



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE (UFCG)
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA (CCT)
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

Josileido Gomes

**PROCESSAMENTO DE ARGILA DA REGIÃO DE ITAPORANGA-PB, VISANDO
OBTER PRODUTOS DE CERÂMICA VERMELHA**

ORIENTADORES:

Dr. Hélio de Lucena Lira e Dra. Lisiane Navarro de Lima Santana

**Campina Grande - Pb
Dezembro -2005**

Processamento de argila da região de Itaporanga-PB, visando obter produtos de cerâmica vermelha

Josileido Gomes

Dissertação apresentada ao programa de Pós –
graduação em Engenharia Química da Universidade
Federal de Campina Grande, em cumprimento às
exigências para a obtenção do grau de Mestre.

Area de concentração: **Tecnologia de Matérias Não Metálicas**

Orientadores: **Dr. Hélio de Lucena Lira e Dra. Lisiane Navarro de Lima
Santana**

Campina Grande - Pb
Dezembro -2005



G633p

Gomes, Josileido

Processamento de argila da região de Itaporanga-PB, visando obter produtos de cerâmica vermelha / Josileido Gomes. - Campina Grande, 2005.

113 p. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia.

1. Cerâmica Vermelha - Matéria-Prima 2. Cerâmica - Processamento 3. Tijolos de Bloco Sólido 4. Dissertação I. Lira, Helio de Lucena II. Santana, Lisiane Navarro de Lima III. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB) IV. Título

CDU 666.7(043)

Processamento de argila da região de Itaporanga-PB, visando obter produtos de cerâmica vermelha

Josileido Gomes

Dissertação defendida e aprovada, em 07/12/2005, pela banca examinadora constituída pelos professores:



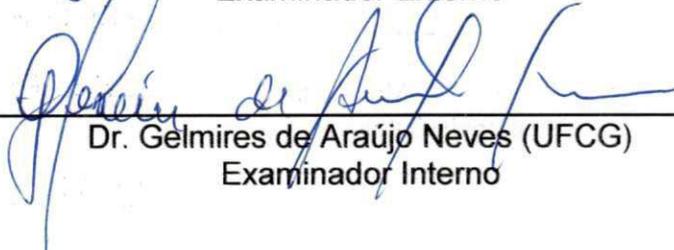
Prof. Hélio de Lucena Lira, Dr., DEMa/UFCG
Orientador



Prof^a. Lisiane Navarro de Lima Santana, Dra., DEMa/UFCG
Orientadora



Profa. Dra. Djane de Fátima Oliveira (UEPB)
Examinador Externo



Dr. Gelmires de Araújo Neves (UFCG)
Examinador Interno

Campina Grande, PB

Dezembro-2005

Agradecimentos

- *Agradeço principalmente a Deus, que com seu infinito poder sempre me deu sabedoria, discernimento e força para enfrentar mais um desafio em minha vida.*
- *A toda minha família*
- *Aos professores orientadores, Dr Helio de Lucena Lira e a Dra. Lisiane Navarro de Lima Santana, pela orientação, e compreensão.*
- *Ao professor Dr. Gelmires de Araújo Neves, pela atenção e informações prestadas.*
- *A Professora Dra. Vilma Maria Sudério de Araújo, pela a orientação e pela colaboração.*
- *Ao professor Dr. Reginaldo Severo de Macedo, pela colaboração,*
- *A Heber Sivino Ferreira, pelo apoio dado para a realização de alguns ensaios de caracterização.*
- *Ao Sr. Carlos Mangueira, pelo fornecimento da matéria prima.*
- *A coordenação do mestrado em Engenharia Química.*
- *A sociedade brasileira que, através da CAPES, contribuiu financeiramente para o desenvolvimento desse trabalho.*

Dedicatória

A deus

Aos meus pais

Aos meus irmãos

Aos meus amigos

Mensagem

“Faça as coisas o mais simples que você puder, porém não as mais simples.”

Albert Einstein

RESUMO

A indústria cerâmica Brasileira tem grande importância para o país tendo uma participação no PIB (produto interno bruto) em torno de 1%, sendo a cerâmica estrutural vermelha a que mais emprega no Brasil, atividade esta que é observada de forma acentuada no estado da Paraíba. Situada no sertão da Paraíba às margens do rio Piancó, o município de Itaporanga-PB possui uma grande quantidade de jazidas de argilas, matéria-prima esta que não é explorada de forma adequada, já que as poucas indústrias existentes na região são de pequeno porte (olarias). Portanto o objetivo desse trabalho é estudar uma argila do município de Itaporanga-PB, visando a sua aplicação na fabricação de produtos de cerâmica vermelha, através dos processos de conformação como: prensagem, extrusão e laminação. O presente trabalho analisou química e mineralogicamente a argila de Itaporanga-PB, foram realizadas análise química (AQ), difração de raios-x (DRX), análise térmica diferencial (ATD), e análise térmica gravimétrica (ATG). A análise preliminar cerâmica foi realizada adotando a metodologia proposta por Sousa Santos (1992). Para os ensaios completos, prevendo uma possível aplicação da argila em cerâmica vermelha estrutural (blocos cerâmicos e telhas) foram adotados os limites máximos propostos por Barzaghi e Salge (1982). Os corpos de prova foram submetidos a queima lenta, nas temperaturas 800°C, 900°C, 1000°C, 1100°C. Para uma possível aplicação da argila, usando a massa natural e uma massa formulada na produção de placas cerâmicas foram adotadas as normas da ISO 10545/ABNT 13818. Os corpos de prova foram submetidos a queima rápida a 1000°C, 1100°C e 1150°C. Foram determinados módulo de ruptura a flexão, absorção de água, porosidade aparente e retração linear de queima, após sinterização. Os resultados confirmaram que a argila do município de Itaporanga-PB é adequada para ser utilizada na indústria de produtos da cerâmica vermelha e (blocos cerâmicos e telhas) empregando-se o processo de extrusão e prensagem. E placas cerâmicas por meios dos processos de laminação e prensagem.

Palavras chaves: Cerâmica vermelha, Matéria-Prima Cerâmica, Processamento - Cerâmico.

Summary

The Brazilian ceramics industry has great importance for the country. It has a participation in the GIP (gross domestic product) around 1%, and the red structural ceramics are the one that more provides jobs for the Brazilian people. This specific activity is specially observed in Paraíba. Situated in the hinterland of Paraíba, on the edges of the Piancó river, the city of Itaporanga has a large amount of clay deposits. This raw material is not very much explored at this area, that is because of the small size of the industries from the area (potteries). Therefore the objective of this research work is to study the clay from the city of Itaporanga, to find applications in the manufacture of red ceramics products, through the conformation processes as: pressing, extrusion, lamination. This research work analyzed Itaporanga's clay from a chemistry and ore points of views. It was done chemical analyses (AQ), x-ray diffraction (DRX), and thermal analysis (ATD). The ceramics preliminary analysis was carried through adopting the methodology proposal by Sousa Santos (1992). For the complete assays, foreseeing a possible application of the clay in structural red ceramics (ceramic blocks and roofing tiles) the Barzaghi & Salge (1982) considered maximum limits had been adopted. The test bodies had been submitted to the slow burning, at the temperatures 800°C, 900°C, 1000°C, 1100°C. For a possible application of the clay, using the natural mass and a mass formulated in the production of ceramic plates had been adopted the norms of ISO 10545/ABNT 13818. The test bodies had been submitted to the fast burning in temperatures of 1000°C, 1100°C e 1150°C. Flexural strength, water absorption, apparent porosity and linear shrinkage of burning had been determined, after sintering. The results had confirmed that the Itaporanga's clay is adjusted to be used in the industry of products of red ceramics e (ceramic blocks and roofing tiles) using the extrusion and pressing process and ceramic plates through processes of lamination and pressing.

Key words: Red ceramics, Ceramic Raw material, Ceramic- Processing.

SIMBOLOGIA

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

AA - Absorção de Água

AQ - Análise Química

ASTM – American Ceramic Society

ATD- Análise Térmica Diferencial

ATG – Análise Termogravimétrica

CCT – Centro de Ciência e Tecnologia

DEMa – Departamento de Engenharia de Materiais

DRX – Difração de Raios X

L_L - limite de liquidez

L_P - limite plástico

IP - Índice de plasticidade de Atterberg;

NBR - Norma Brasileira

MEA - Massa Específica Aparente

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

PA - Porosidade aparente

PF –Perda ao Fogo

PL - Placa Laminada

PP- Placa Prensada

RL – Retração Linear

TRF – Tensão de Ruptura à Flexão

UFCG – Universidade de Campina Grande

ρ_D - Densidade de preenchimento do material

P_f - pressão de fluência

P_f - Pressão aparente de fluência

ρ_D - grau de compactação do corpo se iguala ao do grânulo.

C_g - Eliminação dos poros intergranulares

C_p - Eliminação dos poros intragranular

ρ - Compacidade da massa

T - tensão de cisalhamento

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Diagrama triaxial de Winker.....	26
Figura 2.2 - Corte transversal de uma extrusora.....	32
Figura 2.3 - Molde de compressão uniaxial.....	36
Figura 2.4 - Mecanismo de Laminação.....	43
Figura 3.1 - Fluxograma da caracterização física e mineralógica da argila.....	52
Figura 3.2 - Moinho de Galga.....	33
Figura 3.3 - Peneira vibratória.....	53
Figura 3.4 - Aparelhagem de análises térmicas.....	54
Figura 3.5 - Difratormetro de raios-X.....	56
Figura 3.6 - Forno de queima rápida.....	58
Figura 3.7 - Fluxograma dos ensaios preliminares.....	59
Figura 3.8a - Fluxograma da caracterização tecnológica completa usando massa natural.....	60
Figura 3.8b - Fluxograma do estudo comparativo entre placas laminadas prensadas usando massa natural.....	61
Figura 4.1 - Análise granulométrica da argila estudada.....	63
Figura 4.2- Difração de raios-X da argila seca a 110°C e sinterizada a 800, 900, 1000, 1100°C.....	65
Figura 4.3 - Análise termodiferencial e termogravimétrica da argila.....	66
Figura 4.4 - Retração linear em função da temperatura.....	68
Figura 4.5 - Absorção de água em função da temperatura.....	69
Figura 4.6 - Porosidade aparente em função da temperatura.....	70
Figura 4.7 - Massa específica aparente em função da temperatura.....	71
Figura 4.8 - Módulo de ruptura a flexão em função da temperatura.....	71
Figura 4.9a e 4.9b - Corpos de prova sinterizados a 800, 900, 1000 e 1100°C extrudados (A), prensados (B)).....	72
Figuras 4.10a e 4.10b - Retração linear em função da temperatura (extrudados (A), prensados(B)).....	73
Figura 4.11a e 4.11b - Absorção de água em função da temperatura (extrudados (A), prensados (B)).....	73

Figuras 4.12a e 4.12b - Porosidade aparente em função da temperatura (extrudados (A), prensados (B)).....	74
Figuras 4.13a e 4.13b - Massa específica aparente em função da temperatura (extrudados (A), prensados (B)).....	76
Figura 4.14a e 4.14b - Módulo de ruptura a flexão em função da temperatura massa natural (extrudados (A), prensados (B)).....	77
Figura 4.15 - Defeitos nos corpos de prova prensados e laminados (Sinterizados a 1100°C)	79
Figura 4.16 - Corpos de prova laminados secos a 110°C e sinterizados a 1000°C	80
Figura 4.17 - Efeito do teor de umidade no módulo de ruptura a flexão de placas laminadas usando massa natural, após secagem 110°C.....	81
Figura 4.18 - Retração de queima em função do teor de umidade, placas laminadas usando massa natural.....	82
Figura 4.19 - Absorção de água em função do teor de umidade, placas laminadas usando massa natural.....	82
Figura 4.20 - Porosidade aparente em função do teor de umidade, placas laminadas usando massa natural.....	83
Figura 4.21-Massa específica aparente em função do teor de umidade, placas laminadas usando massa natural.....	84
Figura 4.22 - Módulo de ruptura a flexão em função do teor de umidade, placas laminadas usando massa natural.....	85
Figuras 4.23a e 4.23b - Retração linear em função da temperatura, usando massa formulada (laminadas (A), pensados (B)).....	88
Figura 4.24a e 4.24b - Absorção de água em função da temperatura, usando massa formulada (laminados (A), prensados (B)).....	89
Figuras 4.25a e 4.25b - Porosidade aparente em função da temperatura, usando massa formulada (laminados (A), prensados(B)).....	90
Figuras 4.26a e 4.26b - Massa específica aparente em função da temperatura, usando massa formulada (laminados (A), prensada (B)).....	91
Figura 4.27a e 4.27b - Módulo de ruptura a flexão em função da temperatura, usando massa formulada (laminados (A), prensados (B)).....	92

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1- Composição da massa formulada.....	56
Tabela 4.1 - Limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade.....	62
Tabela 4.2 - Composição química da argila.....	63
Tabela 4.3 – Cor dos corpos cerâmicos após a queima.....	68
Tabela 4.4 - Propriedades físico-mecânicas de placas prensadas e laminadas sinterizadas a 1000°C.....	87
Tabela A.1 – Ensaio preliminares, propriedades físico-mecânicas a 110°C.....	104
Tabela A.2- Caracterização tecnológica completa, corpos de prova extrudados propriedades físico-mecânicas a 110°C.....	104
Tabela A.3- Caracterização tecnológica completa, propriedades físico-mecânicas 110°C.....	104
Tabela A.4 - Ensaio preliminares nas temperaturas 800, 900, 1000, 110°C.....	105
Tabela A.5 - Caracterização tecnológica completa, corpos de prova extrudados e sinterizadas nas temperaturas 800, 900, 1000, 1100°C.....	106
Tabela A.6- Caracterização tecnológica completa placas prensadas e sinterizadas nas temperaturas 800, 900, 1000, 1100°C.....	107
Tabela A.7 – Placas laminadas com 18% de umidade, usando massa natural propriedades físico-mecânicas a 110°C.....	108
Tabela A.8 - Placas laminadas com 18% de umidade, usando massa natural sinterizadas a 1000°C, queima rápida.....	108
Tabela A.9 - Placas laminadas com 19% de umidade, usando massa natural propriedades físico-mecânicas a 110°C.....	108
Tabela A.10 - Placas laminadas com 19% de umidade, usando massa natural sinterizadas a 1000°C queima rápida.....	109
Tabela A.11 - Placas laminadas com 20% de umidade, usando massa natural propriedades físico-mecânicas a 110°C.....	109
Tabela A.12 - Placas laminadas com 20% de umidade, usando massa natural sinterizadas a 1000°C, queima rápida.....	109
Tabela A.13 - Placas laminadas com 21% de umidade, usando massa natural propriedades físico-mecânicas a 110°C.....	110

Tabela A.14 – Placas laminadas 21% de umidade, usando massa natural sinterizados a 1000°C, queima rápida.....	110
Tabela A.15 - Placas prensadas usando massa natural, propriedades físico-mecânicas a 110°C.....	110
Tabela A.16 - Placas prensadas usando massa natural, sinterizadas na temperatura de 1000°C, queima rápida.....	111
Tabela A.17-Placas laminadas com 20% de umidade usando massa formulada propriedades físico-mecânicas a 110°C.....	111
Tabela A.18- Placas laminadas com 20% de umidade, usando massa formulada sinterizados nas temperaturas 1000, 1100,1150°C, queima rápida.....	112
Tabela A.19 – Placas Prensadas, usando massa formulada propriedades físico-mecânicas a 110°C.....	113
Tabela A.20- Placas Prensadas usando massa formulada e sinterizados nas temperaturas 1000, 1100,1150°C, queima rápida.....	113

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Objetivos.....	19
1.1.1 Objetivo geral.....	19
1.1.2 Objetivo específico.....	19
2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1 Argilas para cerâmica vermelha.....	20
2.2 Massa cerâmica para revestimento.....	23
2.3 Beneficiamento de argila.....	23
2.4 Métodos de caracterização.....	25
2.4.1 Análise granulométrica.....	25
2.4.2 Influência da granulometria nas propriedades cerâmicas.....	26
2.4.3 Limites de Atterberg.....	27
2.4.4 Análise química.....	28
2.4.5 Análise térmica diferencial (ATD).....	29
2.4.6 Análise térmica gravimétrica (ATG).....	29
2.4.7 Difração por raios-X.....	30
2.5 Métodos de conformação.....	30
2.5.1 Preparação da massa.....	30
2.5.2 Método de conformação por extrusão.....	31
2.5.3 Defeitos nos produtos extrudados.....	34
2.6 Método de conformação por prensagem.....	35
2.6.1 Método de conformação por prensagem uniaxial.....	35
2.6.2 Etapas da compactação.....	38
2.6.3 Etapa de extração da peça.....	38
2.6.4 Defeitos e problemas associados à prensagem uniaxial.....	39
2.7 Método de conformação por laminação.....	41
2.7.1 Mecanismos de laminação.....	42
2.7.2 Efeito do teor de umidade.....	44
2.8 Processos térmicos.....	45
2.8.1 Processo de secagem.....	45
2.8.2 Fatores que influenciam na velocidade de evaporação:.....	46

2.8.3 Processo de sinterização de produtos de cerâmica vermelha.....	46
2.8.4 Cor dos produtos cerâmicos após queima.....	49
3.0 MATERIAIS E MÉTODOS.....	51
3.1 Materiais.....	51
3.2 Métodos.....	51
3.2.1 Beneficiamento.....	52
3.2.2 A caracterização.....	53
3.2.3 Análise granulométrica.....	53
3.2.4 Limites de Atterberg.....	53
3.2.5 Análise química.....	54
3.2.6 Análises térmicas.....	54
3.2.7 Difração de raios -X.....	55
3.2.8 Preparação da massa para os ensaios tecnológicos completos.....	55
3.2.9 Preparação da massa para revestimento cerâmico.....	56
3.2.10 Conformação dos corpos de prova.....	56
3.2.11 Secagem.....	57
3.2.12 Queima.....	58
3.2.13 Determinação das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmico.....	58
3.2.14 Ensaios preliminares.....	59
3.2.15 Fluxograma do desenvolvimento experimental.....	60
4.0 resultados E DISCUSSÃO.....	62
4.1 Caracterização física e mineralógica da argila.....	62
4.2 Análise química.....	63
4.3 Difração de raios X.....	64
4.4 Análise térmica diferencial (ATD) e análise termogravimétrica (ATG).....	66
4.5 A caracterização tecnológica preliminar.....	67
4.6 A caracterização tecnológica completa.....	71
4.6.1 Estudo comparativo entre os corpos de prova extrudados e prensados.....	71
4.7. Placas cerâmicas para revestimento laminadas e prensada.....	79
4.7.1 Efeito do teor de umidade nas propriedades físico-mecânicas de placas laminadas usando massa natural.....	79
4.7.2 Estudo comparativo entre placas prensadas e laminadas usando massa natural I (queima rápida).....	85

4.7.3 Estudo comparativo entre placas prensadas e placas laminadas usando massa formulada(queima rápida).....	87
conclusões.....	93
referências bibliográficas.....	96
anexos.....	103

1.0 INTRODUÇÃO

O Brasil é um grande produtor de materiais cerâmicos possuindo um grande número de jazidas de argilas. Essas argilas são de grande importância na fabricação de grés sanitários, porcelanas, cerâmicas de revestimento, bem como tijolos e telhas. A indústria cerâmica Brasileira tem grande importância para o país, tendo participação no PIB – Produto Interno Bruto – da ordem de 1%.

No Brasil convencionou definir o setor cerâmico em segmentos que se diferenciam pelos produtos obtidos e mais precisamente pelo mercado que está inserido. Sendo a cerâmica estrutural vermelha a de maior produção e a que mais emprega no Brasil Este segmento produz tijolos furados, tijolos maciços, lajotas, blocos de vedação, telhas e pisos rústicos (BUSTAMANTE, 2000).

Na região nordeste e principalmente no estado da Paraíba é observada uma acentuada atividade industrial nessa área. Há em todo estado, cerca de 60 fábricas de produtos de cerâmica vermelha em atividade distribuída em pelo menos 30 municípios, oferecendo cerca de 3.000 empregos diretos (MACÊDO, 2005).

Um outro segmento de grande importância para o país é o da cerâmica de revestimento. Representado por 94 empresas de revestimento cerâmico, com 117 fabricas em operação que empregam 25.486 trabalhadores, o Brasil possui um lugar de destaque na industria de revestimento cerâmico mundial. O quarto país em produção, o Brasil responde ao lado de Itália, Espanha e China por 71%, da produção de cerâmica para revestimento fabricada em todo mundo (ANFACER, 2005).

O crescimento desse setor no Brasil foi acompanhado e em certos casos garantido pela indústria de equipamentos, que tem acompanhado a tendência mundial. Novos materiais cerâmicos e novos processos e equipamentos estão sendo desenvolvidos e pesquisados. Sendo o método de laminação um processo de conformação que vem sendo estudado como alternativa para a fabricação de placas cerâmicas de finas espessuras, com o objetivo de alcançar um produto sem alterações nas suas propriedades, redução de matéria-prima e consumo de energia.

