas respectivas temperaturas.

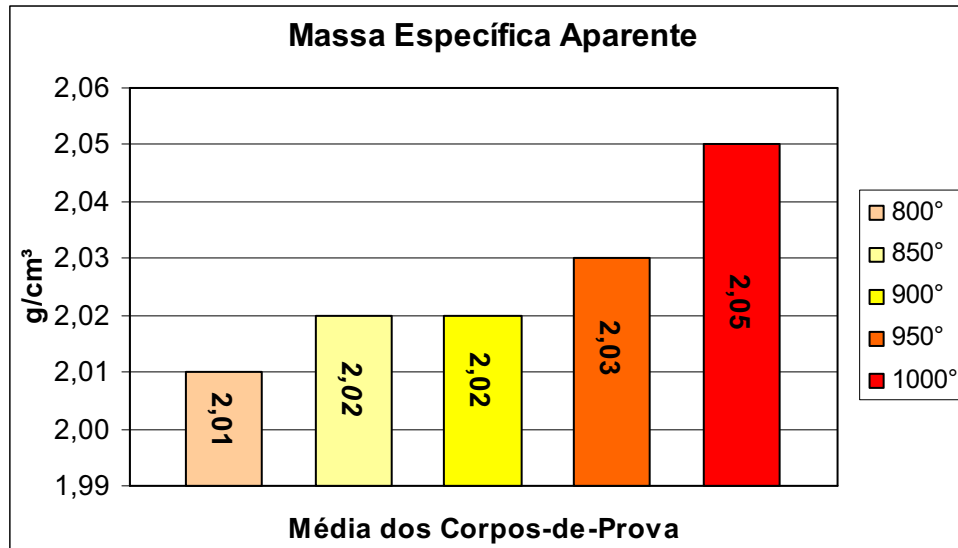


Figura 23: Resultado do ensaio da massa específica aparente (MEA) na etapa de caracterização.

De acordo com os dados dos resultados, todos os pontos atingiram valores iguais ou superiores a 2g/cm^3 . A variação é mínima e leva a concluir que já a partir da primeira temperatura de queima (T_q) começa o processo de sinterização nas características desejáveis para a amostra em questão. A variação observada na média dos corpos-de-prova é que a massa específica aparente aumentou discretamente com a elevação da temperatura.

4.7.1.5 Tensão de ruptura à flexão (TRF)

Na Figura 24, observa-se o resultado da tensão de ruptura a flexão (TRF) obtido através da média dos corpos-de-prova nas suas respectivas temperaturas.

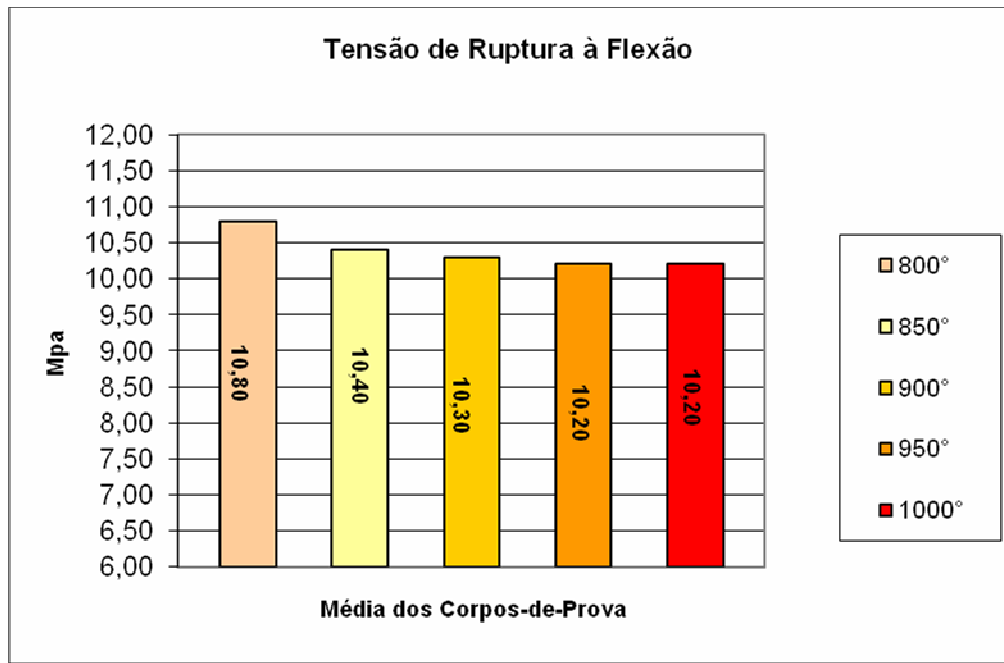


Figura 24: Resultado do ensaio da tensão de ruptura a flexão (TRF) na etapa de caracterização.

A amostra analisada demonstra em média geral que o aumento da temperatura faz com que a tensão de ruptura à flexão diminua, no caso particulado a presença da porosidade nas cerâmicas tradicionais reduzem consideravelmente a resistência mecânica.

A relação AA e TRF é inversamente proporcional, visto que amostras que apresentam alta absorção de água não alcançam grandes resistências devido a porosidade interferir no processo de compactação.

Matérias-primas com resistência mecânica adquirida logo em baixas temperaturas são as mais aceitáveis nas indústrias cerâmicas visto o processo ser mais rápido e o consumo de combustível menor.

4.7.1.6 Curvas de gresificação

Na Figura 25, observa-se a curva de gresificação:

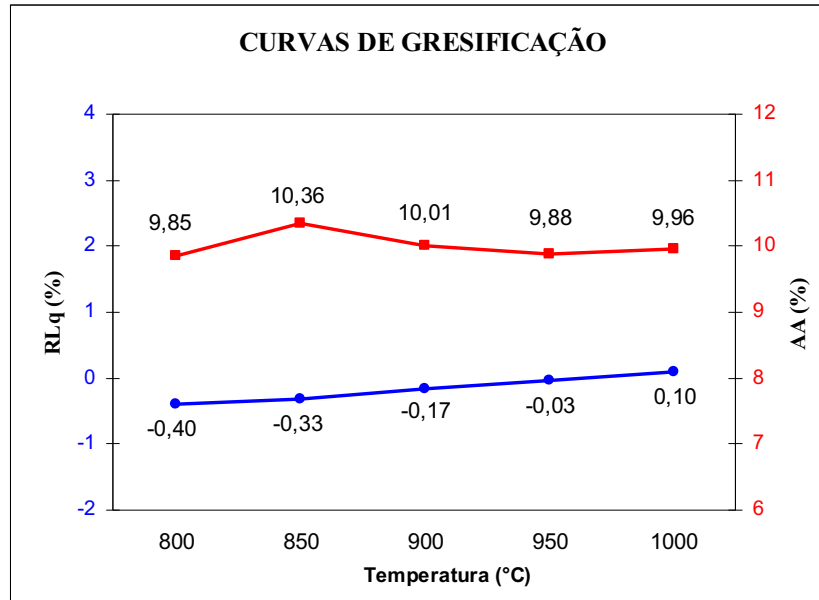


Figura 25: Curva de gresificação

No comparativo dos resultados (RLq) e (AA) por prensagem, com o aumento da temperatura de queima percebe-se a diminuição da absorção de água e o conseqüente aumento da retração linear de queima, mostrando assim a expansão inicial até a temperatura de queima de 900 °C. Acima desta temperatura começa a retração dos corpos-de-prova.

4.7.2 Conformação por Extrusão

4.7.2.1 Absorção de água (AA)

Na Figura 26, observa-se o resultado da absorção de água (AA) obtido através da média dos corpos-de-prova nas suas respectivas temperaturas.