O estado da Paraíba encontra-se segmentado em quatro mesoregiões: Sertão, Borborema, Agreste e a Mata Paraibana (que corresponde o Litoral). Pesquisas feitas recentemente, realizadas no estado visando prever usos cerâmicos e um mapeamento realizado no estado do Estado da Paraíba quanto às regiões geográficas e bacias hidrográficas, mostra que os estudos estão concentrados em algumas regiões específicas do estado, principalmente o Litoral e o Agreste. Por outro lado existem várias regiões sem estudo sistemático e que existe uma grande concentração de jazidas potencialmente utilizáveis. Estudos mostram que 100% das argilas estudadas no sertão foram indicadas para aplicação na cerâmica vermelha (MENEZES, 2001).

A cidade de Itaporanga-PB encontra-se situada no Sertão da Paraíba, possui uma boa perspectiva de crescimento econômico e social, por conta do expressivo investimento do capital interno e externo no comércio e nas indústrias locais. Devido a sua posição geográfica, situada às margens do rio piacó e região de várzea, o município de Itaporanga-PB possui uma grande quantidade de jazidas de argila para cerâmica. matéria-prima esta, que não é explorada de forma adequada, já que as poucas indústrias existentes na região são de pequeno porte, (olarias de forma artesanal), que funciona precariamente de forma inadequada e com baixa produtividade.

Portanto, com base no contexto acima, faz-se necessário o estudo detalhado do processamento dessas argilas, visando à obtenção de produtos de cerâmica vermelha (telhas, tijolos e pisos cerâmicos), por meio dos processos como: extrusão, prensagem e laminação, como forma de contribuir para a exploração de forma adequada das jazidas de argilas da região e para o desenvolvimento regional.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é analisar as características de uma argila proveniente da região de Itaporanga-PB, visando obter produtos cerâmicos (blocos cerâmicos, telhas e pisos cerâmicos), por meio dos processos como: extrusão, laminação e prensagem.

1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Caracterizar química e mineralógicamente uma argila de Itaporanga-PB.
- Classificar preliminarmente quanto aos ensaios cerâmicos, de acordo com a sistemática proposta por Souza Santos.
- Classificar através de ensaios completos, (os corpos de prova extrudados e prensados) visando à aplicação na confecção de telhas e blocos cerâmicos.
- Conformer por laminação e prensagem usando massa natural, e classificar visando o uso da mesma na produção de placas cerâmicas.
- Formular uma massa e conformar por laminação e prensagem, e classificar visando o uso na produção de placas cerâmicas.

2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ARGILAS PARA CERÂMICA VERMELHA

A principal matéria-prima para a composição de massas para cerâmica vermelha são as argilas. Como a indústria de cerâmica vermelha caracteriza-se por processar grandes volumes de matérias-primas, é necessário que o custo de produção seja competitivo no mercado consumidor. Por isso as argilas devem ter as características necessárias para atender o mercado ao menor custo possível (GASPAR, 2001).

As argilas propriamente ditas são constituídas por compostos complexos de sílica, alumina e água. As argilas são responsáveis pelas características típicas dos materiais cerâmicos, isto é, coesão, plasticidades, trabalhabilidade e a resistência mecânica a seco e após queima. E são caracterizadas por apresentarem granulometria extremamente fina, nunca superior a 20 μm . Em geral a fração granulométrica acumulada, mais representativas das argilas, corresponde as partículas menores que 2 μm (OLIVEIRA, 2004).

No Brasil, as argilas utilizadas para a fabricação de cerâmica vermelha, são normalmente argilas sedimentares, quaternárias, de deposição recente em várzeas e margens de rios (NORTON, 1973).

Essas argilas são usadas na fabricação de materiais de construção, tais como tijolos de alvenaria e furados, telhas, ladrilhos de piso, objetos de adorno (elementos vazados e outros), lajes cerâmicas, e outros. A indústria cerâmica oleira no Brasil usa processos de moldagem manuais, por extrusão e por prensagem. As temperaturas de queima oscilam entre 950°C e 1150°C, conforme a natureza da argila, do produto cerâmico e do forno utilizado, e as condições econômicas locais. Para terem empregos na fabricação de tijolos, devem poder ser moldadas facilmente ter valor médio ou elevado para a tensão ou módulo de ruptura a flexão, antes e após queima; costumam apresentar cor vermelha após queima em baixas temperaturas (geralmente 950°C, que é a temperatura usual de queima para esse tipo de produto), com um mínimo de trincas e empenamentos. Para a produção de tijolos, as quantidades de argila correspondentes à matéria-

prima empregada pode variar da seguinte maneira: a fração argila de 15 a 45%, e o percentual de areia de sílica pode variar de 15 a 30% em peso (SOUZA SANTOS, 1992).

As argilas normalmente empregadas na fabricação de tijolos possuem em sua composição carbonatos de cálcio em maior quantidade, e carbonato de magnésio em menores proporções, em média os teores de carbonatos nos materiais argilosos variam de 5 a 25% (OLIVEIRA, 2004).

De acordo com Souza Santos, (1992), as argilas para serem usadas na fabricação de telhas, devem possuir plasticidade adequada para a moldagem, tensão ou módulo de ruptura à flexão elevada quando secas para permitir o manuseio durante a fabricação e após a secagem, porosidade aparente e absorção de água baixa para não permitir a permeação de água e não devem apresentar trincas e empenamentos após secagem e queima. Costuma apresentar cor vermelha após queima a cerca de 950°C, uma tensão de ruptura elevada de 6,5MPa após queima (BARZAGHI E SALGE, 1982).

Argilas sedimentares recentes e antigas são usadas para a fabricação de telhas, são argilas plásticas e folhelhos argilosos, de fácil moldagem, com elevados teores em ferro e de materiais alcalinos, que vitrificam a temperaturas relativamente baixas, sem tendência a empenar. A cor "vermelho-viva", sem manchas escuras, entre 950°C e 1000°C, que é a faixa de temperaturas de queima usual, é uma característica desejável, além dos valores baixos da absorção de água e porosidade aparente, devido ao elevado grau de vitrificação atingido, o qual dá uma elevada resistência a abrasão. (SOUZA SANTOS, 1992).

2.2 MASSAS CERÂMICAS PARA REVESTIMENTOS

Segundo Motta (2002), de acordo com as matérias-primas utilizadas, as massas cerâmicas podem ser classificadas de massa simples ou natural, composta ou artificial.

Massa cerâmica natural: refere-se a massa formada por uma só matéria-prima, com as necessárias proporções entre os minerais, que permitem a manufatura da peça cerâmica desejada. Podem ser relacionadas, por exemplo, as

massas para a fabricação de telhas, tijolos e revestimentos por via seca. Trata-se das massas formadas só de argila, podem conter, às vezes, a mistura de mais de uma argila, ou de materiais argilo-arenosos.

Massa cerâmica artificial: é denominada quando ocorre mistura de diversas matérias – primas na massa. Trata-se, por exemplo, das massas triaxiais de porcelana, das massas de louça sanitária e de revestimentos por via-úmida.

Quanto às matérias-primas usadas na composição dessas massas elas podem ser:

Argila - que tem como função na massa cerâmica dar plasticidade à massa e melhorar as propriedades mecânicas a verde.

Caulins – tem como função na massa cerâmica diminuir a plasticidade e reduzir a retração. O caulim é uma argila constituída principalmente por caulinita e/ou haloisita, que queima em cores brancas ou claras à 1250°C. Dois tipos de caulim são comumente considerados para aplicações tecnológicas: os residuais e os sedimentares. É de conhecimento geral que os caulins apresentam juntamente com o seu argilomineral constituinte, alguns minerais acessórios como o quartzo a mica e os minerais de ferro.

Quartzo - tem como função na massa cerâmica reduzir a retração de secagem e queima.

Feldspato - é usado função na massa cerâmica como fundente reduzindo a temperatura de sinterização do corpo cerâmico.

Calcita - tem como função na massa cerâmica reduzir a expansão térmica do corpo cerâmico após queima.

Segundo Marino (1998), em uma massa cerâmica contendo calcita, a partir de aproximadamente 900°C, ocorre uma abrupta retração provocada pelo início da sinterização com formação de fase líquida e densificação. Com 5% de calcita adicionada tem-se inicialmente uma maior expansão e um menor gradiente de retração na faixa de decomposição da caulinita. A cerca de 1000°C ocorre a expansão que aumenta consideravelmente com o aumento da quantidade de calcita utilizada, conseqüência da cristalização de fases como a anortita que, até certo ponto, compensam a retração de queima ocasionando uma dilatação do corpo.

De acordo com Motta, (2002), são dois os problemas relacionados com as matérias primas que atualmente exerce maior influência nas características das composições empregadas na fabricação de pavimentos e revestimentos:

1. Falta de homogeneidade, normalmente devido à falta de constância nas propriedades das argilas;
2. A presença de impurezas não desejadas,

De acordo Sanchez (1996) as propriedades das argilas vermelhas empregadas na fabricação de placas cerâmicas apresentam grandes variações, motivadas fundamentalmente por:

- a própria característica da jazida, onde existem camadas estreitas de argilas de diferentes composições, que também se encontram alternadamente com outras de areias;
- o procedimento de exploração, que normalmente não existe na maioria dos canteiros um plano de trabalho, devido a exploração ser normalmente função da demanda. Como consequência disso, não se realiza a mistura simultânea das camadas de características diferentes;
- as camadas de argila podem ir evoluindo em suas propriedades com o tempo de consumo, ou também empreender a exploração em outra zona de uma mesma mina ou em novas jazidas;

2.3 BENEFICIAMENTO DE ARGILA

O objetivo de qualquer processo de moagem é a diminuição do tamanho das partículas de um material sólido, tendo em vista o aumento da superfície específica para melhorar a velocidade de reação de determinada matéria prima (por exemplo, durante a queima), misturar de um modo mais uniforme vários materiais (durante o processo de preparação de uma pasta) e permitir a obtenção de um pó com as características ideais de utilização (RIBEIRO, 2003).

Na indústria de cerâmica vermelha a preparação da massa consiste numa série de operações distintas entre si, adequadas a levar a matéria-prima, desde do estado em que se encontram após a extração, a uma condição final.

Um equipamento bastante usado na indústria de cerâmica vermelho são os britadores. Tais máquinas são importantes como trituradores primários, recebendo uma alimentação de fragmentos de 30cm de diâmetro ou mais, reduzindo-os a 2,5 - 7,5cm de diâmetro. O material de alimentação pode ser duro ou semiduro (NORTON, 1973).

Um outro equipamento sempre presente nas linhas de preparação de massa a úmido são os laminadores. A ação do laminador é de esmagamento, impacto e estiramento. Em função do espaço de passagem entre os cilindros, a laminação se divide em desengrossamento de 3 a 4mm e acabamento de 0,8 a 1,5mm.

Os laminadores, em seu funcionamento, produzem pó, mesmo se tratando de material úmido, visto que os cilindros se aquecem devido ao atrito dos raspadores e do material (ACIMAC, 2000).

Sabe-se também que o tamanho das partículas exerce uma influência determinante nas propriedades e comportamento dos materiais ao longo do processo de fabricação, como por exemplo: no comportamento reológico, na conformação, na queima e nas características finais do produto (PEREIRA, 2002).

De um modo geral, o rendimento da moagem é influenciado pelas características da própria matéria-prima, nomeadamente:

- dimensão e forma inicial das partículas;
- dureza do material (resistência à compressão, ao choque e à abrasão);
- estrutura homogênea ou heterogênea;
- umidade ou higroscopicidade;
- sensibilidade à variação da temperatura;
- tendência à aglomeração;

Segundo Ribeiro (2003), existem dois fatores que determinam a evolução do grau de moagem dos diferentes materiais. O primeiro está relacionado com a própria granulometria de partida de cada matéria-prima, que condiciona a

evolução inicial da moagem. O segundo fator, e por ventura o mais importante, tem a ver com a dureza de cada matéria-prima e, como seria de esperar, materiais mais duros são mais difíceis de moer.

2.4 MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO

2.4.1. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

As principais características das argilas, que influenciam na fabricação de cerâmica vermelha dizem respeito a sua granulometria, fundência e plasticidade. Através da granulometria de uma argila, pode-se aferir sua trabalhabilidade e as técnicas de processamento mais adequado (MÁS, 2002).

Para Sousa Santos (1992), o termo mais utilizado em análise granulométrica é a fração argila, a qual é a fração acumulada que contém as partículas de diâmetros, geralmente inferiores a $2\mu\text{m}$. A maior dimensão das partículas da fração argila é definida de maneira diferente em diferentes ramos da ciência. Em estudo de solos, a tendência usual é de usar $2\mu\text{m}$ como limite superior de dimensões da fração argila.

Através do diagrama de Winker é possível selecionar uma matéria-prima em função da fração granulométrica para uma dada aplicação. O ponto representativo é indicado em função do percentual da fração granulométrica (OLIVEIRA, 2004).

- argila fração inferior a $2\mu\text{m}$;
- silte fração entre 2 e $20\mu\text{m}$;
- areia fração superior a $20\mu\text{m}$;

De acordo com o diagrama de Winker mostrado na (Figura 2.1), é possível através da granulometria, prever a utilização das argilas para a fabricação de produtos de cerâmica vermelha como: telhas, tijolos furados e tijolos maciços (ACIMAC, 2000).

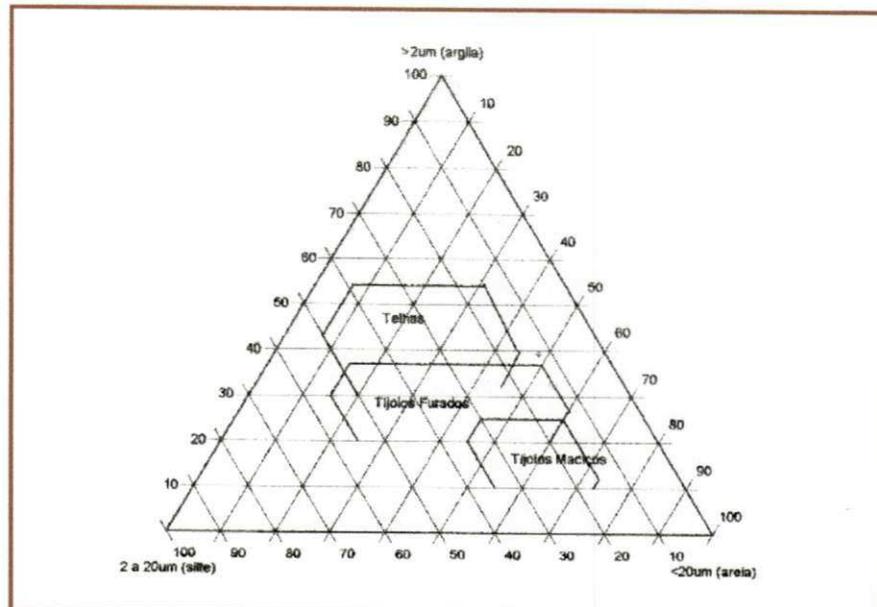


Figura 2.1- Diagrama triaxial de Winker ACIMAC (2000)

2.4.2 INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA NAS PROPRIEDADES CERÂMICAS

No estado seco a porosidade de um corpo cerâmico depende da distribuição granulométrica dos componentes das matérias-primas e do modo como que estas foram misturados. A máxima densificação e a mínima porosidade são obtidas quando a distribuição granulométrica é bastante aberta tal que permite que as partículas menores ocupem os interstícios entre as partículas maiores (OLIVEIRA, 2004). A porosidade final do produto queimado é influenciada pela:

- porosidade inicial a verde ou a seco;
- formação de fase líquida;
- rearranjo das fases cristalinas formadas.

Através do controle da distribuição granulométrica é possível otimizar a densidade de empacotamentos, geralmente se eleva com o valor do quociente entre os tamanhos “diâmetro” das partículas maiores e os das menores.

Um fator que pode alterar a condição de empacotamento das partículas é a sua morfologia . Quanto mais afastado do formato esférico for a partícula, menor é a densidade de empacotamento. Isso ocorre devido à fricção interparticular, que surge pelo contato das superfícies irregulares das mesmas. Quanto menor o

tamanho das partículas irregulares, maior esse efeito, em função da maior área superficial específica (OLIVEIRA et al 2000).

2.4.3 LIMITES DE ATTERBERG

A plasticidade é normalmente definida como uma propriedade dos solos, que consiste na maior ou menor capacidade de serem eles moldados, sob certas condições de umidade, sem variação de volume (CAPUTO, 1994).

Sendo a umidade de um solo muito elevada, ele se apresenta como um fluido denso e se diz no estado líquido. À medida que a água evapora-se ele vai se tornando mais duro (limite de liquidez), e perde sua capacidade de fluir, porém pode ser moldado facilmente, conservando sua forma (estado plástico).

A continuar a perda de umidade, o estado plástico desaparece (limite de plasticidade), o solo se desmancha ao ser trabalhado, este é o estado semi-sólido. Embora fundamentadas em extensas investigações experimentais, as definições desses limites são convencionais, ainda assim eles permitem, de uma maneira simples e rápida, dar uma idéia bastante clara do tipo de solo e suas propriedades.

Por definição, o limite de liquidez (L_L) é o teor de umidade para o qual o sulco se fecha com 25 golpes, é a resistência que o solo oferece ao fechamento do sulco, medido pelo número de golpes requeridos, provém da sua resistência ao cisalhamento correspondente à umidade que apresenta.

O limite de plasticidade (L_P) é determinado pelo percentual de umidade para o qual o solo começa a fratura-se quando se tenta moldar um cilindro de 3 mm de diâmetro e cerca de 10 cm de comprimento.

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

$$I_P = L_L - L_P \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

I_P - é o índice de plasticidade de Atterberg;

L_p - limite plástico;

L_L - é o limite de liquidez;

Segundo Vieira et al (2000), para que uma massa cerâmica possa ser considerada apropriada para extrusão deve apresentar limite de plasticidade na faixa de 15%-25% e índice de plasticidade entre 10%-35%.

2.4.4 ANÁLISE QUÍMICA

A composição química de alguns materiais argilosos apresenta grandes variações relativas aos teores de sílica, alumina, ferro, cálcio, sódio, potássio, etc. mediante a composição química as matérias-primas assumem um significado limitado a um elenco de óxidos, que na realidade podem estar entre si combinados e, portanto mineralogicamente distintos.

Segundo Oliveira (2004), o conhecimento da composição química, mas em particular do resultado de análise química efetuada em amostras provenientes de cada etapa do processo produtivo na indústria cerâmica, é muito importante e de grande interesse prático para verificação dos seguintes fatores:

- influência dos vários elementos sobre a resistência mecânica dos produtos, com a formação de fase líquida e rearranjo, por efeitos dos óxidos de sódio, potássio, cálcio e ferro;
- influência sobre o comportamento dos materiais (tijolos) com a temperatura, devido à perda de substâncias durante as fases de pré-aquecimento e queima.

De acordo com Barba (1997), do resultado da análise química, pode se obter as seguintes informações

$\%SiO_2$ - seu valor é indicativo do percentual de sílica livre, sílica combinada ou quartzo que possui a argila.

$\%Al_2O_3$ - normalmente seu valor esta intimamente relacionado com a proporção de mineral argiloso e feldspato.

%CaO – o cálcio normalmente se encontra em forma de carbonatos alcalinos terrosos (calcita e dolomita).

%MgO - este óxido associa a presença de dolomita e clorita.

%K₂O - a presença desse óxido indica a presença de illita, mica e feldspato potássico.

%Na₂O - indica a presença de feldspato sódico.

%P.F - a perda ao fogo normalmente se deve à decomposição dos minerais argilosos, os carbonatos, e a combustão de matéria orgânica.

2.4.5 ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL (ATD)

Análise térmica diferencial juntamente com análise química e difração de raios-x, permite uma identificação bastante precisa de argilominerais puros e minerais conhecidos, contudo, a análise térmica diferencial é de uso restrito no caso de misturas de argilominerais, devido ao fato da intensidade dos picos endotérmicos e exotérmicos serem alterados pelas misturas.

O método consiste no aquecimento, em velocidade constante, de uma argila juntamente com uma substância termicamente inerte, (geralmente o óxido de alumínio-alfa ou corindon), registrando as diferenças de temperatura entre o padrão inerte e a argila em estudo, em função da temperatura; quando ocorrem transformações endo ou exotérmica; estas aparecem como deflexões em sentidos opostos na curva termodiferencial (SOUZA SANTOS, 1992).

2.4.6 ANÁLISE TÉRMICA GRAVIMÉTRICA (ATG)

A análise térmica gravimétrica consiste no aquecimento da argila em velocidade constante em ligação com uma balança, o que permite um registro das variações de massa em função da temperatura, tem valor menor que a análise térmica diferencial, já que análise diferencial registra também as transformações energéticas, tais como transformações polimórficas como a do quartzo-alfa em

quartzo-beta, que não envolvem variações de massas. É um instrumento de pesquisa útil trabalhando em paralelo com a análise térmica diferencial.

As curvas de análise térmica dos argilominerais não são suficientes de uma maneira geral, usados isoladamente, para a identificação da espécie mineralógica, mas permitem a classificação geral dos principais argilominerais, especialmente em argilas monominerálicas como: caulinita, montmorilonita, illita, clorita, etc, (SOUSA SANTOS, 1992).