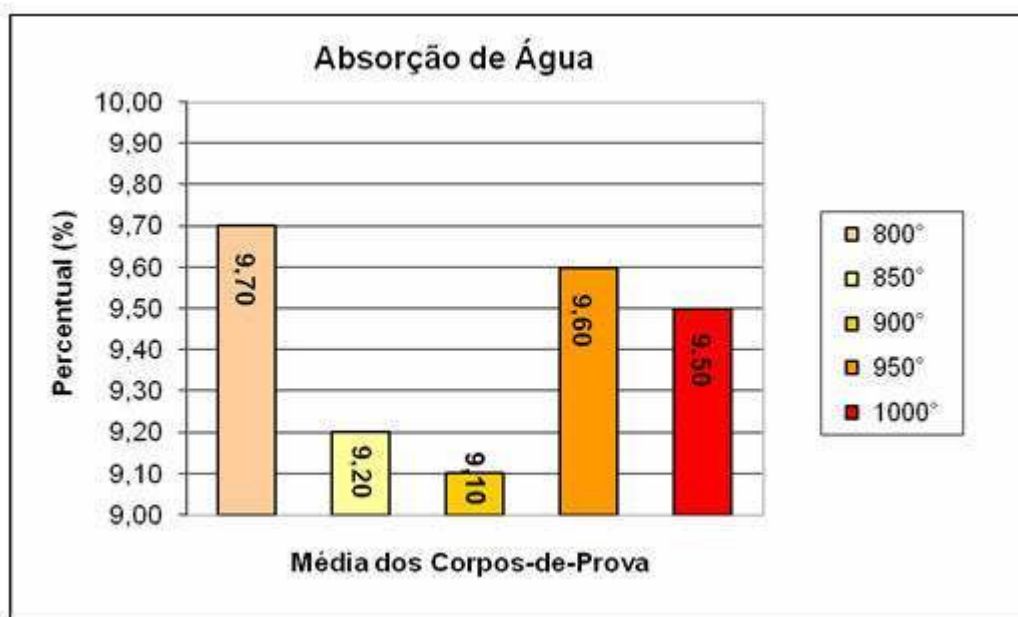


Figura 26: Resultado do ensaio de absorção de água (AA) na etapa de caracterização.

A média dos CPs para cada Tq (Temperatura de queima) por extrusão manteve uma variação conforme identificado no ensaio. Fazendo um comparativo com os dados de absorção de água nas peças por prensagem e analisando de acordo com as especificações da norma ABNT (NBR 8947 – Telha cerâmica – Determinação da Massa e da Absorção de Água e NBR 6461 – Bloco Cerâmico para Alvenaria – Verificação da Resistência a Compressão) para os ensaios físicos e mecânicos feitos com amostras de tijolos, conclui-se que todas as amostras atenderam a especificação quanto à absorção de água (entre 8% e 25%), sendo neste uma diminuição no percentual de absorção de água em relação aos dados por prensagem.

4.7.2.2 Retração linear de queima (RLq)

Na Figura 27, observa-se o resultado da Retração linear de queima (RLq) obtido através da média dos corpos-de-prova nas suas respectivas temperaturas.

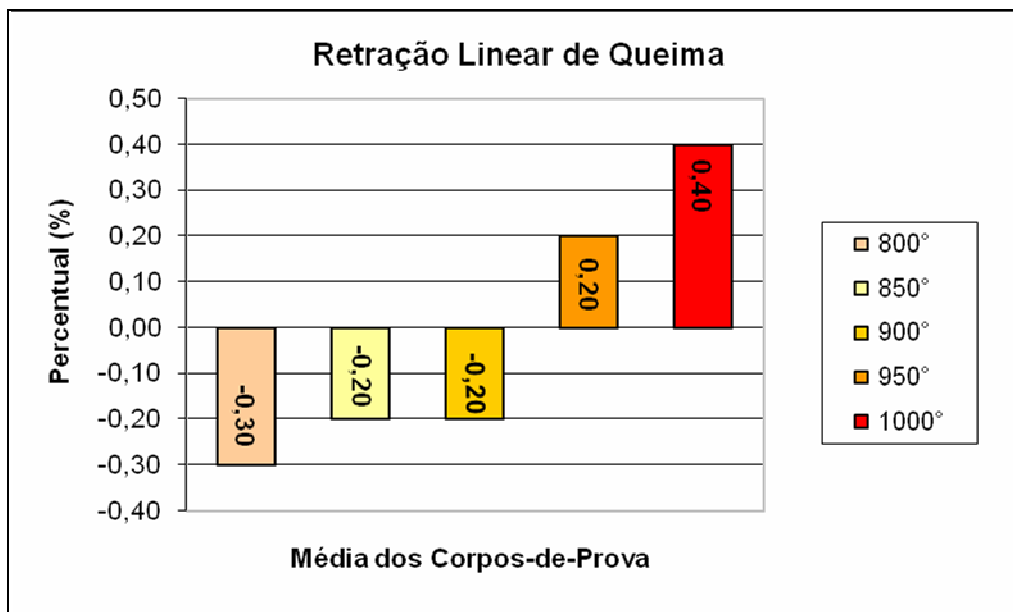


Figura 27: Resultado do ensaio de Retração linear de queima (RLq) na etapa de caracterização.

Os resultados da retração linear de queima nesta conformação por extrusão em termos comparativos com os resultados por prensagem, mostram uma semelhança de valores percentuais, visto que a umidade interfere diretamente neste comparativo, pois a absorção de água é maior no ensaio por prensagem.

Como já observado no ensaio por prensagem, na faixa de 800 °C a 900 °C houve uma variação de expansão, passando daí a retração no patamar próximo a 1000 °C.

4.7.2.3 Porosidade aparente (PA)

Na Figura 28, observa-se o resultado da porosidade aparente (PA) obtido através da média dos corpos-de-prova nas suas respectivas temperaturas.

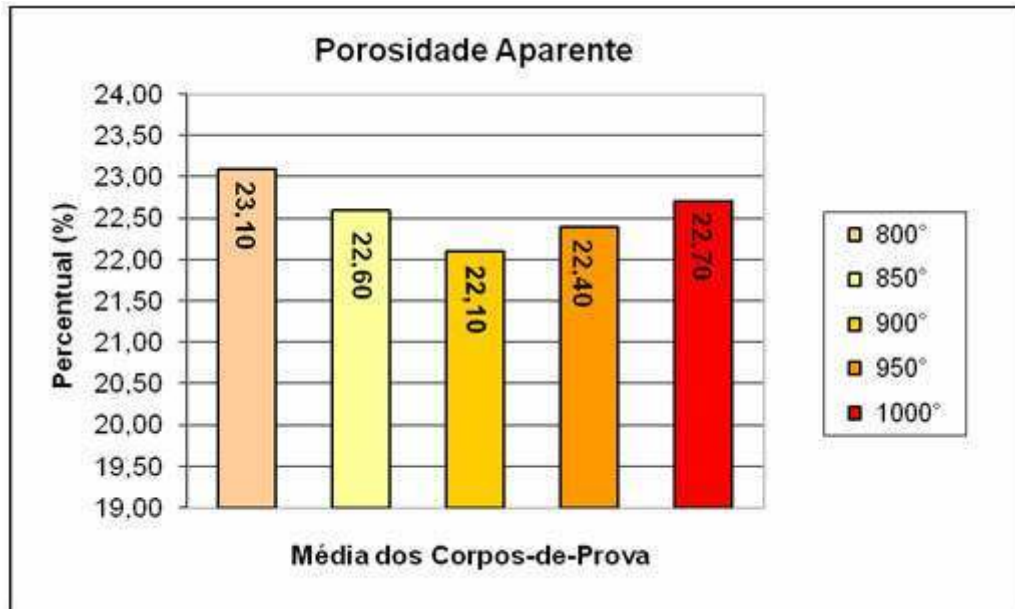


Figura 28: Resultado do ensaio de porosidade aparente (PA) na etapa de caracterização.

A porosidade aparente está relacionada com a capacidade de absorção de água, no ensaio por extrusão esta aumenta devido ao processo contribuir com a porosidade aberta. Comparando os resultados, por prensagem houve uma variação percentual menor de porosidade em relação ao ensaio por extrusão.

A qualidade do produto cerâmico é comprometida caso a quantidade de poros seja elevada, é um indicativo que o corpo cerâmico não sofreu uma queima ideal. Portanto a boa sinterização é indicada pela quantidade mínima de poros.