2.4.7 DIFRAÇÃO POR RAIOS-X

A identificação de argilas puras ou misturas pode ser feita através de raios-X. Os raios-X são radiações eletromagnéticas da mesma natureza que as radiações que compõem a luz branca visível ao olho humano.

O método de difração de raios-X em relação aos outros métodos, como a análise térmica diferencial, ou análise química, oferece vantagem, pois o difratograma apresenta um grande número de picos, o que facilita a identificação, principalmente em casos de misturas, onde pode haver suposição de alguns picos, mais nunca de todos.

No caso de mistura, o emprego de todos os métodos é recomendável, pois cada um pode fornecer um dado, de cujo conjunto a composição mineralógica pode ser determinada com maior precisão (SOUSA SANTOS, 1992).

2.5 MÉTODOS DE CONFORMAÇÃO

2.5.1 PREPARAÇÃO DA MASSA

Segundo Ribeiro (2003), a primeira condição para atingir bons resultados na confecção de produtos cerâmicos é ter uma massa que apresente as menores variações possíveis, em termos de:

- composição;
- grau de moagem;

- teor de umidade;

Atualmente sabe-se que o grau de moagem das massas é um dos fatores que pode influenciar a plasticidade das massas vermelhas. Assim uma moagem mais fina tem como consequência um aumento da superfície específica das partículas da massa, o que provoca um aumento da plasticidade.

De acordo com Albaro (2000b), a preparação da massa tem como objetivos:

- proporcionar uma mistura íntima e homogênea das matérias-primas e aditivos;
- adequar a massa para a etapa de processamento;

Para que a operação de prensagem se desenvolva de maneira adequada é necessário que a massa possua, dentre outras, as seguintes características: uma elevada fluidez, para que durante a fase de preenchimento das cavidades do molde, cuja dosagem se realize por medida de volume a massa escoie rapidamente e preencha o molde de maneira homogênea e reproduzível.

2.5.2 MÉTODOS DE CONFORMAÇÃO POR EXTRUSÃO

A extrusão é usada para o processamento de produtos cerâmicos há mais de 150 anos, tendo a tecnologia sofrido pequenas alterações a partir da década de 50 do século passado. No entanto, esse processo de conformação industrial tem se revelado essencial na indústria cerâmica estrutural vermelha (telhas e tijolos). É uma técnica de produção associada a uma elevada produtividade, principalmente para produtos de seção transversal constante (tijolos) e muito importante em termos de homogeneização e retirada do ar da massa (RIBEIRO, 2003).

A primeira condição para atingir bons resultados na extrusão de produtos cerâmicos é ter uma massa para extrusão que apresente as menores variações possíveis, em termos de: composição, grau de moagem e teor de umidade (MÁS, 2002).

punções rígidos, (Figura 2.3). É utilizada para conformar peças que não apresentem relevo superficial na direção de prensagem. Se a espessura da peça que deseja obter é pequena e sua geometria é simples, a carga pode ser aplicada em apenas um sentido. Por outro lado, para conseguir peças de grande espessura e geometria complexa, com uniformidade de compactação, é indispensável que a prensagem seja feita nos dois sentidos (dupla ação), ou que se empregue um molde complexo com múltiplos punções (ALBARO, 2000b).

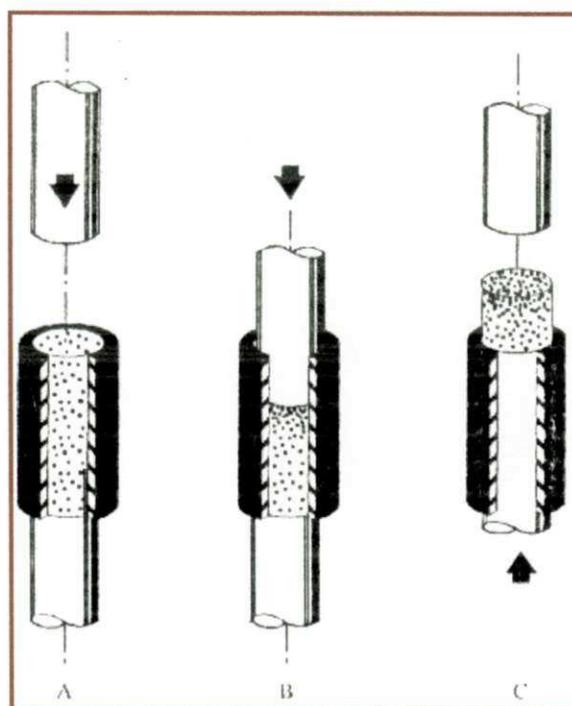


Figura 2.3 - Molde de compressão uniaxial (ALBARO 2000b).

A fricção entre as partículas do pó e também a fricção entre elas e a superfície do molde impedem que a pressão aplicada a uma ou mais das superfícies da peça, seja integralmente transmitida e de forma uniforme a todas as regiões da peça, o que provoca existência de gradientes de densidade nos corpos conformados.

Segundo Albaro (2000a), tanto a seleção e dosagem das matérias-primas a serem empregadas como as condições de operação envolvidas em todas as etapas do processo de fabricação devem ser consideradas como uma

conseqüência de etapas integradas, que deliberadamente e de forma sistemática transformam uma determinada formulação em um produto acabado, passando por diversos produtos intermediários. As características mecânicas dos grânulos, tais como dureza, resistência mecânica e plasticidade devem ser adequadas. Os grânulos devem ser suficientemente moles e deformáveis, para que durante a fase de compactação, em pressão moderada, se deformem plasticamente, facilitando o deslizamento das partículas que o compõe. Por outro lado, os grânulos não podem ser frágeis, moles e deformáveis a ponto de romperem, deformarem ou aglomerarem uns sobre os outros durante as operações de armazenagem e transporte que antecedem a etapa de prensagem.

Por sua vez, as características microestruturais da peça a verde não só determinam suas propriedades mecânicas, mas também exercem influência nas etapas posteriores do processamento (ALBARO, 2000a).

Como conseqüência, as variáveis de operação envolvidas nas etapas de prensagem deverão ser determinadas, de forma que assegure a peça conformada os seguintes elementos:

- proporcione à peça a verde e após secagem uma resistência mecânica suficiente para suportar as diversas solicitações ao longo do processo produtivo;
- confira a peça uma permeabilidade suficiente para que todas as reações que envolvam troca de gases durante a etapa de aquecimento se completem no tempo adequado;
- permita que o produto final apresente as características microestruturais desejadas (porosidade, distribuição de tamanho de poros, tamanhos de grão, etc.), que irão determinar as características técnicas da peça: resistência mecânica, absorção de água, etc.

2.6.2 ETAPAS DA COMPACTAÇÃO

Na fase de compactação o material granulado contido no interior de uma matriz (rígida ou flexível) é submetido a uma tensão de compressão elevada unidirecional.

Segundo Albaro (2001a), na compactação de um material granular (massa) a diminuição do volume dos poros e de seus tamanhos se dá através dos três mecanismos seguintes:

1º Mecanismo: nesse mecanismo ocorre a redução do volume ocupado pelos poros intergranulares e de seu volume através do deslocamento e reordenação dos grânulos.

2º Mecanismo: ocorre redução do volume e tamanho dos espaços intergranulares por deformação plástica e/ ou destruição dos grânulos, dependendo das características mecânicas do grânulo (dureza, deformabilidade, resistência mecânica). Neste mecanismo se inclui o esmagamento de grânulos ociosos, geralmente presentes na massa cerâmica.

3º Mecanismo: nesse mecanismo ocorre diminuição de volume e tamanho dos poros intragranular pelo deslizamento e reordenação das partículas buscando alcançar um empacotamento mais denso.

2.6.3 ETAPA DE EXTRAÇÃO DA PEÇA

Segundo Albaro (2001b), nessa etapa a energia elástica, que permanece armazenada na peça durante a fase de compactação começa a ser dissipada a medida que a carga é retirada, e extrai – se a peça, provocando um aumento em suas dimensões. Esta expansão após a prensagem, chamada de expansão de extração, se dá tanto na direção em que se aplicou a carga durante a compactação como também na direção perpendicular á aplicação da carga.

A expansão de extração sempre aumenta com a pressão de prensagem, uma vez que com o aumento da pressão, aumenta o número de pontos de

contatos entre as partículas por unidades de volume e o valor da deformação elástica em cada um dos pontos de contato.

A expansão de extração diminui à medida que se aumenta a plasticidade ou ductilidade dos grânulos, pelo aumento do teor de água ou qualquer outro tipo de plastificante. Observa-se também uma diminuição da expansão de extração a medida que se reduz a velocidade de aplicação da carga ou aumenta o tempo de aplicação da pressão máxima ou do ciclo de prensagem.

Quanto mais se aumenta o ciclo de prensagem, favorece o reordenamento das partículas, que alcançam posições mais estáveis, e por lado reduz-se a quantidade de ar aprisionado no interior do corpo. Na prensagem uniaxial esta fase é especialmente crítica, já que quando se anula a pressão de prensagem, a energia elástica armazenada na peça passa a exercer uma força normal sobre a parede do molde. A fricção entre as superfícies do molde e da peça determina uma tensão de cisalhamento, T , a qual a peça estará submetida durante a etapa de extração.

O teor de umidade dos grânulos, ao atuar como plastificante, que reduz a energia elástica armazenada na peça, e também como lubrificante, que reduz a fricção na interface peça/molde, exerce um efeito marcante sobre a tensão de cisalhamento a que fica submetida à peça durante a etapa de extração (ALBARO, 2001b).

2.6.4 DEFEITOS E PROBLEMAS ASSOCIADOS À PRENSAGEM UNIAXIAL

Alguns dos problemas e defeitos mais freqüentes que aparecem ao longo do processo de fabricação de peças cerâmicas conformadas por prensagem uniaxial devidos uma inadequada realização desta operação (ALBARO, 2001c), são:

- compacidade inadequada da peça: este defeito pode estar relacionado a uma falta de controle na preparação da massa. A variação no teor de umidade da massa modifica sensivelmente a compacidade da peça prensada;

- desgaste do molde por abrasão: este problema provoca uma mudança progressiva nas dimensões da peça e um deterioramento de sua textura superficial;
- formação de trincas: o surgimento de trincas pode ter diferentes motivos, os mais freqüentes são: desenho inadequado do molde, excesso de ar aprisionado durante a fase de compactação, excessiva expansão da peça durante a sua extração do molde, fricção elevada entre a peça e a parede do molde durante a extração, etc.

Segundo Albaro (2001c), as trincas geralmente começam nas bordas superiores da peça ou durante a extração da peça do molde. No primeiro caso a região central da face superior, se expande axialmente, enquanto este é retirado. Por outro lado, nas bordas superiores, esta expansão esta impedida pela fricção entre as paredes da matriz e a superfície da peça.

A formação de trincas pode ser evitada através de algumas das seguintes ações:

- redução do coeficiente de fricção do sistema peça/molde, através do emprego de um lubrificante adequado;
- redução da expansão de extração;
- retirada do punção superior sem a eliminação completa da carga, para evitar a expansão uniaxial da peça da peça durante sua extração.

A falta de uniformidade da compacidade no interior da peça ou entre as peças causam deformações e distorções nas peças, inclusive com quebra de peças durante a queima. Por outro lado, se estas alterações são entre peças, provocam uma falta de uniformidade entre os produtos queimados.

Uma das causas da variação de densidade no interior de uma peça é a fricção entre as partículas e entre estas e a matriz. Geralmente a principal causa deste tipo de defeitos é um preenchimento não-uniforme das cavidades do molde. A região da cavidade do molde que contiver mais massa no final da etapa de preenchimento será a de maior compacidade após a etapa de compactação. Para reduzir ou eliminar estes defeitos deve ser otimizado o programa de operação do preenchimento do molde e aumenta a fluidez da massa.

2.7.MÉTODO DE CONFORMAÇÃO POR LAMINAÇÃO

A tecnologia utilizada na fabricação de placas cerâmicas vem sendo gradativamente ampliada e aperfeiçoada, resultando em uma maior automatização do processo e uma melhor qualidade do produto. Isto tem sido feito com o controle dos parâmetros de processamento.

Todos os materiais cerâmicos passam por um processo de conformação, pelo qual os mesmos adquirem uma forma externa de dimensões definidas. As principais técnicas utilizadas na confecção de revestimentos cerâmicos são: prensagem, extrusão e colagem. A extrusão e a prensagem apresentam limitações quanto à espessura das peças cerâmicas planas. Uma outra técnica, que é o processo de conformação por rolos (laminação), visa à possibilidade de fabricação de peças com espessura reduzida sem comprometer o desempenho dos produtos (NUNES apud BALZEREIT, 2003).

O processo por laminação consiste na conformação mecânica na qual o material passa entre rolos. O processo de laminação compacta continuamente o pó granulado entre rolos de aço. Após a compactação a peça pode ser cortada ou manuseada. Peças com diferentes espessuras, dentro de uma faixa estreita, podem ser produzidas com o mesmo conjunto de rolos variando-se a taxa de alimentação e o espaçamento entre os rolos (SANTANA apud GOERENZ, 2000).

O processo por laminação oferece vantagens econômicas com relação aos demais tais como: os cilindros empregados são mutuamente ajustáveis através de modificação da abertura entre os rolos, redução no consumo de energia, devido a redução da espessura da peça, e economia de matéria-prima (SANTANA apud LIPINSK, 2000). O processo permite, também, um modo de operação em vários estágios, de maneira que varias etapas de laminação são programadas, umas após a outra, aumentando o grau de densificação.

Segundo Balzereit (1998), neste processo encontramos a possibilidade de selecionar e ajustar alguns parâmetros como: mistura dos componentes, ajustes no alimentador e escolha dos parâmetros ótimos para os rolos. Este processo é caracterizado pelas seguintes propriedades:

1. produção de placas cerâmicas finas, com espessura na faixa de 0,5 a 10mm, dependendo da faixa de tamanho do grão;
2. compressão e conformação contínua em uma única etapa de processamento;
3. manuseio simples e aplicação em larga escala industrial;
4. definição específica das propriedades dos materiais através da seleção adequada da composição e parâmetros dos rolos;
5. quantidade de água e ligante para pós-finos é menor do que 10% da massa total;
6. quantidade de água e ligante para pós-grossos é menor que 5% da massa total;
7. processo econômico em comparação com outros processos de conformação.

2.7.1 MECANISMOS DE LAMINAÇÃO

O controle na qualidade da peça laminada depende da quantidade de pó que passa entre os rolos onde ocorre à compactação, que deve ser constante. A quantidade de pó que passa entre os rolos e a fricção do pó que está sendo puxado no ponto de estreitamento afeta na qualidade do pó comprimido, na espessura e na densificação da peça.

Durante a etapa de conformação o material passa através de três regiões distintas de laminação, (Figura 2.4):

1. **A região de escorregamento**, caracterizado pelo deslizamento do material na superfície dos rolos e deformação plástica do volume do sólido a ser laminado.
2. **Região de "nip"**, caracterizada por compressão pura do sólido. Depende da compressibilidade do material, quanto maior a compressibilidade melhor a distribuição da pressa.
3. **A região de "release"** é muito pequena e começa no ponto de maior pressão aplicada aos rolos.

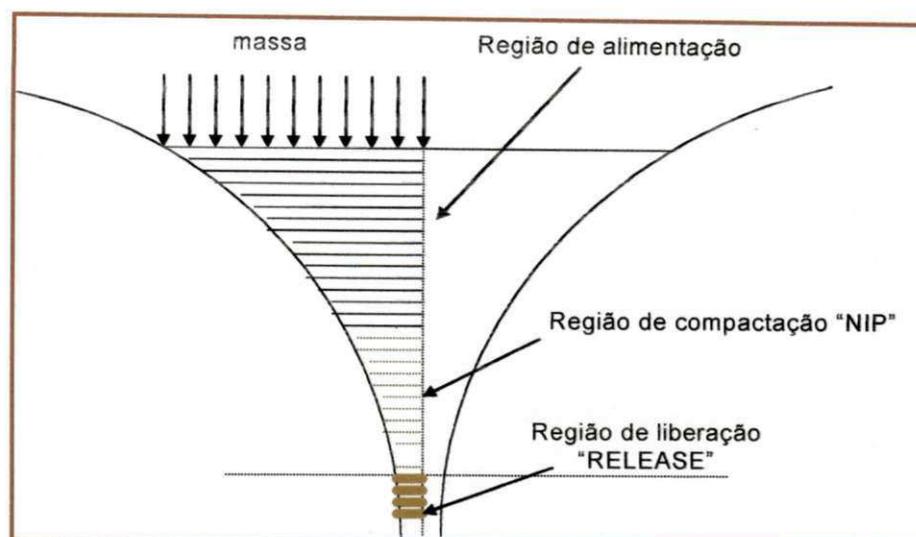


Figura 2.4 - Mecanismo de Laminação (JONHANSON 1984).

As características finais de um produto dependem fortemente dos parâmetros tecnológicos adotados durante o processo produtivo. Para que se tenha um bom controle na qualidade da peça precisa-se manter constante a quantidade de massa que passa entre os rolos (SUDÉRIO apud BALZEREIT, 2004a).

Na mistura de partículas sólidas e ligantes as variáveis podem ser agrupadas em três categorias: pó, ligante e variáveis do equipamento. As características do pó são: densidade das partículas, distribuição do tamanho das partículas, forma e superfície química. As características do ligante incluem viscosidade e molhabilidade. As variáveis do equipamento são: taxa de alimentação, velocidade, tempo e temperatura de mistura.

A velocidade do misturador influencia no movimento das partículas e na taxa de mistura, quanto maior a velocidade de mistura maior a taxa de cisalhamento e maior a dispersão dos componentes através da massa. O aumento no tempo de mistura melhora a dispersão dos componentes através da massa, ocasionando uma melhoria na compactação e nas propriedades das placas (SANTANA, 2001).

De acordo com Sudério et al (2004c), a velocidade de laminação tem influência sobre as propriedades de placas laminadas. Quanto menor a velocidade de laminação, melhor as propriedades cerâmicas das placas

laminadas. Este comportamento pode ser atribuído ao maior tempo de aplicação da pressão o que favorece um maior empacotamento das partículas que alcançam posições mais estáveis.

Um outro fator que também influencia nas propriedades das placas cerâmicas laminadas é a abertura entre os rolos laminadores, peças com diferentes espessuras podem ser produzidas com o mesmo conjunto de rolos variando-se a taxa de alimentação e o espaçamento entre os rolos laminadores. À medida que se aumenta a compactação com o aumento da pressão, aumenta-se também a coesão entre as partículas, fato que se traduz em um aumento da resistência mecânica da peça (SUDÉRIO et al, 2004a).

Um outro fator que interfere nas propriedades físico-químicas das placas laminadas, é diâmetro do cilindro dos rolos. Estudos mostraram que placas cerâmicas laminadas usando laminador de maior diâmetros apresentaram melhores propriedades físicas e mecânicas. Isso ocorre devido a maior área de contato da superfície do cilindro sobre o compactado, favorecendo durante a sinterização um empacotamento mais denso das partículas (SUDÉRIO, et al 2004b).

2.7.2 EFEITO DO TEOR DE UMIDADE

A umidade também influencia nas propriedades das placas cerâmicas laminadas. O teor de umidade das massas cerâmicas é fundamental para que se consiga controlar as características da massa e as condições de processamento. Este parâmetro é importante para que as características físicas e mecânicas possam ser mantidas dentro dos intervalos de variações desejados (SUDÉRIO et al, 2002).

Um maior teor de umidade resulta em uma maior deformação dos aglomerados facilitando o deslizamento e empacotamento das partículas. À medida que se reduz a umidade, as partículas se alinham de uma forma menos uniforme e os aglomerados não são totalmente destruído durante a etapa de conformação, devido à baixa plasticidade, podendo assim ocorrer à formação de defeitos no produto final (AZEVEDO, apud ALBARO, 2003).

As amostras produzidas com maior teor de umidade apresentaram um menor absorção de água e um acréscimo na resistência com o aumento do teor de umidade. Isso pode ser atribuído a uma melhor densificação, e o aumento da densidade durante a compactação é uma decorrência da deformação plástica dos grânulos que ao se deformarem passa a ocupar os espaços vazios que havia entre eles, favorecendo uma diminuição da porosidade. A água também atua como lubrificante, reduzindo a fricção entre as partículas e as paredes dos rolos, favorecendo assim uma melhor compactação (AZEVEDO apud PAULA, 2003).

2.8 PROCESSOS TÉRMICOS

2.8.1 PROCESSO DE SECAGEM

Podemos definir a secagem como sendo a fase de eliminar um líquido de uma substância, geralmente sólida. É nesta fase que a água em excesso é retirada do corpo cerâmico que está contida na peça cerâmica, quando na conformação do produto (TAVARES, 2005).

O processo de secagem é fundamental na fabricação de peças cerâmicas. Ele pode ser definido como a eliminação da água de conformação dos produtos cerâmicos, através de ar aquecido, com a finalidade de eliminar o líquido por evaporação superficial. É considerada uma das fases mais delicadas do processo produtivo (ACIMAC, 2000).

A água contida no interior da peça crua, evidentemente, tende a evaporar por influência da atmosfera exterior. O calor que dá origem à secagem, pelo contrário, age do exterior para o interior. 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 consequência, fecha os poros do corpo cerâmico, dificultando a saída da água ainda contida internamente. Isto gera tensões entre a parte interna e a externa.(CERÂMICANORIO, 2005).