4.7.2.4 Massa específica aparente (MEA)

Na Figura 29, observa-se o resultado da massa específica aparente (MEA) obtido através da média dos corpos-de-prova nas suas respectivas temperaturas.

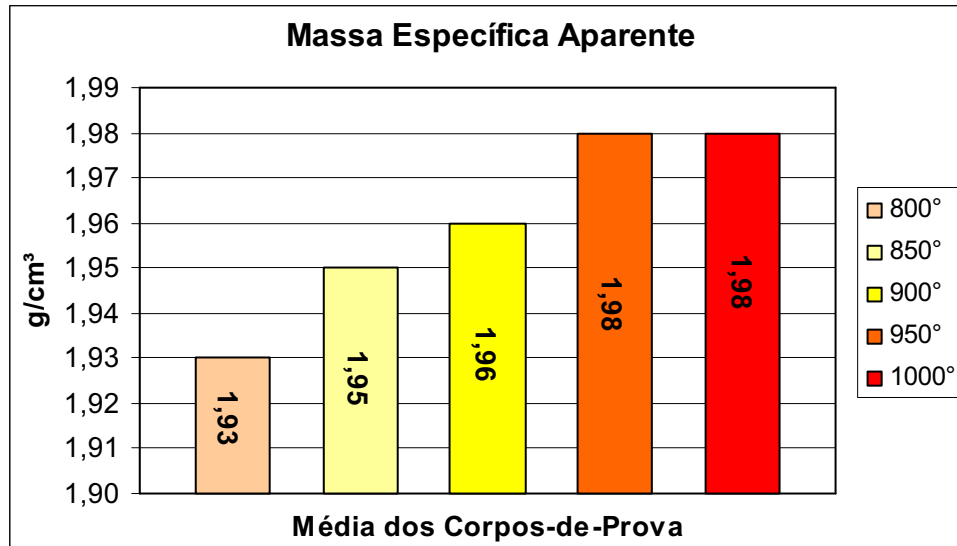


Figura 29: Resultado do ensaio da massa específica aparente (MEA) na etapa de caracterização.

De acordo com os resultados apresentados, observou-se um aumento discreto da massa específica aparente com o aumento da temperatura de queima, os valores inferiores em relação aos resultados obtidos por prensagem. De acordo com os dados, a massa específica aparente foi menor nos CPs conformados por extrusão.

4.7.2.5 Tensão de ruptura à flexão (TRF)

Na Figura 30, observa-se o resultado da tensão de ruptura a flexão (TRF) obtido através da média dos corpos-de-prova nas suas respectivas temperaturas.

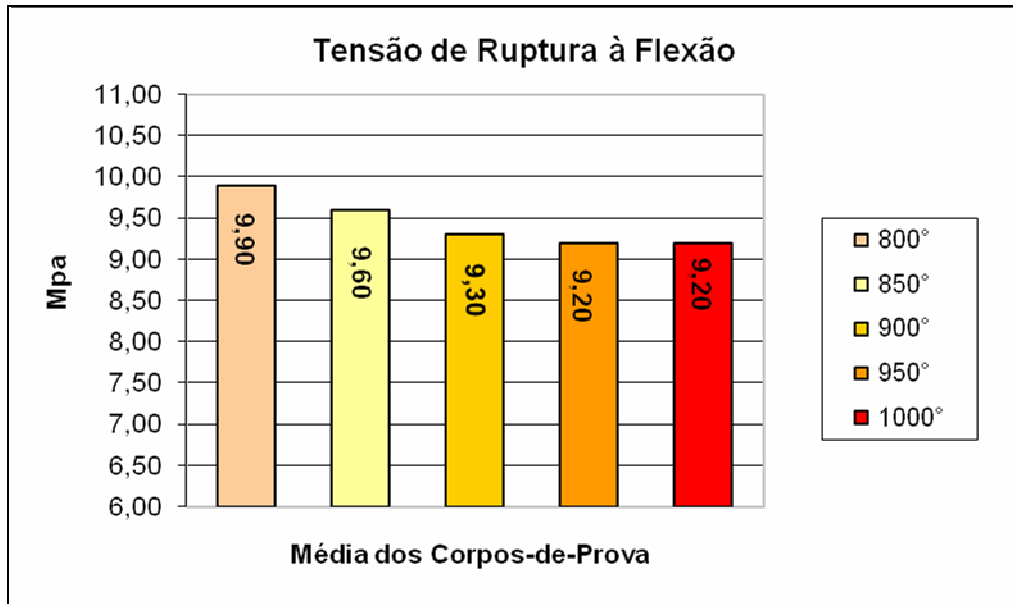


Figura 30: Resultado do ensaio da tensão de ruptura a flexão (TRF) na etapa de caracterização.

A amostra analisada demonstra em média geral que o aumento da temperatura faz com que a tensão de ruptura à flexão diminua. Os dados comparativos mostram variações discretas (prensagem/extrusão), dados próximos mais com pequenas alterações devido ao processo de conformação diferenciado.

Matérias-primas com resistência mecânica adquirida logo em baixas temperaturas são as mais aceitáveis nas indústrias cerâmicas visto o processo ser mais rápido e o consumo de combustível menor.

4.7.2.6 Curvas de gresificação

Na Figura 31, observa-se a curva de gresificação:

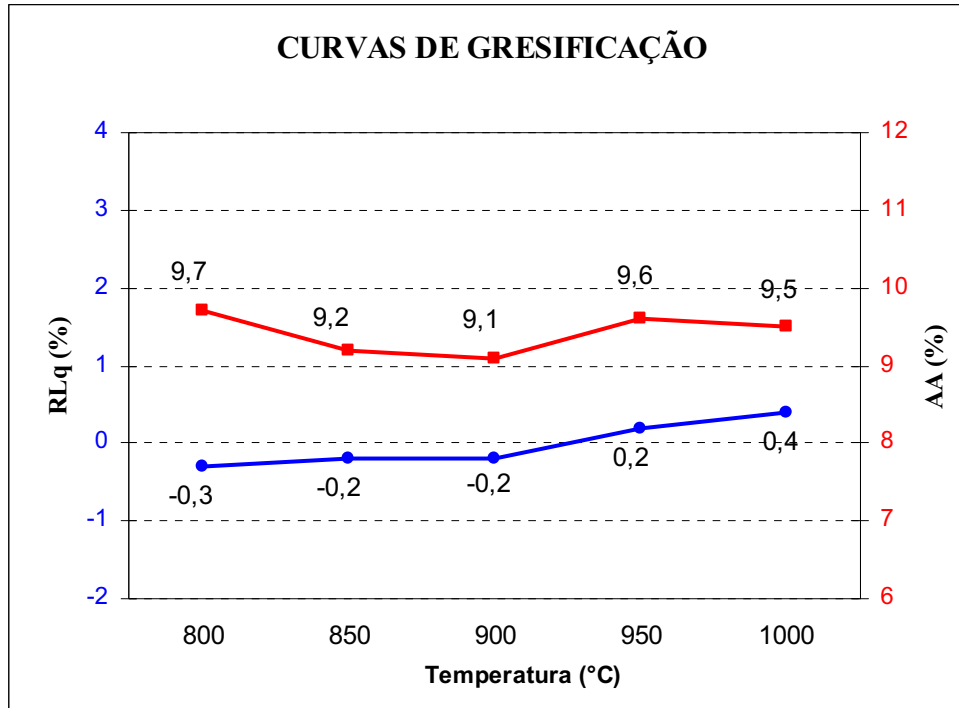


Figura 31: Curva de Gresificação.

No comparativo dos resultados (RLq) e (AA) por extrusão, com o aumento da temperatura de queima percebe-se a diminuição da absorção de água e o conseqüente aumento da retração linear de queima, mostrando assim a expansão inicial até a temperatura de queima de 900 °C. Acima desta temperatura começa a retração dos corpos-de-prova. Nos resultados por prensagem houve uma variação discreta na AA devido alteração de algumas características das peças na forma de conformação.