A secagem da peça cerâmica ocorre pela propagação do calor, fazendo isto por condução, ou seja, é o processo pelo qual o calor se propaga no meio sólido. A propagação ocorre por meio de partículas constituintes da matéria, sem migração.

Portanto, o calor é conduzido através de sólidos por transmissões de vibrações, sem que mudem as posições médias das partículas em relação ao corpo cerâmico. Quando a propagação do calor é acelerada em demasia, ocorrem as trincas de secagem, que abrem brechas na peça cerâmica, facilitando a saída das moléculas de água (TAVARES, 2005).

2.8.2 FATORES QUE INFLUENCIAM NA VELOCIDADE DE EVAPORAÇÃO

Segundo Tavares (2005), a secagem de uma massa cerâmica é influenciada por diversos fatores:

- teor de umidade no produto a ser seco;
- forma e dimensão da peça;
- método de conformação das peças;
- temperatura de secagem;
- umidade relativa do ar;
- velocidade de secagem;
- direção e aplicação do ar;
- quantidade de material ser seco.

2.8.3 PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO DE PRODUTOS DE CERÂMICA VERMELHA

Sinterização é o termo usado para descrever a consolidação do produto durante a queima. Esta consolidação significa que as partículas do material cerâmico vão ser unidas propriamente num agregado para formar o corpo cerâmico (NOBREGA, 2005).

Através da queima, os materiais cerâmicos adquirem características mecânicas adequadas às diferentes utilizações específicas e correspondentes propriedades de inércia físico-química. A obtenção de tais características tem conexão com as complexas transformações físicas e químicas que ocorrem durante o processo de queima (BORGES, 2005).

Segundo Oliveira (2003), as argilas são constituídas por minerais plásticos e não plásticos. Durante a queima, estes minerais sofrem importantes transformações de caráter físico e químico. Além disso, podem ocorrer interações entre os diversos minerais constituintes das argilas os quais são influenciados pelas condições de queima como atmosfera do forno, temperatura máxima e taxa de aquecimento e resfriamento. Nos minerais plásticos destacam-se reações de perda de água de constituição e transformações de fases. Em relação aos minerais não plásticos podem ocorrer decomposições de hidróxidos, oxidação de matéria orgânica, transformações alotrópicas do quartzo, decomposição dos carbonatos, transformações de fases, redução de compostos e formação de fase líquida.

De acordo com Vieira (2003), o conhecimento destas transformações é de grande interesse tecnológico já que após queima, os produtos devem apresentar uma microestrutura compatível com as propriedades finais desejadas. A porosidade e as fases formadas após queima relacionam-se diretamente com as propriedades tecnológicas como resistência mecânica, absorção de água, entre outras.

Segundo Ferrari (2000), durante a sinterização da peça cerâmica, os fundentes aceleram a formação dos materiais vítreos que preencherão uma certa quantidade de poros, resultando num produto de qualidades intrínsecas melhores. O grau de vitrificação depende da temperatura e do tempo de cozimento, bem como da composição do corpo cerâmico. A temperatura na qual a fase líquida se forma é reduzida pela adição de agentes fundentes, como feldspato sódico ou potássico.

De acordo com Boschi (2005), as mudanças que ocorrem durante um ciclo de queima podem ser divididas em quatro partes:

1º PARTE: SECAGEM

Durante a conformação, a argila contém aproximadamente 25% de água. Após a secagem ao ar livre o corpo argiloso (peça) ainda mantém uma porcentagem de água superior a 5%. Durante o primeiro estágio da queima, essa água (fisicamente combinada) é retirada sob a forma de vapor. Por isso esta

etapa pode ser considerada a etapa final da secagem. Quando a água líquida se transforma em vapor de água ela se expande e passa a ocupar um volume maior, o que pode provocar uma pressão interna na peça, se a velocidade com que a água líquida se transformar em vapor for maior que a velocidade com que o vapor consegue atravessar o corpo e chegar até a superfície. Por isso a velocidade de aquecimento deve ser lenta nesta etapa. Uma velocidade de aquecimento não superior a 1°C por minuto é recomendável.

2º PARTE: DECOMPOSIÇÃO

A decomposição parcial dos cristais argilosos começa em torno de 200°C e termina próximo aos 800°C, quando a água que estava quimicamente ligada sai na forma de vapor. Diferentes tipos de argila reagem diferente em temperaturas diferentes. Na caulinita ocorre uma rápida saída de água entre os 450°C e 600°C. Durante esta etapa, os gases formados a partir de outros materiais são liberados; por exemplo: os carbonatos liberam dióxido do carbono (CO₂).

Todos os processos que envolvem perda de água ou gás devem ser devidamente completados antes que a vitrificação das argilas ocorra. A vitrificação fecha a peça, e se ela ocorrer muito cedo, poderá impedir que essas reações se completem, provocando o aparecimento de bolhas ou de inchamento em temperaturas mais elevadas, ou seja, quando os gases quiserem sair e o vidro já estiver com todas as suas passagens fechadas.

Em torno de 573°C o quartzo presente na argila altera de tamanho, com um brusco aumento de volume superior a 3%. Durante essa transformação a taxa de aquecimento deve ser lenta para evitar o surgimento das trincas provocadas pela brusca variação do volume. Entre 600°C e 700°C há uma certa sinterização da argila.

3º PARTE: VITRIFICAÇÃO

A vitrificação, que é a conversão dos minerais presentes em vidro, envolve algumas mudanças químicas e físicas complexas.

A formação de líquido em argilas pode ocorrer a temperaturas tão baixas como 770°C, mas na grande maioria das argilas muito pouco líquido se forma a temperaturas inferiores a 1000°C.

A última etapa de aquecimento começa próxima aos 800°C quando temperatura pode ser aumentada mais rapidamente sem perigos para a peça.

Se a temperatura for suficientemente alta (ou prolongada), qualquer líquido fundido que se forme, entra nos poros entre as partículas mais refratárias (que ainda não se fundiram). Quanto mais elevada a temperatura, mais completas são as reações.

Durante a produção do material vítreo mudanças químicas provocam mudanças físicas. O volume total do corpo cerâmico diminui e os poros são cheios pelo líquido fundido reduzindo a porosidade.

4º PARTE: RESFRIAMENTO

O resfriamento é uma parte bastante importante da queima. Um resfriamento muito rápido pode provocar trincas e um muito lento pode fazer com que o material fundido se cristalize.

O resfriamento rápido também favorece o desenvolvimento de vidros transparentes, enquanto que o resfriamento lento favorece a formação de cristais, com efeito opaco. Na temperatura mais elevada, boa parte da massa está "amolecida" e o vidro está líquido. As reações entre o corpo e o vidrado contribuem para a resistência mecânica do produto final.

2.8.4 COR DOS PRODUTOS CERÂMICOS APÓS QUEIMA

Em geral, as argilas são as matérias-primas que introduzem as maiores quantidades de ferro nas composições cerâmicas. Este elemento pode estar presente de formas distintas:

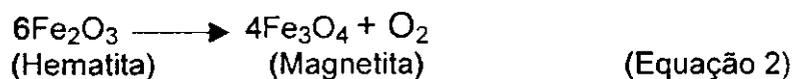
A limonita é um óxido hidratado que está presente na natureza em forma de partículas amorfas de cor amarela e marrom.

A goetita é um óxido de ferro hidratado que se apresenta em forma de cristais ortorrômbicos de cor marrom escuro ou amarelado.

A hematita se apresenta em forma de cristais hexagonais, de cor cinza metálico, ou como partículas amorfas vermelhas.

A magnetita se apresenta em forma de cristais cúbicos negros. Não é freqüente nas argilas, originando-se a partir da redução parcial do óxido férrico. Em geral todos os compostos de ferro se transforma em hematita quando a argila é sinterizada em atmosfera oxidante a temperaturas superiores a 200-400°C. Continuando a aumentar a temperatura à hematita tende a dissociar-se dando lugar a formas reduzidas como FeO (Wustita) e Fe₃O₄ (hematita) de cor preta na temperatura de 1100 a 1150°C.

A cor vermelha dos produtos cerâmicos (telha, blocos cerâmicos e ladrilho) após queima é devida principalmente a oxidação dos composto de ferro que ao final apresentam-se sob a forma de óxido férrico (equação 2). A intensidade da coloração vermelha depende da quantidade de oxido férrico presente. A uniformidade depende da distribuição granulométrica deste. O vermelho escuro se manifesta com 4% de Fe₂O₃. Os óxidos de cálcio e de magnésio, derivados da dissociação do calcário, tendem a combinar-se com o ferro presente, formando silicatos duplos de ferro e cálcio de coloração branca e creme, sempre que a quantidade de CaO seja de aproximadamente 2 a 4 vezes maior que aquela do ferro, expresso como oxido férrico, (OLIVEIRA, 2004).



3.0 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MATERIAIS

Para o desenvolvimento do presente trabalho utilizou-se uma argila proveniente do município de Itaporanga-PB. A mostra foi coletada durante o primeiro período de 2004, no sítio Alto do Madeiro, município de Itaporanga-PB. Foram coletados 4 sacos de 50 Kg de argila.

Para a preparação da massa formulada, foram usados argila do município de Itaporanga-PB, caulim e calcita fornecido pela Empresa ARMIL Minério LTDA, localizada na cidade de Parelhas – RN.

3.2 MÉTODOS

A metodologia utilizada para o desenvolvimento desta pesquisa consiste nas etapas descritas a seguir conforme atividades desenvolvidas e ensaios realizados.

A Figura 3.1 apresenta o fluxograma das etapas de caracterização física e mineralógica da argila.

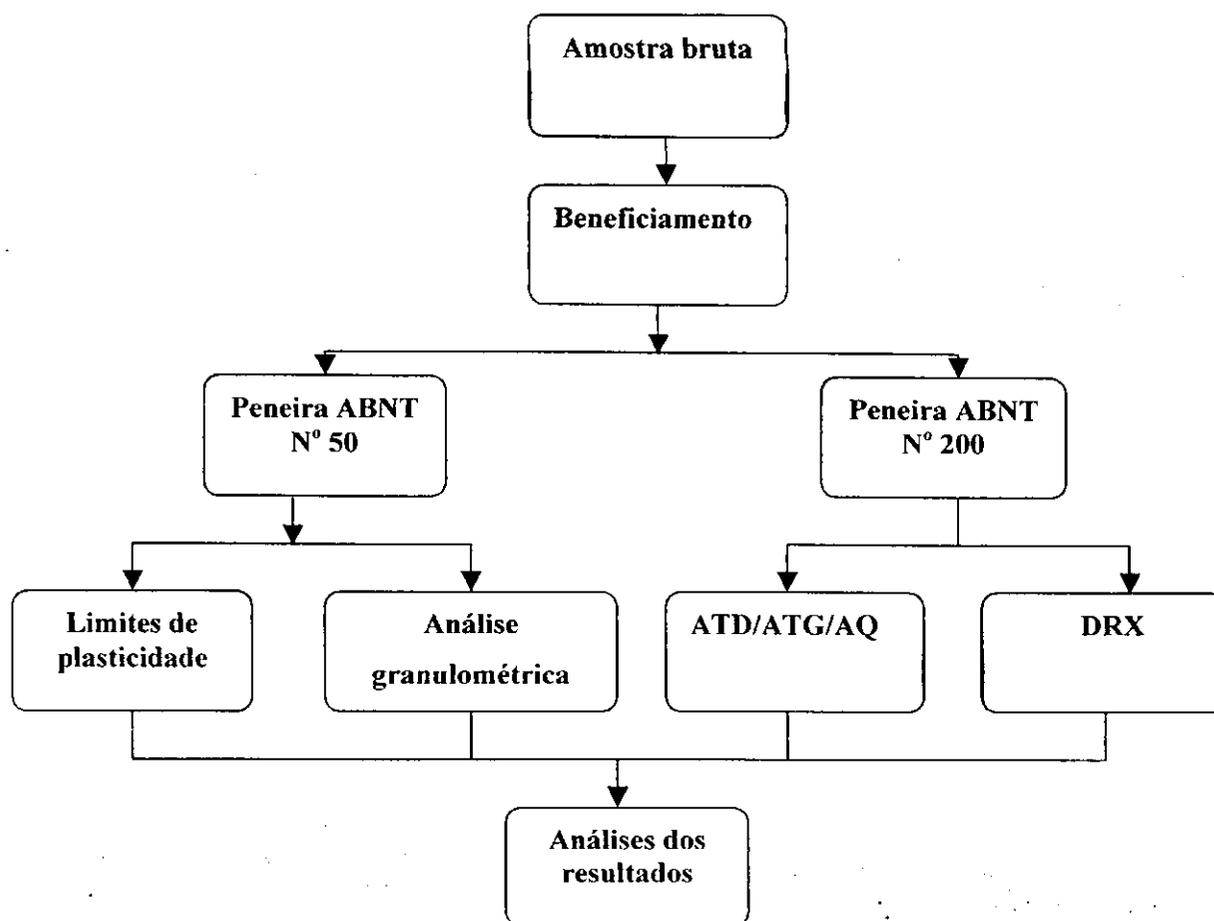


Figura 3.1 - Fluxograma da caracterização física e mineralógica da argila.

3.2.1 BENEFICIAMENTO

A argila foi inicialmente submetida ao beneficiamento, onde foi realizada a secagem a 110°C, em seguida moída em moinho tipo galga e peneirada em peneira vibratória (Figura 3.2 e 3.3) respectivamente. O tempo de moagem foi de 30 minutos, a etapa de beneficiamento foi realizada no laboratório de solos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande.



Figura 3.2- Moinho de Galga



Figura 3.3-Peneira vibratória

3.2.2 CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA

A caracterização física foi feita através da análise granulométrica por tamanho de partículas à laser e pelas características de plasticidade. A caracterização mineralógica foi realizada análise química (AQ), análise térmica diferencial (ATD), análise termogravimétrica (ATG) e pela difração de raios-X (DRX).

3.2.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Para a determinação da distribuição do tamanho de partículas foi usado um Granulômetro marca CILAS – 1064L, instalado no laboratório do DEMa/CCT/UFPG.

3.2.4 LIMITES DE ATTERBERG

Os limites de Atterberg foram determinados segundo as normas da ABNT NBR 6459b (1984) e NBR 7180a (1984), destinada a solos e foi realizado no Laboratório de Engenharia de Materiais (DEMa) do CCT/UFPG.

3.2.5 ANÁLISE QUÍMICA

A análise química fornece dados fundamentais de grande utilidade industrial e científica, apesar de não permitir uma avaliação completa da composição mineralógica e das propriedades físico-mecânicas e tecnológicas.

A massa foi submetida à análise química segundo métodos do Laboratório de Análise Mineraiis (LAM) do CCT/UFCG (2004).

3.2.6 ANÁLISES TÉRMICAS

O método de análise térmica diferencial associada à termogravimétrica (ATD/ATG) consiste no aquecimento, em velocidade constante, da amostra juntamente com um substancia termicamente inerte (Al_2O_3) registrando as diferenças de temperatura entre o padrão inerte e a amostra em estudo. Quando ocorrem transformações endotérmicas ou exotérmicas, estas aparecem como deflexões em sentidos opostos na curva termodiferencial ou termograma. A análise foi realizada em aparelhagem de análises térmicas RB – 300 da BP Engenharia (Figura 3.4), do laboratório do DEMa/CCT/UFCG, foi utilizado velocidade de aquecimento de $12,5^\circ C/min$ até a temperatura máxima de $1000^\circ C$.



Figura 3.4 - Aparelhagem de análises térmicas

3.2.7 DIFRAÇÃO DE RAIOS -X

O método mais utilizado para determinar a composição mineralógica das matérias-primas cerâmicas é a difração de raios-X. Esse método consiste em fazer incidir um feixe de raios-X, previamente colimado e de comprimento de onda conhecido, sobre uma lamina de pó, que gira no centro do goniômetro.

Foram usadas amostras secas a 110°C por 24 horas e sinterizadas nas seguintes temperaturas 800°C, 900°C, 1000°C e 1100°C, ambas foram passada em peneira ABNT nº 200 (0,074 mm).

A difração de raios-X da argila foi realizada em um difratômetro XRD-6000 da Shimadzu (Figura 3.3), pertencente ao Laboratório de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, com tubo de cobre, tensão de 40 kV e corrente de 40 mA. O ângulo de varredura variou de 5 a 80° a uma velocidade de 2°/min.

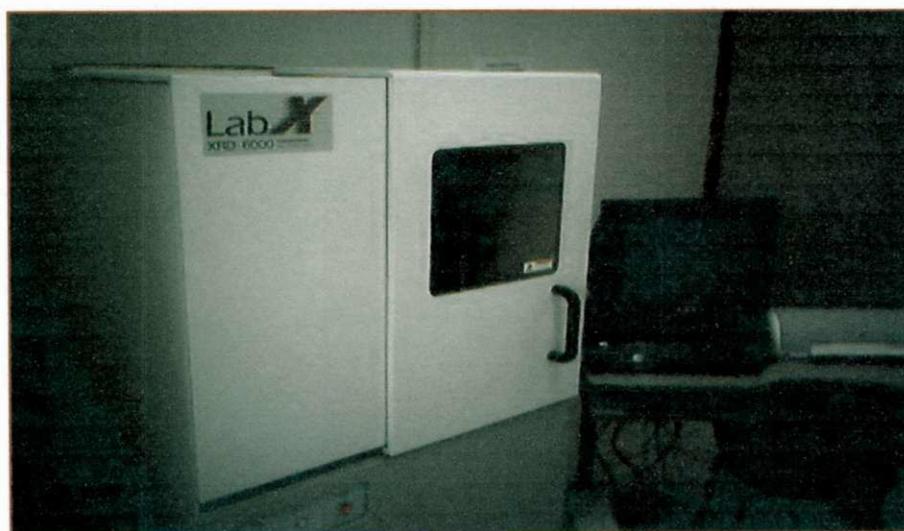


Figura 3.5 – Difratômetro de raios-X

3.2.8 PREPARAÇÃO DA MASSA PARA ENSAIOS TECNOLÓGICOS COMPLETOS

A argila após beneficiamento (massa natural), teve sua umidade corrigida para que apresentasse consistência adequada para os diferentes processos de

conformação estudados. A umidade de prensagem foi de 10%, a de extrusão foi de 21%.

3.2.9 PREPARAÇÃO DA MASSA PARA REVESTIMENTOS CERAMICOS

A umidade de laminação, usando a massa natural foi corrigida para 18%, 19%, 20% e 21%. Para a formulação da massa foi usado o software REFORMIX 2.0 desenvolvido pelo Departamento de Engenharia de Materiais, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), com o auxílio do resultado da análise química da argila, onde foram determinados os percentuais de caulim, calcita e argila como mostra a Tabela 3.1.

Tabela 3.1- Composição da massa formulada

Argila (% em peso)	Caulim (% em peso)	Calcita (% em peso)
50	35,78	14,22

Os componentes da massa foram misturados a seco durante 40 minutos. Para a preparação da massa a úmido (massa natural e a massa formulada), a massa foi submetida à etapa de mistura. Nesta etapa foi utilizado um misturador do tipo planetário com velocidade de 120rpm para a realização da mistura a frio. Em seguida a massa foi acondicionada em sacos plásticos por 24 horas para melhor distribuição da umidade e plasticidade.

3.2.10 CONFORMAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

A realização dos ensaios preliminares da argila para uso em cerâmica vermelha, realizados em laboratório, foram feitos através de corpos de prova de perfil retangular de (6,0 x 2,0 x 0,5) cm³, moldados sob pressão de 200 Kgf/cm² em massa semi-seca. Com esses corpos de prova foi possível verificar a cor de

queima e determinar às propriedades físico-mecânicas da argila a verde e após sinterização.

Para a realização dos ensaios completos, visando à aplicação da argila na conformação de blocos cerâmicos, telhas e pisos cerâmicos, foram moldados corpos de prova por prensagem e extrusão.

Os corpos de prova prensados foram moldados com dimensões (12,0 x 6,0 x 0,5)cm³, com umidade de 10% e uma pressão de 200 kgf/cm².

Foram extrudados corpos de prova, em forma de barras prismáticas de dimensões de (10 x 2,0 x 1,0)cm³, a umidade de extrusão foi de 21%, e a velocidade linear de extrusão usada foi de 8cm/seg. A extrusão da massa cerâmica foi realizada em extrusora modelo 51 da marca VERDÊS do laboratório de Engenharia de Materiais do DEMa/CCT/UFCG.

Para a realização dos estudos comparativos, visando à aplicação da argila na conformação de placas cerâmicas foram preparados corpos de prova laminados com os seguintes teores de umidades (18, 19, 20, e 21)% e dimensões de aproximadamente (8,0 X 4,5 X 0,4)cm³. Foi usado um cilindro laminador modelo G. Paniz. A velocidade de laminação usada foi de 10rpm. Foram prensados corpos de prova com dimensões (12,0 x 6,0 x 0,5)cm³ usando massa natural e usando a massa formulada. A umidade usada em ambos os casos foi de 10%.

Em ambos os casos, os corpos de prova prensados, com massa natural e massa formulada foram prensados em prensa Losenhausen com capacidade de 20t, do laboratório do Departamento de Engenharia Civil/CCT/UFCG.

3.2.11 SECAGEM

Após a conformação os corpos cerâmicos prensados, laminados e extrudados foram mantidos em repouso, à temperatura ambiente e em seguida foram secos em estufa de laboratório a 110°C por um período de 24 horas.

3.2.12 QUEIMA

O ciclo de queima foi dividido em duas etapas. Na primeira etapa, visando a aplicação da argila em blocos cerâmicos e telhas, os corpos de prova, em número de seis, após secagem foram sinterizados em forno elétrico em atmosfera oxidante, nas temperaturas de 800°C, 900°C, 1000°C e 1100°C, com duração de oito horas e um patamar de duas horas, totalizando dez horas.

E na segunda etapa, visando a aplicação em placas cerâmicas foi realizada queima rápida com uma taxa de aquecimento de 20°C/min. Em temperaturas de 1000 °C, 1100 °C e 1150°C. O resfriamento em ambos os casos foram realizado no próprio forno. Foram utilizados um forno elétrico de queima lenta da marca JUNG, com temperatura máxima de 1300°C, e um forno elétrico de queima rápida da marca MAITEC, com temperatura máxima de 1280°C, como mostra a Figura 3.6.

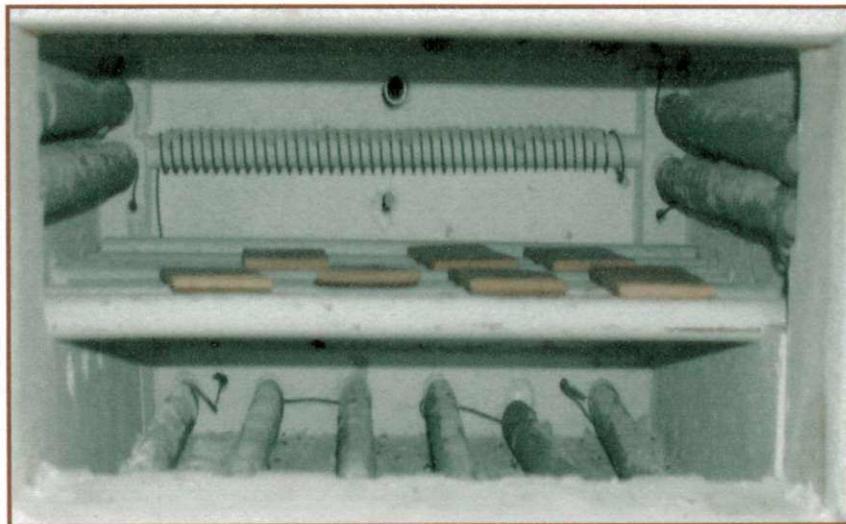


Figura 3.6-Forno de queima rápida

3.2.13 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DOS CORPOS CERÂMICOS.

Após a sinterização nas temperaturas citadas, os corpos de provas foram submetidos aos seguintes ensaios cerâmicos: retração linear de queima (RL) absorção de água (AA), porosidade aparente (PA), tensão de ruptura a flexão (TRF) e massa específica aparente (MEA).

As características físicas das amostras foram determinadas segundo a metodologia proposta por SOUZA SANTOS (1992), por BARZAGHI e SALGE, (1982), e através da Norma ISO 10545/ABNT 13818. A retração linear foi avaliada mediante variação dimensional com a temperatura. A tensão de ruptura a flexão foi determinada pelo ensaio de flexão em três pontos, utilizando uma máquina universal de ensaios Testomic 350, modelo Goodbrand, operando a uma velocidade 0,5 mm/min. Os ensaios foram realizados no laboratório de Engenharia de Materiais do DEMa/CCT/UFCG.

3.2.14 ENSAIOS PRELIMINARES

A Figura 3.7 apresenta o fluxograma dos ensaios preliminares.

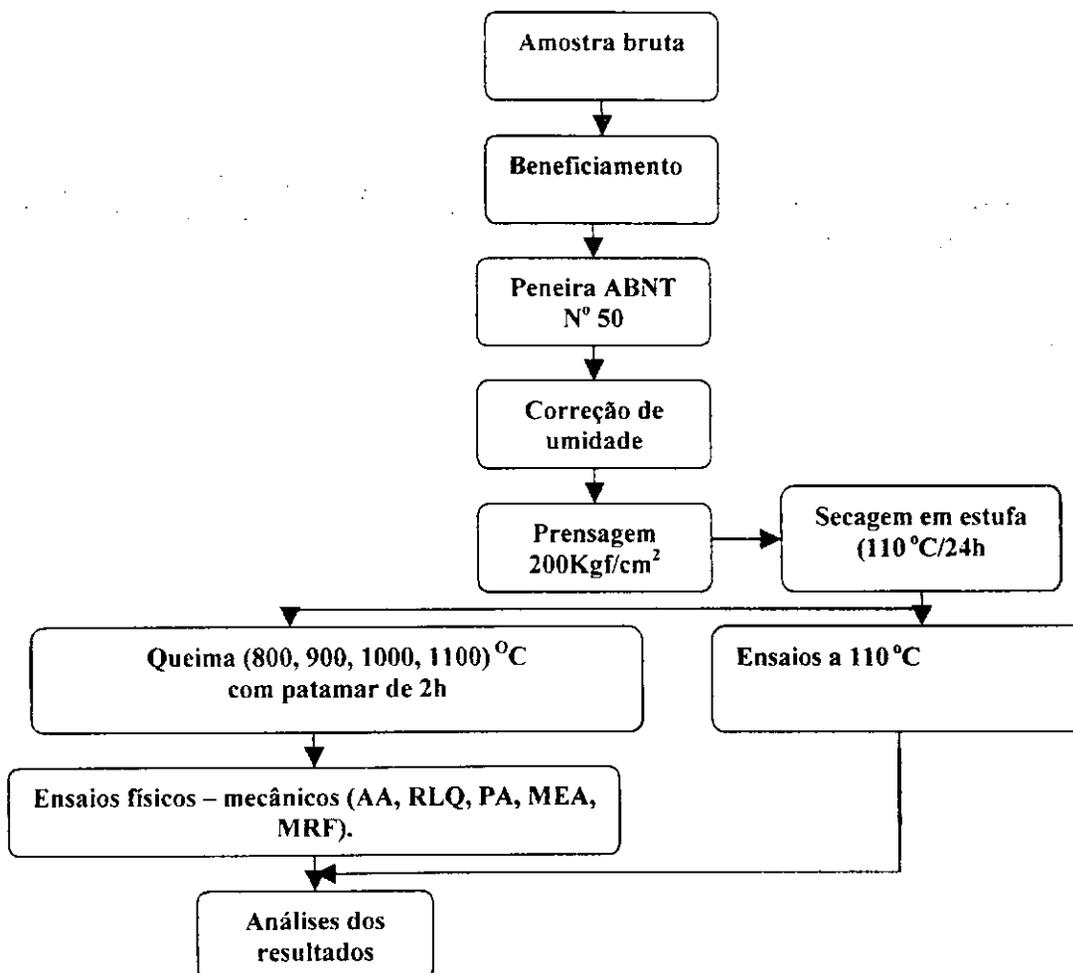


Figura 3.7 - Fluxograma dos ensaios preliminares

3.2.15 FLUXOGRAMA DO DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

A Figura 3.8a e 3.8b apresenta os fluxogramas do desenvolvimento experimental utilizado no trabalho. São apresentadas as etapas detalhadas da caracterização tecnológica completa Figura 3.8a, e dos estudos comparativos entre placas laminadas e prensadas Figura 3.8b, usando massa natural e massa formulada.

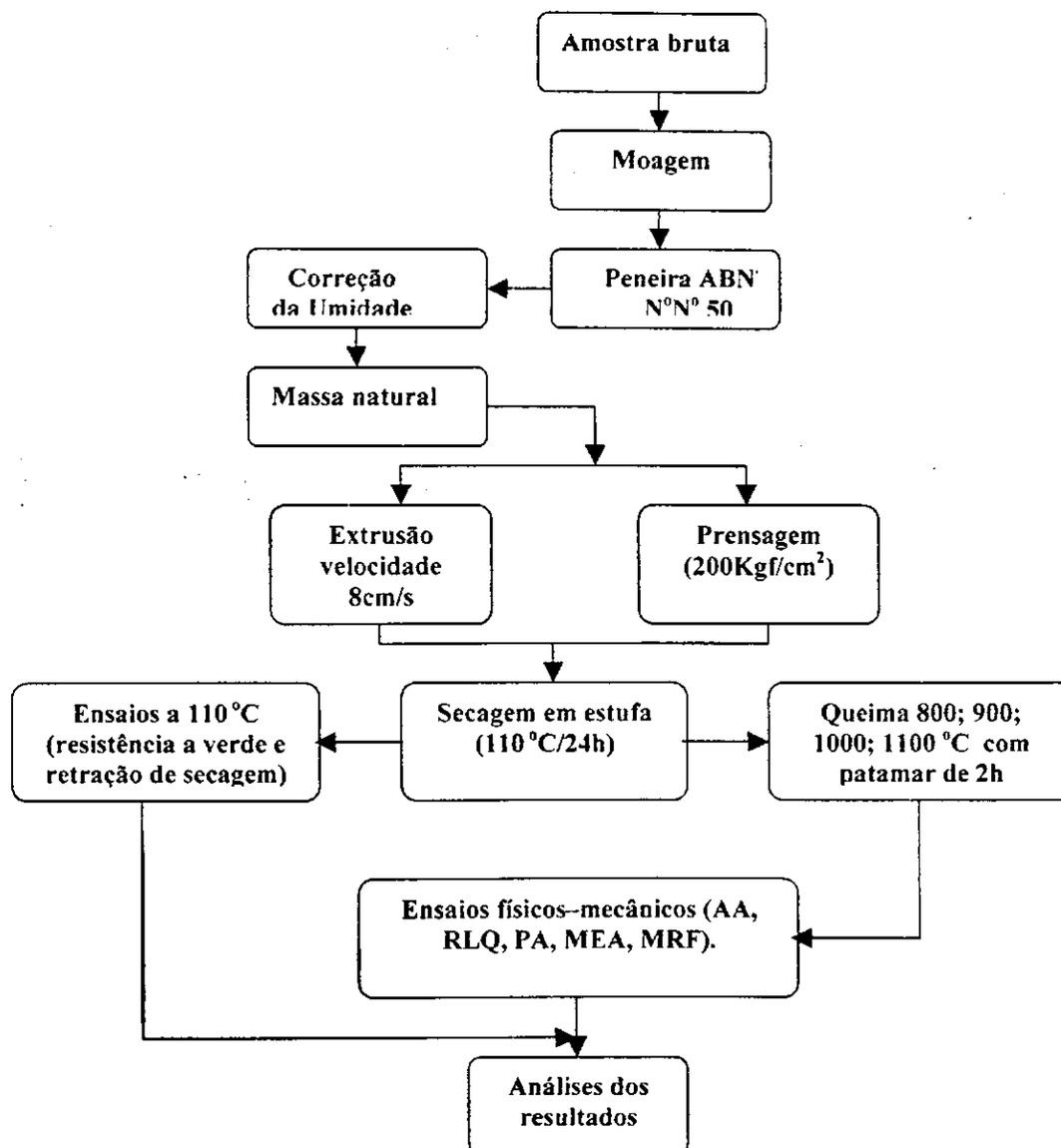


Figura 3.8a - Fluxograma da caracterização tecnológica completa usando massa natural

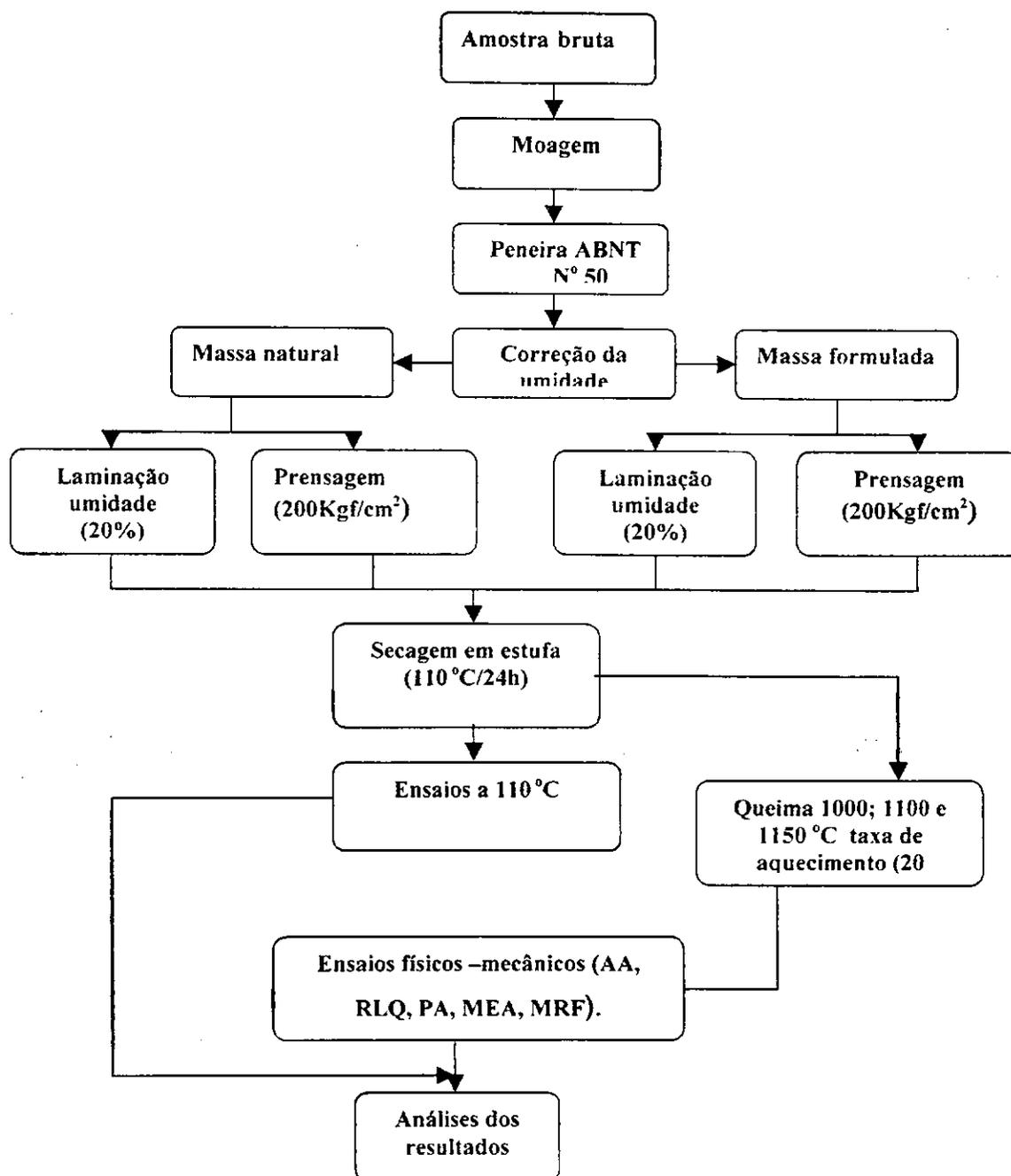


Figura 3.8b- Fluxograma do estudo comparativo entre as placas laminadas e prensadas usando massa natural e massa formulada

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MINERALÓGICA DA ARGILA

A Tabela 4.1 apresenta os valores obtidos para os índices de Atterberg (LL, LP, IP) da argila em estudo.

Tabela 4.1 – Limite de Liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade.

Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Índice de Plasticidade (%)
35	18,8	16,2

Observou-se que o limite de liquidez (LL) da argila foi de 35%, o limite de plasticidade (LP) 18,8%, e o índice de plasticidade foi de 16,20%. Esses valores são considerados apropriados para que uma massa cerâmica possa ser moldada por extrusão. Pois o limite de plasticidade encontra-se entre 15-25, e o índice de plasticidade entre 10-35 (VIEIRA 2000).

Na Figura 4.1 são apresentados os valores referentes aos tamanhos de partículas da massa utilizada neste trabalho.

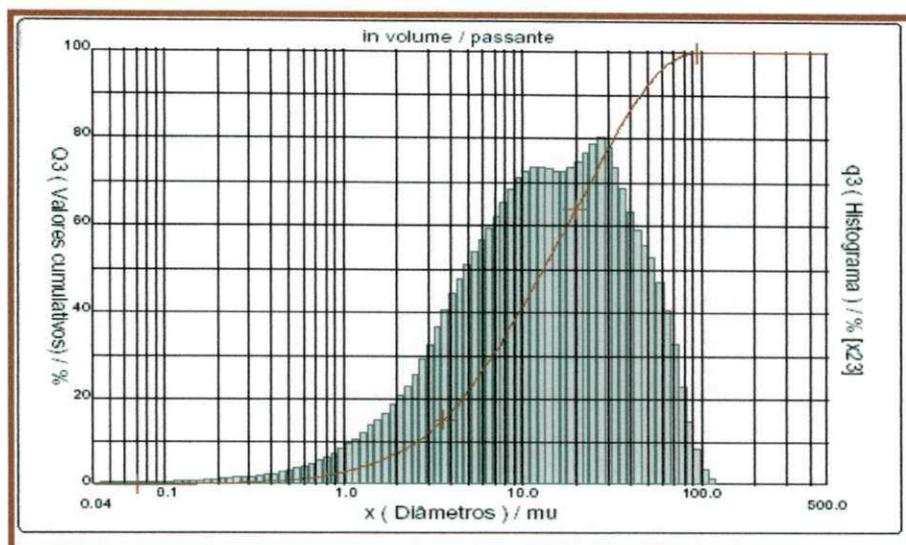


Figura 4.1- Análise granulométrica da argila estudada

Observou-se um percentual da fração argila, partículas menores que $2\mu\text{m}$, foi de 7,24% a fração de “silte” partículas entre (2 e $20\mu\text{m}$) foi de 56,56% e a fração “areia” partículas com diâmetro superior a $20\mu\text{m}$ de 36,20%. O percentual obtido da fração argila encontra-se abaixo dos valores proposto, isso pode ser atribuído ao método empregado que foi diferente do proposto por Sousa Santos (1992).

4.2 ANÁLISE QUÍMICA

A Tabela 4.2 apresenta à composição química da argila utilizada neste trabalho.

Tabela 4.2 - Composição química da argila

COMPONENTES	RI	PR	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
(%em peso)	1,10	7,82	52,70	7,58	23,97	0,56	4,04	0,62	1,25

De acordo com a Tabela 4.2, nota-se um teor elevado de sílica (SiO₂), onde o mesmo corresponde a 52,70%, provenientes dos minerais argilosos e da sílica livre. O valor da alumina (Al₂O₃), presente na argila é de 23,97% e esta

relacionado com o percentual de caulinita. Alumina aumenta a refratariedade da argila. Os percentuais de óxido de sódio (Na_2O) e óxido de potássio (K_2O), presentes na argila foram de 0,62% e 1,25%, respectivamente os mesmos atuam como fundentes na massa cerâmica e são fundamentais para a fabricação de corpos cerâmicos de baixa porosidade. O percentual de óxido de ferro (Fe_2O_3) presente na argila foi de 7,58%, o mesmo atua reduzindo o ponto de fusão da argila e na coloração vermelha da argila após a queima devida principalmente da oxidação dos compostos de ferro, que ao final apresentam-se sob a forma de óxido férrico. O teor do óxido de magnésio pode ser um indicio da presença de argilominerais do grupo da mica.

A percentagem de perda ao rubro foi de 7,82%, essa perda ocorre devido aos diversos tipos de água presentes na argila, matéria orgânica e substâncias voláteis.

4.3 DIFRAÇÃO DE RAIOS X

A Figura 4.2 apresenta o difratograma obtido para a massa natural utilizada neste trabalho após secagem a 110°C e sinterizada nas temperaturas de 800°C , 900°C , 1000°C e 1100°C .