CAPITULO 5 - CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo principal estudar as variáveis de processamento da matéria-prima usada na fabricação de produtos cerâmicos por extrusão e prensagem para uso nas indústrias cerâmicas do Crato, interior do estado do Ceará. Mediante os resultados, conclui-se que:

- A composição química da massa cerâmica apresentou um alto teor de sílica e um teor de ferro acima de 5%, sendo indicativo de cores avermelhadas após queima, fato este confirmado nas peças fabricadas na indústria de cerâmica estudada;
- A massa cerâmica apresentou em sua composição mineralógica após secagem a presença de caulinita como argilomineral predominante, quartzo como mineral acessório e um percentual de ilita;
- Nos parâmetros de plasticidade, a amostra da argila apresentou um resultado que a definiu como altamente plástica, necessitando assim da mistura de uma argila menos plástica com granulação grossa, que funciona como redutor de plasticidade;
- Analisando a absorção de água e a tensão de ruptura a flexão, apesar das diferentes formas de conformação utilizada a amostra mostrou-se dentro dos padrões da ABNT;
- O resultado da massa específica aparente aproximou-se em ambas as formas de conformação de 2g/cm^3 , mostrando assim que desde a primeira temperatura de queima começou o processo de sinterização nas características desejáveis principalmente nos resultados por prensagem;
- No comparativo dos resultados (RLq) e (AA) nos dois métodos de conformação utilizados, com o aumento da temperatura de queima percebe-se a diminuição da absorção de água e o conseqüente aumento da retração linear de queima, mostrando assim a expansão inicial até a temperatura de queima de $900\text{ }^\circ\text{C}$. Acima desta temperatura começa a retração dos corpos-de-prova.

- Fazendo um comparativo da etapa preliminar até a obtenção dos resultados finais, nota-se que é possível fazer um estudo mais aprofundado com argilas, mesmo na região onde as mesmas se encontram não existir mecanismos de análises mais aprofundados, devendo, pois, haver o cuidado na obtenção e manuseio até o local onde será estudada;
- Estudo aprofundado da matéria-prima utilizada na fabricação de produtos cerâmicos e das variáveis de processamento é de significativa importância para o desenvolvimento de uma região e promove um baixo índice de perdas, causado pelo surgimento de defeitos após a queima, e em consequência disso melhora o faturamento;

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os conhecimentos obtidos neste trabalho podem ser ampliados através de novas pesquisas. Abaixo, estão descritas algumas sugestões.

- Estudar a viabilidade técnica e econômica da região do cariri para introdução de novos produtos cerâmicos;
- Realização de estudos utilizando outras massas, servindo assim de comparativo;
- Realizar ensaios com adição de argilas de menor plasticidade para obter comparativo no produto final;
- Estudos com comparativos dos produtos cerâmicos por região, já que este trabalho foi desenvolvido com a matéria-prima do estado do Ceará.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7171 **Bloco Cerâmico para Alvenaria** – Junho 1983.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 8947 **Telha Cerâmica Determinação da Massa e da Absorção de Água** – Julho 1985.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6461 **Bloco Cerâmico para Alvenaria – Verificação da Resistência à Compressão** – Junho 1983.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7180-84, **Solo: Determinação do limite de plasticidade, 1984.**

AGENCIA NACIONAL DE PETRÓLEO (ANP). **Portaria ANP 104, de 08/08/2002.** Estabelece a especificação do gás natural, de origem nacional ou importada, a ser comercializado em todo o território nacional. Disponível em: http://www.anp.gov.br/gas/legis_gas.asp. Acesso em: 10 de abr. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERAMICA, **Anais do 43º Congresso Brasileiro de Cerâmica**, Florianópolis, SC, Junho 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERAMICA, **Anais do 44º Congresso Brasileiro de Cerâmica**, São Pedro, SP, Junho 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERAMICA, **Anais do 45º Congresso Brasileiro de Cerâmica**, Florianópolis, SC, Junho 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERAMICA, **Anais do 46º Congresso Brasileiro de Cerâmica**, São Paulo, SP, Junho 2002.