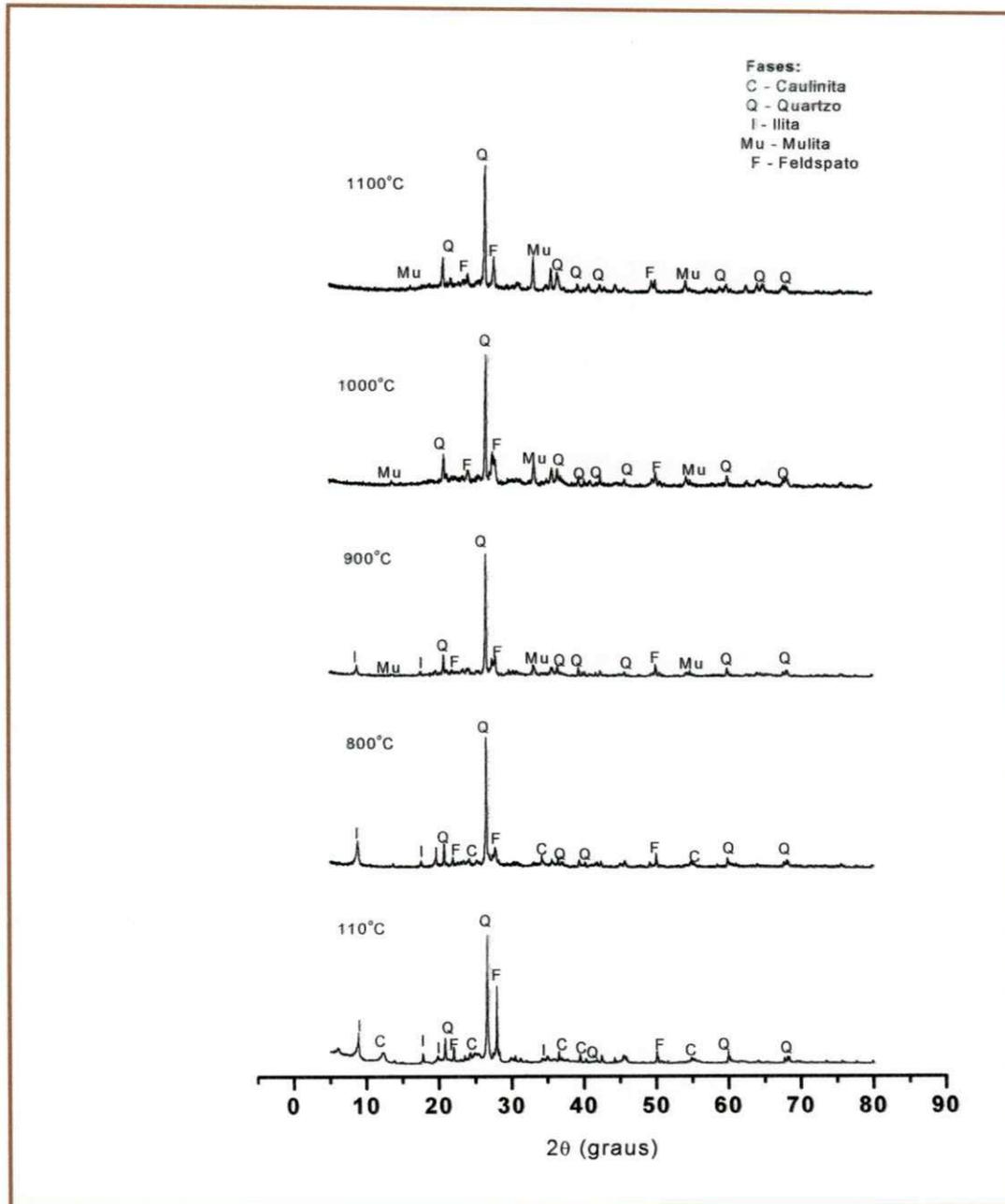


Figura 4.2- Difração de Raios X da argila seca a 110°C e sinterizada a 800 °C, 900 °C, 1000 °C e 1100°C

Observou-se que para massa natural seca a 110 °C, os picos característicos da presença de ilita, caulinita, quartzo, feldspato. A presença desses compostos químicos é de grande importância na composição de uma argila, pois exercem

funções ao longo de todo o processamento influenciando nas características finais do produto cerâmico.

Analisando o difratograma da argila sinterizada a 800°C, observou-se ainda a presença de picos característicos da ilita, quartzo, feldspato e caulinita. As reações entre o quartzo (SiO_2), o óxido de cálcio, (CaO), e a alumina (Al_2O_3) procedentes da decomposição dos minerais argilosos constituem a fase mulita ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$). A fase mulita foi identificada quando a argila foi submetida a sinterização nas temperaturas de 900°C, 1000°C, e 1100°C. A presença da mulita no produto final indica que o mesmo foi queimado de forma adequada. A mulita é quimicamente resistente e sua estrutura cristalina proporciona uma melhoria na resistência mecânica das peças cerâmicas.

4.4 ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL (ATD) E ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (ATG)

A Figura 4.3 mostra as curvas obtidas da análise termodiferencial (ATD) e termogravimétrica (ATG) da argila.

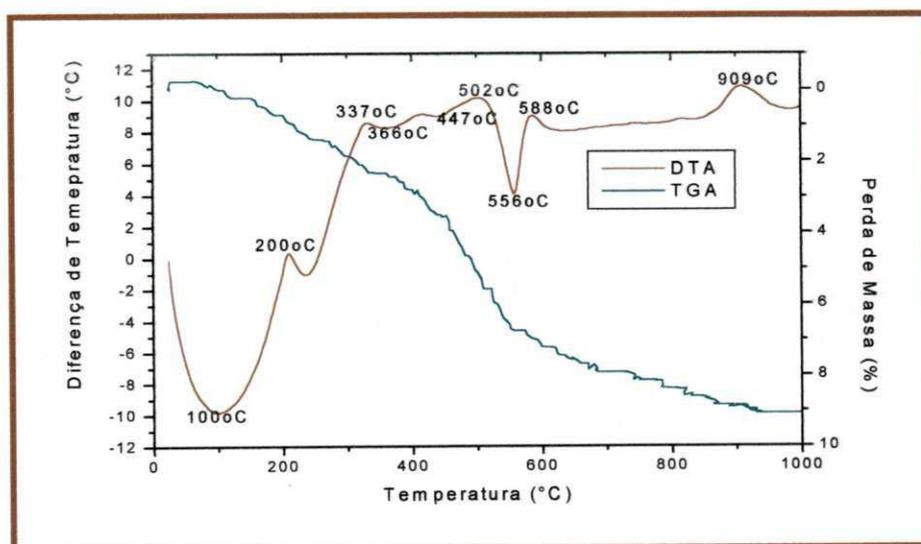


Figura 4.3 - Análise termodiferencial e termogravimétrica da argila.

Na análise térmica diferencial observou-se as seguintes transformações: um pico endotérmico que ocorre entre 110°C e 200°C característica de água livre e água adsorvida. Uma banda exotérmica foi observada entre as temperaturas de 200°C e 502°C, típica do alto teor de matéria orgânica. Foram observados dois pequenos picos endotérmicos (366°C e 447°C) os quais correspondem as presenças de hidróxido de cálcio e magnésio. É observado um pico endotérmico que inicia 502°C e tem sua intensidade máxima a 566°C, característico da presença de hidroxilas. Outro pico exotérmico foi observado na temperatura de 588°C, pico este devido a presença da grafite. Na temperatura de 909°C observou-se um pico exotérmico, este pico ocorre provavelmente devido à nucleação da mulita.

Analisando a curva termogravimétrica (ATG) da argila (Figura 4.3) verificou-se uma perda de massa total de 9,0%. Constata-se na faixa de temperatura compreendida entre 100°C e 200°C uma perda de massa correspondente a 1,0%, característico da perda de água. Na faixa de temperatura compreendida entre 200°C e 600°C verifica-se uma perda de massa provavelmente devido à perda de matéria orgânica e hidroxilas que corresponde a 6,8% da massa total. Nas temperaturas de 600°C e 800°C observa-se uma perda de massa referente perda da grafite que corresponde a 1,2 % da massa total.

4.5 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA PRELIMINAR

A Tabela 4.3 apresenta as cores dos corpos de prova secos a 110°C e queimados a 800°C, 900°C, 1000°C e 1100°C. Após comparação com os padrões de cores das argilas brasileiras, SOUSA SANTOS (1992), tomadas como referência nota-se que a argila estudada é adequada para ser utilizada na fabricação de produtos de cerâmica vermelha, pois a mesma apresentou coloração vermelha em toda as faixas de temperatura usada, devido ao alto teor de ferro presente, observado anteriormente na análise química.

Tabela 4.3 - Cor dos corpos cerâmicos após secagem e queima

Temperatura (°C)	Cores
110	Cinza
800	Vermelho claro
900	Vermelho
1000	Vermelho escuro
1100	Marrom escuro

Na Figura 4.4, estão apresentados os resultados da retração em função da temperatura de queima.

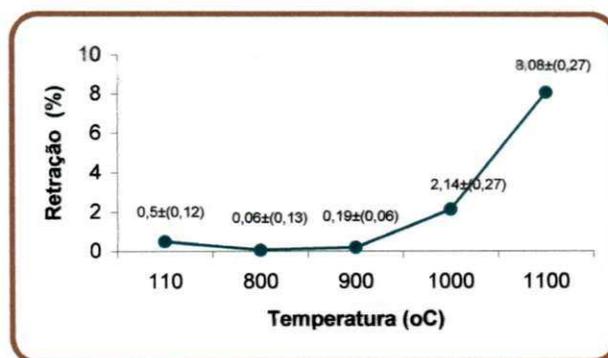


Figura 4.4 - Retração linear em função da temperatura

Uma análise conjunta dos resultados mostrou um aumento na retração em função da temperatura. Observou-se que ocorreu uma retração mínima após queima nas temperaturas de 800°C e 900°C, essa baixa retração deve-se provavelmente a pouca formação de fase líquida, que depende da composição química da argila e da temperatura de queima.

Uma elevada retração foi observada a partir da temperatura de 1000°C, esse fato pode ser atribuído à formação da fase líquida que reflete em uma maior retração. Para a retração linear de queima não há valor especificado na literatura consultada.

As Figuras 4.5 e 4.6 apresentam os resultados da absorção de água e da porosidade aparente em função da temperatura de queima.

Comparando os valores obtidos com os propostos por SOUZA SANTOS (1992), onde a absorção de água deve apresentar valores entre 0% a 25%, e porosidade aparente entre 5 e 35%, observou-se que os valores determinados encontram entre dos valores especificados.

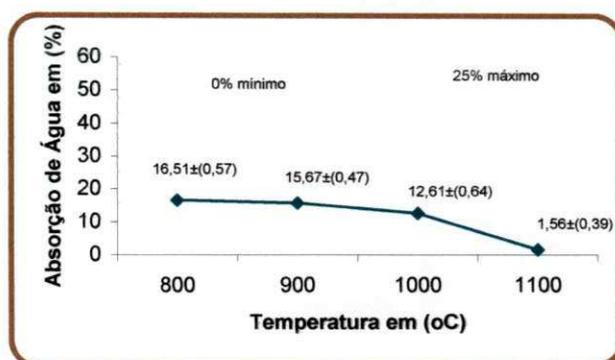


Figura 4.5 – Absorção de água em função da temperatura

De acordo com os dados obtidos, verificou-se que os corpos cerâmicos apresentaram valores máximos para absorção de água (Figura 4.5), e porosidade aparente (Figura 4.6), para as temperaturas de 800°C e 900°C. Já entre as temperaturas de 1000°C e 1100°C esses valores mostraram uma redução significativa principalmente quando sinterizados a 1100°C. Tal comportamento pode também estar relacionado com a formação de fase líquida. Na maioria das argilas, a fase líquida começa a ser formada na temperatura de 1000°C.

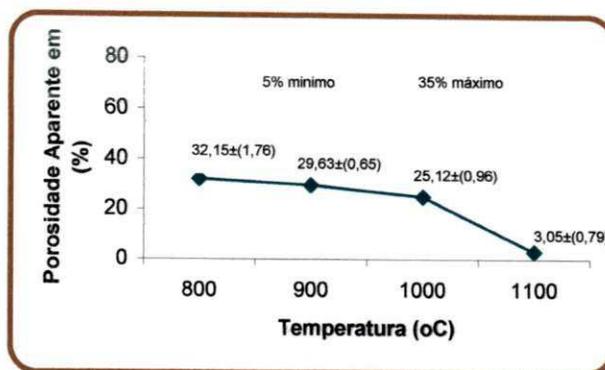


Figura 4.6 – Porosidade aparente em função da temperatura

As Figuras 4.7 e 4.8 apresentam os valores da massa específica aparente e da tensão de ruptura à flexão em função da temperatura.

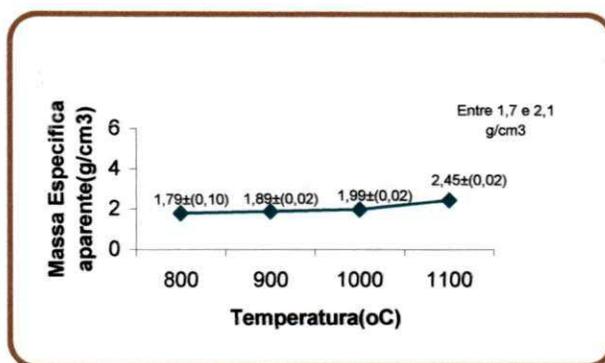


Figura 4.7 - Massa específica aparente em função da temperatura

Comparando os valores obtidos para o módulo de ruptura à flexão e a massa específica aparente com os valores propostos por SOUSA SANTOS (1992), que variam de 6,0 a 31,0 MPa para o módulo de ruptura e de 1,7 a 2,1 g/cm³, para a massa específica aparente, para que uma argila possa ser usada em cerâmica vermelha, observou-se que os valores obtidos tanto para o módulo como para a massa específica aparente encontram-se entre os valores proposto.

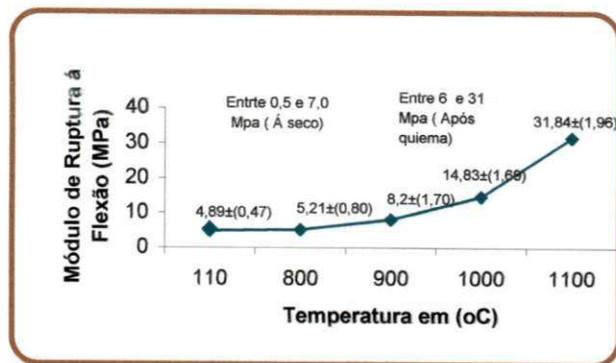


Figura 4.8 - Módulo de ruptura à flexão em função da temperatura

Foi observado um aumento na massa específica aparente (Figura 4.7) e na resistência à flexão (Figura 4.8), com o acréscimo da temperatura, o que está relacionado com a diminuição da porosidade e maior grau de densificação dos corpos cerâmicos. Este comportamento pode estar relacionado a uma maior densificação que aumenta a coesão entre as partículas, fato que se traduz em um maior grau de sinterização e, conseqüentemente, no aumento da resistência mecânica. A composição química da massa também influenciou na densidade do corpo cerâmico, pois os compostos fundentes presentes na massa ajudaram na formação de uma maior quantidade de fase líquida durante a sinterização, como é observado nas temperaturas de 1000°C e 1100°C. O líquido fundido que se forma, preenche os poros entre as partículas mais refratárias (que ainda não se fundiram). Quanto mais elevada a temperatura e o tempo, mais completas serão essas reações.

4.6 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA COMPLETA

4.6.1 ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS CORPOS DE PROVA EXTRUDADOS E PENSADOS

A Figura 4.9 apresenta os corpos de prova prensados com dimensões de 12,0 x 6,0 x 0,5cm³ usando massa natural. A coloração cinza dos corpos de prova após secagem ocorreu devido à presença da matéria orgânica. Já a coloração vermelho claro e vermelho escuro apresentadas nos corpos de prova sinterizados

a 800, 900 e 1000°C, deve-se a uma maior formação de hematita no corpo cerâmico, pois os compostos de ferro se transformam em hematita quando a argila é sinterizada em atmosfera oxidante a temperaturas superiores a 400°C. Com o aumento da temperatura à hematita provavelmente reduziu-se à FeO (Wustita) e Fe₃O₄ (magnetita) de cor preta na temperatura de 1100 °C (BARBA, 1997).



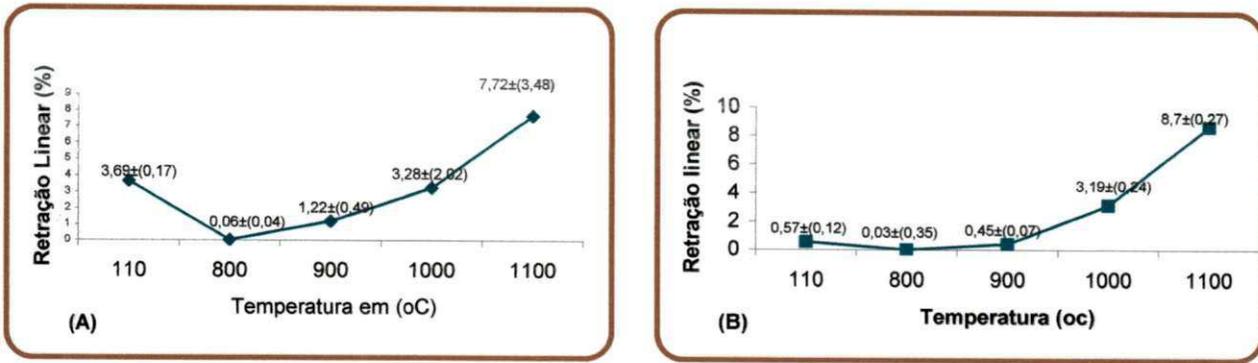
Figuras 4.9 – Corpos de prova prensados e sinterizados a 800°C, 900°C, 1000°C e 1100°C.

As Figuras 4.10a e 4.10b apresentam os valores referentes à retração linear em função da temperatura para os corpos de prova extrudados e prensados.

A retração linear variou de $0,06 \pm (0,04)$ a $7,72 \pm (3,48)$ para os corpos de prova extrudados. Para os corpos de prova prensados variou de $0,03 \pm (0,35)$ a $8,7 \pm (0,27)$ para as temperaturas de 800°C a 1100°C, respectivamente.

Observou-se que ocorreu um aumento na retração linear de queima com o acréscimo da temperatura para os corpos de prova extrudados e prensados. Isso pode ser atribuído ao maior grau de sinterização, o que se reflete no aumento da retração. As mudanças químicas ocorridas durante a sinterização provocam mudanças físicas, e o volume total do corpo cerâmico diminui.

Comparando os valores da retração linear dos corpos de prova extrudados com os prensados, observou-se que os corpos de prova prensados apresentaram menor retração em todas as faixas de temperatura de sinterização. O menor teor de umidade usado na conformação por prensagem favoreceu a melhor estabilidade dimensional apresentadas pelos corpos de prova prensados.



Figuras 4.10a e 4.10b - Retração linear em função da temperatura (extrudados (A), prensados (B))

As Figuras 4.11a e 4.11 b apresentam os valores da absorção de água dos corpos cerâmicos extrudados e prensados em função da temperatura.

Comparando esses valores com os valores limites preconizados em laboratórios para argilas vermelhas por Barzaghi e Salge (1982), observou-se que a argila em estudo pode ser utilizada para cerâmica vermelha na confecção de blocos cerâmicos por apresentar absorção de água inferior a 25% e telhas por apresentar absorção de água inferior a 20%.

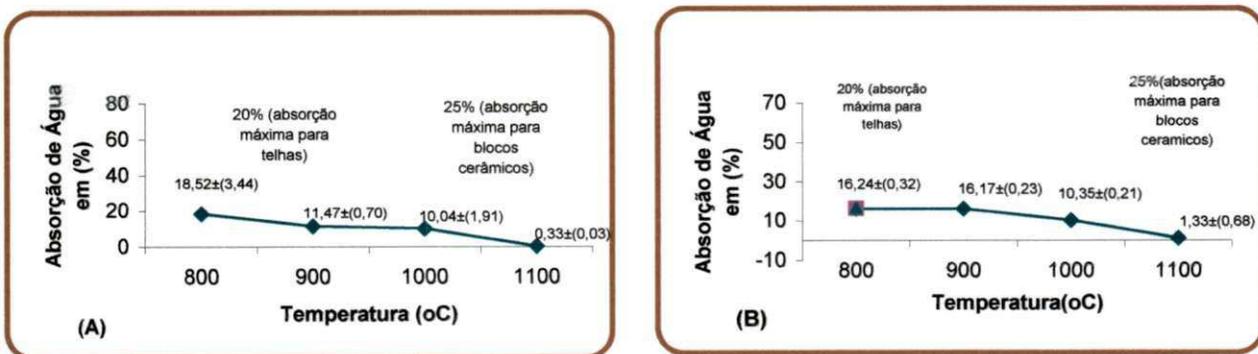


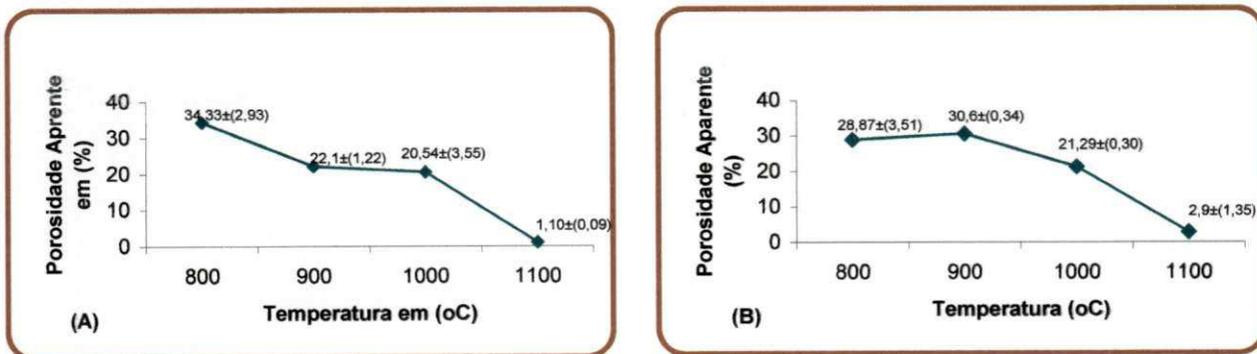
Figura 4.11a e 4.11b - Absorção de água em função da temperatura (extrudados (A), prensados (B))

Analisando os resultados obtidos, verificou-se que os valores da absorção de água para os corpos de prova extrudados (Figura 4.11a), variou de 18,52±(3,44) a 0,33±(0,03), e para os corpos de prova prensados (Figura 4.11b),

os valores da absorção de água variaram de $16,24\pm(0,32)$ a $1,33\pm(0,68)$ respectivamente.

Comparando os valores da absorção de água entre os corpos de prova obtidos pelo processo de extrusão e prensagem, verificou-se que os corpos de prova prensados apresentaram uma maior absorção de água em todas as faixas de temperatura de sinterização exceto a 800°C , isso pode ser explicado pelo aumento nas dimensões do corpo de prova a essa temperatura. Na temperatura de 900°C a 1100°C , a maior absorção de água dos corpos prensados pode ser atribuído provavelmente a menor pressão de conformação e a maior porosidade e conseqüentemente, uma maior absorção de água no corpo cerâmico.

As Figuras 4.12a e 4.12b apresentam os valores da porosidade aparente dos corpos cerâmicos extrudados e prensados em função da temperatura de sinterização. Para os corpos de prova extrudados (Figura 4.12a), a porosidade aparente atingiu seu valor mínimo $1,10\pm(0,09)$, na temperatura de 1100°C . O mesmo ocorreu para os corpos de prova prensados (Figura 4.12b), onde a porosidade aparente atingiu seu valor mínimo $2,9\pm(1,35)$, na mesma temperatura de sinterização.



Figuras 4.12a e 4.12b - Porosidade aparente em função da temperatura (extrudados (A), prensados (B))

Observando os valores da porosidade aparente, observou-se que em ambos os tipos de conformação extrusão e prensagem os corpos de prova sofreram uma redução gradual da porosidade aparente à medida que a temperatura aumentou.

Os valores observados para a porosidade aparente, nas temperaturas de 800°C a 1000°C, devem-se provavelmente a baixa quantidade de fase líquida formada.

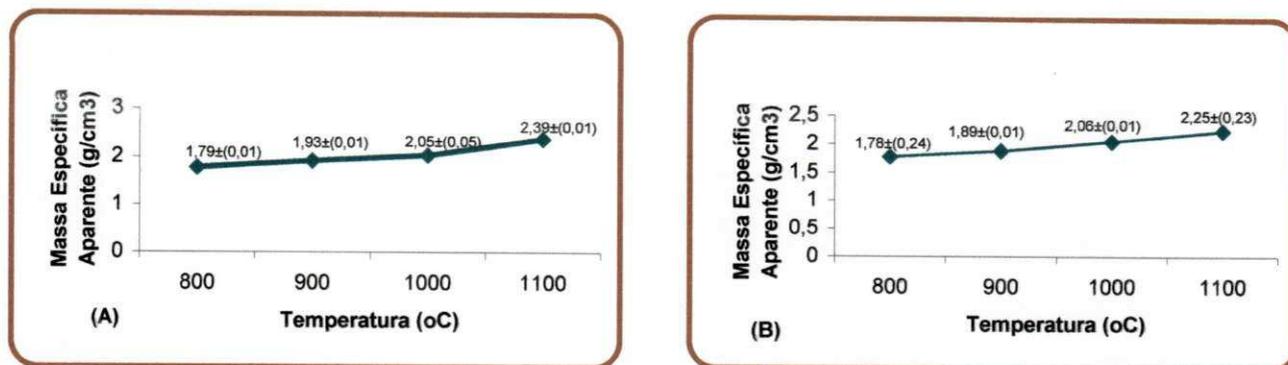
A porosidade elevada também pode ser atribuída a presença de matéria orgânica que favorece a formação de poros no corpo cerâmico devido a desgaseificação durante a sinterização.

Observou-se que, para a temperatura de 1100°C ocorreu uma significativa redução da porosidade aparente mínima. Isso ocorre provavelmente devido à fase líquida formada que é favorecida pela temperatura e pelo tempo de sinterização. A fase líquida preenche os poros no corpo cerâmico, tornando-o mais compacto, reduzindo a porosidade.

Comparando os valores da porosidade aparente entre os corpos de prova obtidos pelo processo de extrusão e prensagem, observou-se que os corpos de prova prensados apresentaram uma maior porosidade aparente em praticamente todas as faixas de temperatura de sinterização, isso pode ser atribuído provavelmente, as variáveis de operação (pressão de compactação, umidade) dos diferentes processos. No processo de extrusão o teor de umidade e a orientação preferencial das partículas durante a extrusão exerceram influência sobre esta propriedade.

Nas Figuras 4.13a e 4.13b são apresentados os resultados da massa específica aparente dos corpos de prova extrudados e prensados em função da temperatura.

Observou-se que um valor máximo de $2,39 \pm (0,01)$, foi atingido para a massa específica aparente para os corpos de prova extrudados (Figura 4.13a), e para os corpos de prova prensados (Figura 4.13b) o valor máximo foi de $2,25 \pm (0,23)$.



Figuras 4.13a e 4.13b – Massa específica aparente em função da temperatura (extrudados (A), prensados (B))

Observou-se, que nos corpos de prova obtidos pelos diferentes tipos de conformação extrusão e prensagem ocorreu um acréscimo na massa específica aparente, à medida que a temperatura aumentou, esse aumento na massa específica aparente é consequência também das reações que ocorrem durante a sinterização. O baixo teor de umidade dos corpos de prova prensados provavelmente não favoreceu um bom empacotamento das partículas devido a baixa deformação sofrida pelos grânulos durante a etapa de prensagem.

Nas Figuras 4.14a e 4.14b são mostrados os resultados do módulo de ruptura à flexão dos corpos de prova extrudados e prensados em função da temperatura de sinterização.

Observou-se que o módulo de ruptura para os corpos de prova extrudados (Figura 4.14a) atingiu seu valor máximo de $36,71 \pm (2,63)$ na temperatura de 1100°C . O mesmo ocorreu para os corpos de prova prensados (Figura 4.14b) que tiveram seu valor máximo de $42,1 \pm (4,33)$, atingidos na mesma temperatura.

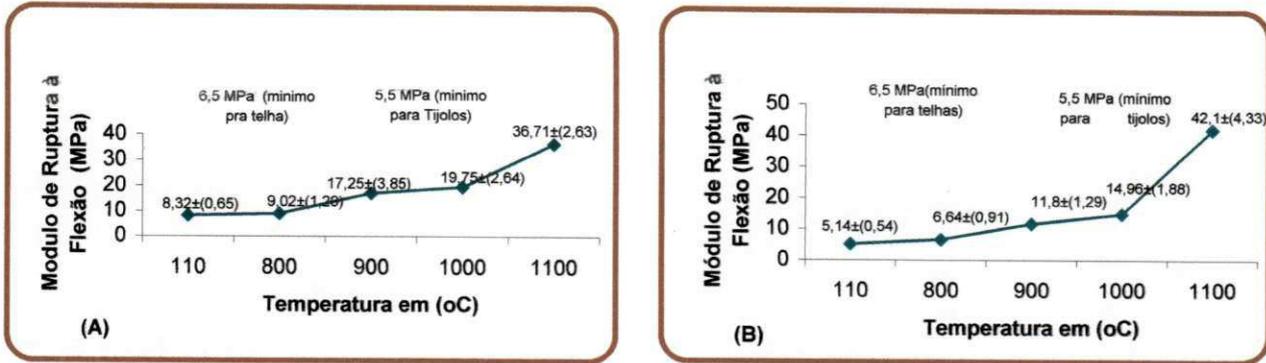


Figura 4.14a e 4.14b – Módulo de ruptura à flexão em função da temperatura (extrudados (A), prensados (B))

A análise conjunta das propriedades físico-mecânicas dos corpos de prova secos a 110°C e sinterizados mostraram que os valores obtidos da resistência à flexão encontraram-se entre os propostos por Barzaghi e Salge (1982). Observou-se também que a argila em estudo atinge os valores mínimos especificados para a fabricação de blocos cerâmicos e telhas pelos processos de extrusão e prensagem, que são de 5,5MPa e 6,5MPa, respectivamente. Esses valores são atingidos já a partir da sinterização a 800°C.

A elevada resistência à seco e após queima (Figuras 4.14a e 4.14b), deve-se, ao teor de umidade que aumenta a plasticidade do material tornando os grãos mais deformáveis, que passam a ocupar os espaços vazios que havia entre eles, e a parâmetros de processo como: elevada pressão de conformação e a orientação preferencial que as partículas assumem.

Além dos fatores citados acima, a resistência mecânica da peça aumenta à medida que aumenta a área efetiva de contato entre os aglomerados e a força de adesão entre estes, por outro lado a resistência diminui à medida que aumenta o tamanho dos aglomerados que compõem a massa.

Comparando os valores numéricos do módulo de resistência à flexão para os corpos de prova extrudados e prensados, observou-se que ocorreu um acréscimo no módulo de resistência à flexão com o aumento da temperatura. Observou-se também que os corpos de prova extrudados apresentaram um pequeno aumento com relação aos corpos de prova prensados. O aumento no

módulo de ruptura à flexão está de acordo com os valores obtidos para a porosidade aparente e a absorção de água. As variáveis de processamento que contribuíram para a baixa porosidade aparente e a baixa absorção de água dos corpos de prova extrudados em relação aos prensados também contribuíram para a elevação do módulo de ruptura.

4.7 PLACAS CERAMICAS PARA REVESTIMENTO LAMINADAS E PENSADAS

Inicialmente foi realizada a sinterização das placas laminadas e pensadas usando massa natural, nas seguintes temperaturas 1000°C, 1100°C e 1150°C, com uma taxa de aquecimento de 20°/minutos. Devido o elevado teor de matéria orgânica presente na argila só foi possível sinteriza-las na temperatura de 1000°C. Durante a sinterização nas temperaturas de 1100°C e 1150°C ocorreu uma elevada desgaseificação gerando bolhas e empenamentos dos corpos de prova como mostra a Figura 4.15. Portanto decidiu-se também estudar uma composição de uma massa cerâmica formulada com adição de caulim e calcita.

4.7.1 EFEITO DO TEOR DE UMIDADE NAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE PLACAS LAMINADAS USANDO MASSA NATURAL

A seguir serão apresentados os resultados das propriedades físico-mecânicas dos corpos de prova laminados e pensados usando massa natural e sinterizados a 1000°C. Primeiro são apresentados os resultados dos corpos de prova laminados e por último um comparativo entre as propriedades físicas dos corpos de prova laminados e pensados.

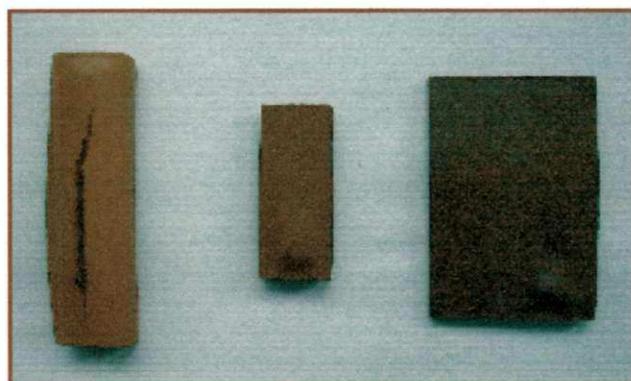


Figura 4.15- Defeitos nos corpos de prova pensados e laminados sinterizados a 1100°C.

Como mostra a Figura 4.15 os corpos de prova laminados e sinterizados a 1100°C usando uma taxa de $20^{\circ}\text{C}/\text{min.}$, apresentaram após queima uma coloração vermelha escura, e marrom escura, devido a presença da magnetita no corpo de prova. Outro fator também observado foi a formação de bolhas, empenamentos e trincas nos corpos cerâmicos, como consequência da decomposição matéria orgânica presente na argila, que devido a taxa de aquecimento ser um pouco elevada não é possível a liberação desses vapores sem danificar o corpo de prova, gerando bolhas, empenamentos e trincas.

A Figura 4.16 apresenta os corpos de prova laminados, secos a 110°C e sinterizados a 1000°C , para os diferentes teores de umidade de conformação 18% a 21%.

Os corpos de prova secos a 110°C apresentaram coloração cinza e a após queima 1000°C apresentaram coloração vermelho escuro, como consequência da magnetita presente. Foram laminados corpos de prova com teores de umidade 18% a 21%. Os corpos de prova laminados com 18% de umidade apresentaram após conformação trincas superficiais devido ao baixo teor de umidade, o mesmo não aconteceu para os laminados com 19% e 20% de umidade que apresentaram excelentes características superficiais e facilidade de manuseio após moldagem. Já os corpos de prova laminados com 20% de umidade apresentaram dificuldade de manuseio após conformação (moles).



Figura 4.16-corpos de prova laminados secos a 110°C e sinterizados a 1000°C

A Figura 4.17 apresenta o módulo de ruptura a flexão em função do teor de umidade para placas laminadas e secas a 110°C, o módulo de ruptura à flexão variou de $1,96\pm(0,60)$ a $3,31\pm(0,47)$, para os teores de umidade 18% a 21% respectivamente.

Observou-se que ocorreu um aumento gradual da resistência à medida que aumentou o teor de umidade até 20%. As placas laminadas com 18% de umidade foram as que apresentaram menor resistência à flexão, isso pode ser explicado pela baixa deformação plástica sofrida pelos grânulos durante o processo de laminação, e pela geração de fissuras superficiais após a laminação das placas tornando-as quebradiças. As placas laminadas com 20% de umidade foram as que apresentaram resistência mais elevada, este fato pode ser atribuído a maior deformação plásticas dos grânulos que exercem influência sobre o comportamento dos aglomerados.

As placas laminadas com 21% de umidade apresentaram maior dificuldade de manuseio. A redução da resistência a flexão para essas placas pode ser explicado pelo grau de saturação, fato que reduz a compactação.

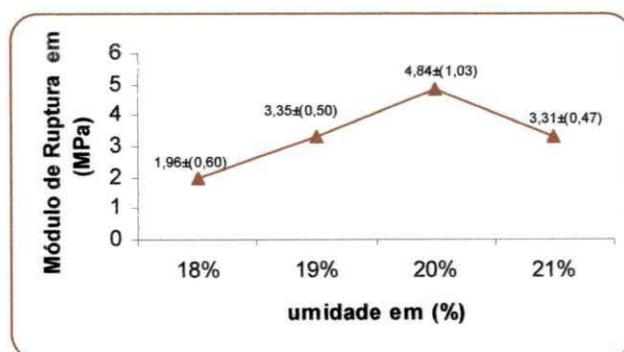


Figura 4.17- Efeito do teor de umidade no módulo de ruptura à flexão de placas laminadas usando massa natural, após secagem a 110°C

A Figura 4.18 apresenta a retração de queima em função do teor de umidade para placas laminadas e sinterizadas na temperatura de 1000°C. A retração linear variou de $2,2\pm(0,21)$ a $2,85\pm(0,30)$, para os teores de umidade usados de 18% a 21%.

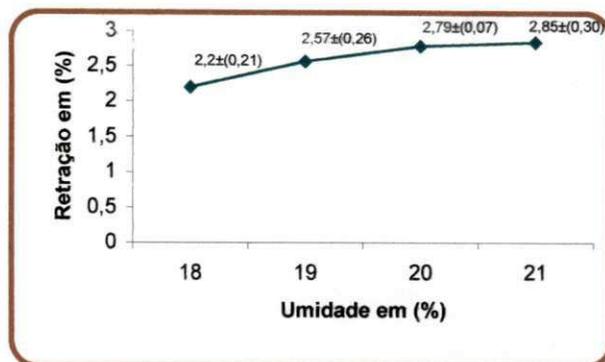


Figura 4.18 – Retração de queima em função do teor de umidade, placas laminadas usando massa natural.

A retração linear de queima é de fundamental importância para as especificações finais dos produtos cerâmicos. Observou-se que ocorreu um acréscimo na retração linear de queima com o aumento do teor de umidade. Maior o teor de umidade maior a deformação plástica dos grânulos favorecendo uma melhor compactação do corpo cerâmico o que provavelmente tenha favorecido uma maior difusão durante a sinterização consequentemente uma maior retração do corpo cerâmico.

As Figuras 4.19 e 4.20 mostram os resultados da absorção de água e da porosidade aparente em função do teor de umidade. Observou-se que a absorção de água variou de $12,87\pm(2,13)$ a $9,96\pm(0,47)$ e a porosidade aparente de $23,55\pm(1,13)$ a $19,69\pm(0,87)$ para os teores de umidade de 18% a 21%.

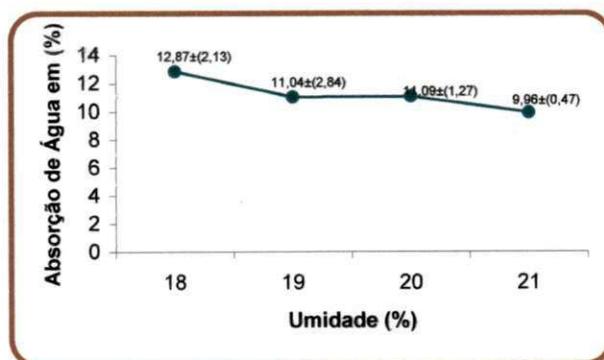


Figura 4.19 – Absorção de água em função do teor de umidade, placas laminadas usando massa natural

Mediante análise dos resultados apresentados nas Figuras 4.19 e 4.20, observou-se uma diminuição da absorção de água das placas laminadas em função do teor de umidade. A porosidade aparente (Figura 4.20) permaneceu praticamente constante até 20%. Este fato pode ser atribuído à deformação plástica dos grânulos, que exercem influência sobre o comportamento mecânico dos aglomerados, provocando melhorias no processo de compactação. A umidade atua como plastificante/lubrificante da argila, facilitando a reordenação das partículas e maior empacotamento, que tende a reduzir a quantidade de poros no corpo cerâmico.

Por outro lado, o grau de compactação é reduzido com o aumento excessivo no teor de umidade, o que aumenta a relação volume de líquido/volume de poros também chamado de grau de saturação. Pode-se observar que com o aumento para 21% de umidade houve uma pequena redução.

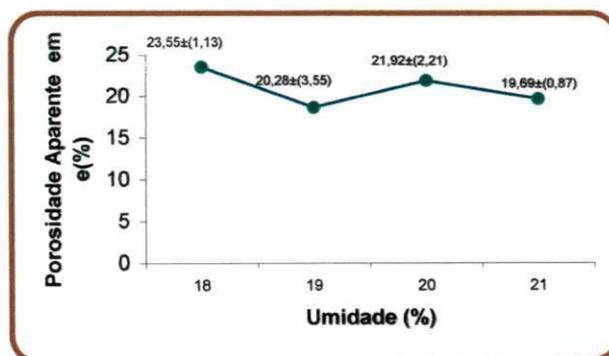


Figura 4.20 – Porosidade aparente em função do teor de umidade, placas laminadas usando massa natural

Na Figura 4.21 estão apresentados os resultados da massa específica aparente em função do teor de umidade usada na laminação das placas cerâmicas. A mesma variou de $1,96\pm(0,01)$ a $2,0\pm(0,03)$ para os percentuais de 18% a 21% de umidade.

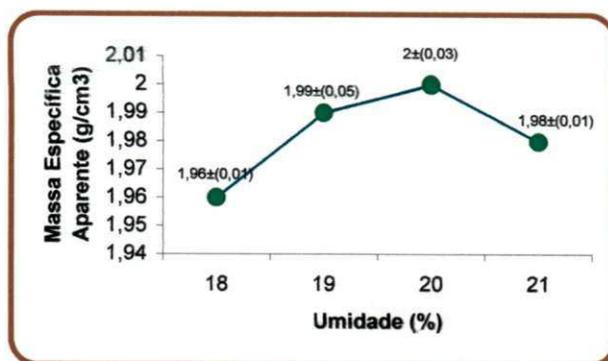


Figura 4.21 – Massa específica aparente em função do teor de umidade, placas laminadas usando massa natural

Observou-se que houve um discreto aumento da massa específica em função do teor de umidade usado. Esse aumento ocorreu para as placas laminadas com umidade de 19% e 20%, sendo que a massa específica aparente máxima foi obtida para placas laminadas com 20% de umidade. O maior teor de umidade provavelmente pode ter favorecido a compactação como resultado de uma maior deformação plástica sofrida pelos grânulos, o que resulta em um maior empacotamento de partículas e conseqüentemente uma maior densificação. A redução na massa específica para as placas laminadas com 21% de umidade deve-se ao grau de saturação.

A Figura 4.22 apresenta os resultados do módulo de resistência à flexão em função do teor de umidade usado. O módulo variou de $10,68\pm(1,82)$ a $17,98\pm(3,67)$, para os teores de umidade variando de 18% a 21%.

Analisando os resultados observou-se que o teor de umidade também exerceu influência sobre a resistência mecânica das placas laminadas.