BAHIA. Secretaria de Infra – Estrutura. **Gás Natural:** plano de expansão estadual. Salvador, 2002.

BAHIA. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI). **Indicadores Econômicos.** Salvador, 2002. Disponível em http://www.sei.ba.gov.br/bahia_sintese/2002> Acesso em: 20 de mar. De 2008.

BRASIL, N.I., **Fornos.** Rio de Janeiro, Petrobrás, 1996.

CAMARGO, N.V., FERREIRA, W.F., **Conversão de Equipamentos Térmicos Estacionários para Gás Natural.** Petro & Gás, Junho 1988.

CARVALHO, C.R.F. – Gás Natural como Fator de Competitividade da Indústria Química. Dissertação de Mestrado, UFBA, Salvador/BA, 2005.

DUTTON, J., **Fundamentals of Gas Utilization,** Scarborough, Ontario, Canada. 3^a edição, 1994.

DUTTON, J., **Industrial e Commercial Gas Burner Systems,** Scarborough, Ontario, Canada. 1985.

FREITAS, F.C.G. - **Análises Termográficas na Queima de Cerâmica Vermelha, em Fornos Intermitentes a Gás GLP, da Região de Ceará – Mirim.** Dissertação de Mestrado, UFRN, Natal/RN, 2003.

GOMES, C.F. **A Argila “o que são e para que serve”,** Fundação Calouste Gulbenkian, dezembro de 1988.

GRIM, R.E. – **Clay Mineralogy,** 1^a ed., McGraw-Hill Book Co, New York, 1953, 2^a ed., 1968.

GRIM, R.E. – **Applied Clay Mineralogy,** McGraw-Hill Book Co, London, 1962.

HOLANDA, A.B. **Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa: Século XXI**. 3. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DO PETRÓLEO, 7º Seminário Internacional de Gás Natural, Rio de Janeiro, novembro 1999.

LACAVA, P.T.; CARVALHO J.R., J.A. **Emissões em Processo de Combustão**. São Paulo: UNESP, 2003.

LORA, E.E.S., **Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte** – Brasília – DF – ANEEL, 2000.

NERI, J.T.C.F., **Gás Natural na Indústria Cerâmica**. Natal, CTGÁS, 1998.

NERI, J.T.C.F., **Introdução aos Processos de Gás Natural**. Natal, CTGÁS, 1998.

PETROBRÁS. **50 anos: sonho realizado e novos desafios**. *Veja*, São Paulo, ano 36, 21 de nov. 2003. Suplemento.

RAMALHO, E.G. **Obtenção de cerâmicas á base de tricálcio fosfatos utilizando óxidos de manganês como aditivo**. Dissertação de Mestrado. UFRN, Natal/RN, 2006.

SANTOS, P.S. **Ciência e Tecnologia de Argilas**, volume 1 e 2 São Paulo, Editora Edgard Blucher Ltda, 1989.

SUDERIO, V.M. **Estudo do Processamento de Laminação na Fabricação de Placas Cerâmicas em Comparação com outros Métodos Convencionais**. Tese de Doutorado (Doutorado em engenharia de processos), UFCG. Campina Grande, Paraíba, 2005.

VIEIRA, C.M.F.; HOLANDA, J.N.F.; PINATTI, D.G. **Caracterização de massa cerâmica vermelha utilizada na fabricação de tijolos na região de campos dos Goytacazes – RJ.** Cerâmica, v.46, nº 297, 15p, 2000.

VLACK, H.L., **Propriedades dos Materiais Cerâmicos** – parte 3, Editora Edgard Blucher, SP, 1973.

ZANDONADI, R., **Estudo Tecnológico de Argilas Brasileiras**, Tese de Doutorado do Instituto de Química da USP, São Paulo, 1995.

WANG, C.X., ZHOU, X. e WANG, M., **Influence of Sintering temperatures on hardness and young's modulus of tricalcium phosphate bioceramic by nanoindentation technique**, Materials Characterization 52 (2004) p. 301 – 307.

WILLIAMSON, W.O. **Strength of Dried Clay – A Review.** Ceramic Bulletin, v.50, nº 7, 620p, 1971.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)