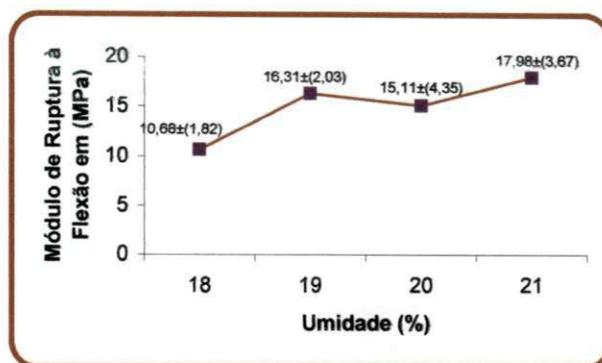


Figura 4.22 – Módulo de ruptura à flexão em função do teor de umidade, placas laminadas usando massa natural

Os melhores resultados foram obtidos para as placas laminadas com 19% e 20% de umidade, levando em consideração as características da peça após moldagem. A água também atua como lubrificante, reduzindo a fricção entre as partículas, resultando em uma compactação mais uniforme. A maior área de contato entre os grânulos durante a conformação, provavelmente favoreceu uma maior compactação.

Comparando esses resultados com as especificações da ABNT NBR 13818, observou-se que as placas laminadas com teores de 19% e 20% podem ser classificadas como porosos (Grupo CIII) para a temperatura de sinterização de 1000°C, por apresentarem absorção de água entre 10% e 20% e resistência mecânica à flexão entre 15MPa e 20MPa.

4.7.2 ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PLACAS PENSADAS E PLACAS LAMINADAS USANDO MASSA NATURAL (QUEIMA RÁPIDA)

Os valores das propriedades físico-mecânicas das placas prensadas e sinterizadas a 1000°C foram comparadas com as propriedades físico-mecânicas das placas laminadas com os teores de umidade 19 e 20%, as quais apresentaram os melhores resultados das propriedades físicas.

A Tabela 4.4 mostra os valores das propriedades físico-mecânicas das placas cerâmicas obtidas pelos processos de laminação e prensagem e sinterizadas a 1000°C.

Comparando os valores da retração linear de queima (RQ) das placas prensadas (Tabela 4.4), com os valores das placas laminadas com 19 e 20% de umidade, observou-se que as placas prensadas apresentaram uma significativa redução na retração de queima com relação às placas laminadas. A retração linear de queima depende da composição da massa e da densidade do corpo a seco. O baixo teor de umidade de conformação utilizado no processo de prensagem favoreceu a menor retração linear.

Foi feito um estudo comparativo entre os valores obtidos para a absorção de água e a porosidade aparente (Tabela 4.4), entre as placas cerâmicas prensadas e laminadas com 19% e 20% de umidade, observou-se que as placas laminadas e prensadas apresentaram absorção de água e porosidade aparente similares. Os diferentes processos utilizados exerceram influência sobre esta propriedade, provavelmente as variáveis de operação como pressão de compactação e teor de umidade dos diferentes processos foram significativas.

Os resultados com relação à massa específica aparente para os corpos de prova prensados mostraram que os mesmos apresentaram valores inferiores aos das placas laminadas. A baixa densidade das placas prensadas pode ser atribuída a heterogeneidade na compactação das placas cerâmicas durante a prensagem. As placas cerâmicas laminadas apresentaram uma maior densificação que pode ser atribuída à aplicação de uma pressão de compactação uniforme, o que favoreceu uma melhor dispersão dos aglomerados através da massa. O alinhamento das partículas durante a laminação também exerceu influência sobre as propriedades físicas.

Com relação à resistência a flexão das placas prensadas e laminadas com 19% e 20% de umidade, observou-se que as placas prensadas apresentaram resistência a flexão praticamente igual às placas laminadas.

Tabela 4.4- Propriedades físico-mecânicas de placas prensadas e laminadas sinterizadas a 1000°C.

Processamento	Retração de Queima (%)	Absorção de Água (%)	Porosidade Aparente (%)	Massa E. Aparente (g/cm ³)	Módulo de R. a Flexão (MPa)
Prensagem	1,98±(0,11)	11,47±(0,59)	22,10±(1,47)	1,79±(0,04)	17,04±(4,61)
Laminados 19% de umidade	2,52±(0,26)	11,04±(2,84)	20,28±(3,55)	1,99±(0,05)	16,31±(2,03)
Laminados 20% de umidade	2,43±(0,31)	11,09±(1,27)	21,92±(2,21)	2,0±(0,03)	15,11±(4,35)

Comparando os resultados obtidos com as especificações da norma da ABNT NBR13818, observou-se que as placas prensadas podem ser classificadas para a temperatura de sinterização de 1000°C como material poroso (BIII), por apresentarem comportamento mecânico entre 15MPa e 20MPa e absorção de água entre 10% e 20%.

4.7.3 ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PLACAS LAMINADAS E PRENSADAS USANDO MASSA FORMULADA

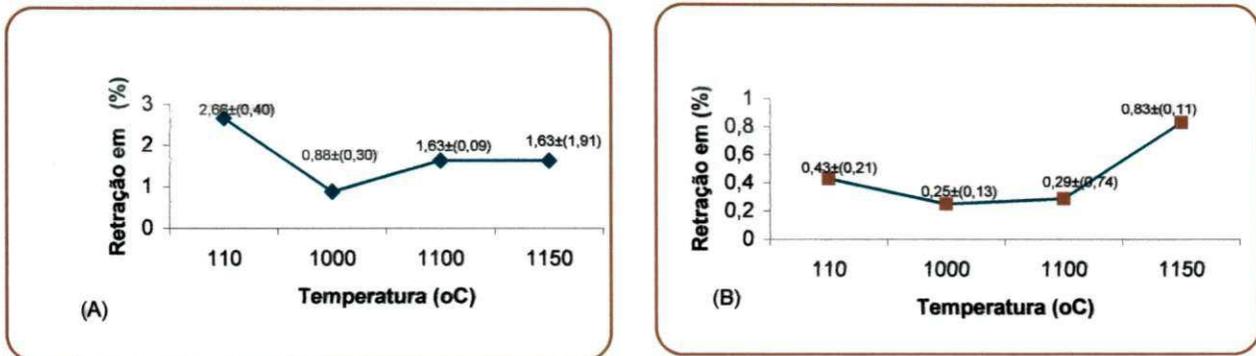
As Figuras 4.23a e 4.23b mostram as curvas da retração linear em função da temperatura para os corpos de provas laminados e prensados respectivamente, usando uma massa formulada. A retração linear variou de 0,88±(0,30) a 1,63±(1,91) para os corpos de prova laminados. Para os corpos de prova prensados variou de 0,25±(0,13) a 0,83±(0,11) para as temperaturas de 1000°C a 1150°C, respectivamente.

Observou-se que ocorreu um aumento na retração linear de queima com o acréscimo da temperatura para os corpos de prova laminados e prensados. Isso pode ser atribuído ao maior grau de sinterização e conseqüentemente a maior formação de fase vítrea que tende a aproximar as partículas, aumentando a retração e diminuindo a porosidade.

Para os corpos de prova laminados as retrações a 1100°C e a 1150°C foram praticamente constantes. Para os corpos de prensados o aumento da retração ocorreu proporcionalmente à temperatura, e na faixa de 1000 a 1100°C a retração

foi praticamente constante. A formulação da massa usando (50%) de argila e (14,22%) de calcita contribuíram para uma maior estabilidade dimensional dos corpos de prova durante a sinterização. O caulim presente na massa (35,78%) contribuiu para a sinterização dos corpos de prova nas temperaturas de 1100 °C e 1150 °C, o que não foi possível com as placas moldadas com a massa natural.

Comparando os valores da retração linear das placas laminadas com as placas prensadas, observou-se que as placas prensadas apresentaram menor retração em todas as faixas de temperatura de sinterização. O teor de umidade usado nas placas laminadas contribuiu para a elevada retração nos corpos de prova laminados.



Figuras 4.23a e 4.23b - Retração linear em função da temperatura usando massa formulada (laminadas (A), prensados (B))

As Figuras 4.24a e 4.24b apresentam os valores da absorção de água dos corpos cerâmicos extrudados e prensados em função da temperatura.

Analisando os resultados obtidos, verificou-se que os valores da absorção de água para os corpos de prova laminados (Figura 4.24a), variou de $17,93 \pm (0,18)$ a $10,9 \pm (0,25)$, e para os corpos de prova prensados (Figura 4.24b), os valores da absorção de água variou de $18,46 \pm (0,63)$ a $13,81 \pm (0,22)$ para as temperaturas de 1000 °C a 1150 °C, respectivamente.

Comparando esses resultados obtidos para as placas laminadas e prensadas com as especificações da ABNT/NBR 13818, observou-se que as placas laminadas com teor de umidade de 20% podem ser classificadas como

porosos (Grupo CIII) para as temperaturas de 1000 a 1150°C, por apresentarem absorção de água entre 10% e 20%, e os corpos de prova prensados também foram classificados como porosos (Grupo BIII), por apresentarem os mesmos valores para a absorção de água, nessa mesma faixa de temperatura.

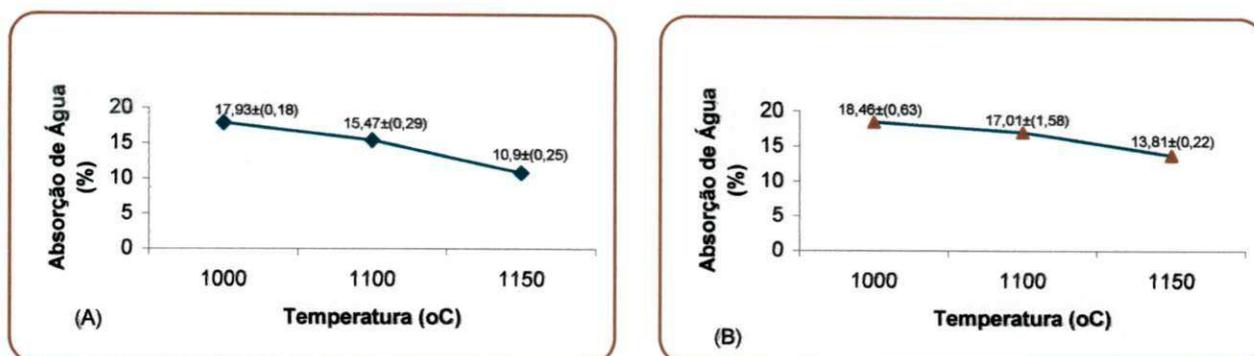
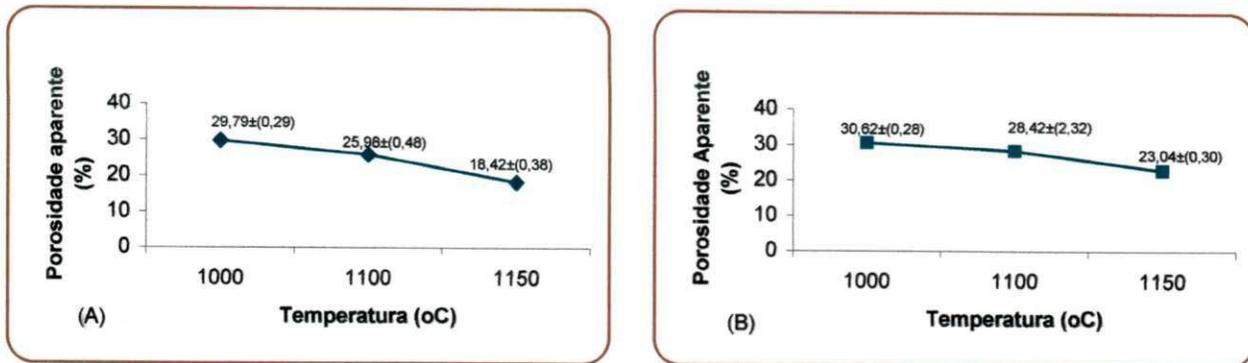


Figura 4.24a e 4.24b - Absorção de água em função da temperatura usando massa formulada (laminados (A), prensados (B))

Fazendo uma análise dos valores obtidos para a absorção de água, entre os corpos de prova obtidos pelo processo de laminação e prensagem, verificou-se que os corpos de prova prensados apresentaram uma maior absorção de água em todas as faixas de temperatura de sinterização. A pressão de conformação e a heterogeneidade da mesma podem ter favorecido a maior porosidade e conseqüentemente, uma maior absorção de água no corpo cerâmico.

As Figuras 4.25a e 4.25b apresentam os valores da porosidade aparente dos corpos cerâmicos laminados e prensados em função da temperatura de sinterização. Para os corpos de prova laminados (Figura 4.25a), a porosidade aparente atingiu um valor mínimo de 18,42±(0,38), na temperatura de 1150°C. O mesmo ocorreu para os corpos de prova prensados (Figura 4.25b), onde a porosidade aparente atingiu um valor mínimo de 23,04±(0,30), nessa mesma temperatura de sinterização.



Figuras 4.25a e 4.25b - Porosidade aparente em função da temperatura usando massa formulada (laminados (A), prensados (B))

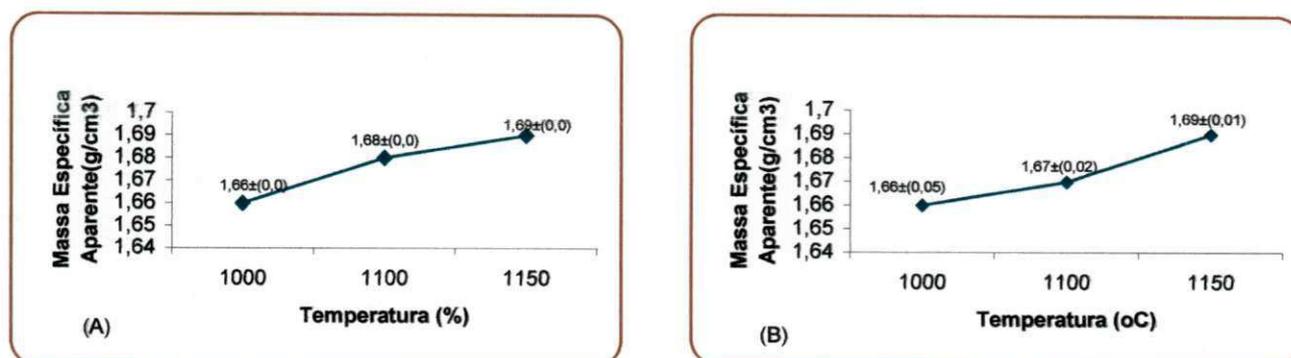
Analisando os valores da porosidade aparente, verificou-se que em ambos os tipos de conformação laminação e prensagem os corpos de prova sofreram uma redução gradual da porosidade aparente à medida que a temperatura aumentou. Os valores observados para a porosidade aparente, na temperatura de 1000°C, devem-se provavelmente a baixa quantidade de fase líquida formada. O percentual de caulim usado também favoreceu a redução da fase vítrea nessa temperatura devido a sua estabilidade química.

Observou-se que, para a temperatura de 1150°C ocorreu uma porosidade aparente mínima. Isso ocorre provavelmente devido à fase líquida formada que é favorecida pela temperatura de sinterização. Mas uma vez a fase líquida presente tornou os corpos de prova mais compacto reduzindo a porosidade.

Comparando os valores da porosidade aparente entre os corpos de prova laminados e prensados, observou-se que os corpos de prova prensados apresentaram uma maior porosidade aparente em todas as faixas de temperatura de sinterização. As variáveis de conformação, o teor de umidade e o mecanismo de laminação contribuíram para uma maior compactação do corpo cerâmico à verde, o que favoreceu para uma menor porosidade dos corpos após queima.

Nas Figuras 4.26a e 4.26b são apresentados os resultados da massa específica aparente dos corpos de prova laminados e prensados em função da temperatura.

Observou-se que o valor máximo de $1,69\pm(0,0)$ da massa específica aparente para os corpos de prova laminados (Figura 4.26a) e de $1,69\pm(0,01)$ para os corpos de prova prensados (Figura 4.26b) também ocorreu na temperatura de 1150°C .



Figuras 4.26a e 4.26b – Massa específica aparente em função da temperatura usando massa formulada (laminados (A), prensados (B))

Para os corpos de prova obtidos pelos diferentes tipos de conformação, laminação e prensagem, observou-se que ocorreu um acréscimo na massa específica aparente, à medida que a temperatura aumentou, esse aumento na densidade é consequência das variáveis de processamento e as características química e física da massa preparada. A fina granulometria do caulim e da calcita favoreceu a uma melhor compactação do corpo de prova durante a compactação. Apesar dos corpos de prova terem sido moldados usando diferentes processos de conformação não foi observado uma diferença significativa da massa específica aparente entre os corpos de prova prensados e laminados.

Nas Figuras 4.27a e 4.27b são mostrados os resultados do módulo de ruptura a flexão dos corpos de prova laminados e prensados em função da temperatura de sinterização.

Comparando os resultados obtidos com as especificações da ABNT/NBR13818, observou-se que as placas laminadas podem ser classificadas para a temperatura de sinterização de 1000 a 1150°C como material poroso (CIII), por apresentarem resistência mecânica à flexão entre 15MPa e 20MPa. As placas

prensadas foram classificadas também como material poroso (BIII), mas somente na temperatura de 1150°C.

O módulo de ruptura á flexão para os corpos de prova laminados (Figura 4.27a) atingiu seu valor máximo de $17,94 \pm (2,09)$ na temperatura de 1150°C. O mesmo ocorreu para os corpos de prova prensados (Figura 4.27b) que tiveram seu valor máximo de $14,93 \pm (2,06)$, atingidos nessa mesma temperatura.

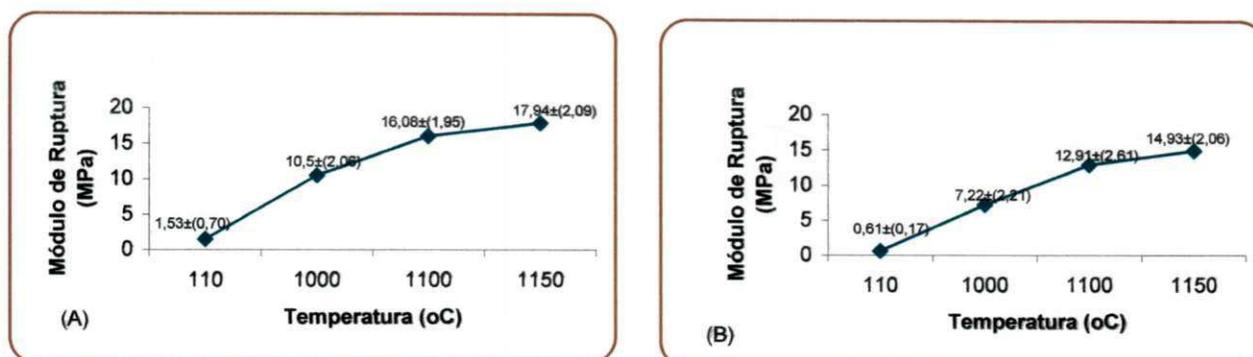


Figura 4.27a e 4.27b – Módulo de ruptura a flexão em função da temperatura usando massa formulada (laminados (A), prensados (B))

A análise das propriedades físico-mecânicas dos corpos de prova secos a 110°C mostraram, que os baixos valores obtidos da resistência á flexão á seco (Figuras 4.28a e 4.28b), deve-se adição de caulim (35,78%) e da calcita (14,22%), que reduzem a plasticidade da massa e conseqüentemente a resistência á seco.

Analisando os valores numéricos do módulo de resistência á flexão para os corpos de prova laminados e prensados, observou-se que ocorreu um acréscimo no módulo de resistência á flexão com o aumento da temperatura em ambos os casos. Comparando o módulo de resistência á flexão dos corpos de prova laminados, com os corpos de prova prensados observou-se que, os corpos laminados apresentaram um aumento significativo em todas as faixas de temperatura. O aumento no módulo de resistência á flexão é conseqüência das variáveis de processamento como: pressão de conformação, homogeneidade na aplicação da pressão de conformação, orientação que as partículas assumem durante a conformação, e maior deformação sofrida pelos grânulos.

5.0 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo caracterizar uma argila proveniente do município de Itaporanga-PB, visando à sua aplicação para obtenção de produtos de cerâmica tradicional (blocos cerâmicos, telhas e placas cerâmicas), pelos processos de extrusão, prensagem e laminação. Após análise dos resultados, chegou-se as seguintes conclusões:

- A argila estudada apresentou composição química típica para cerâmica vermelha, por apresentar um teor de ferro superior a 7%.
- A argila estudada apresentou em sua composição mineralógica, caulinita, illita, feldspato e quartzo.
- Através dos ensaios preliminares, foi possível prever a aplicação da argila em cerâmica vermelha.
- Os resultados confirmaram que a argila do município de Itaporanga-PB é adequada para ser utilizada na indústria de produtos da cerâmica vermelha (blocos cerâmicos e telhas) empregando-se o processo de extrusão e prensagem. As melhores propriedades físico-mecânicas das placas laminadas foram obtidas com os teores de 19 e 20% de umidade; As placas laminadas usando a massa natural com teores de 19 e 20% podem ser classificadas como porosos (Grupo CIII) para a temperatura de sinterização de 1000°C;
- As placas prensadas usando massa natural podem ser classificadas para a temperatura de sinterização de 1000°C como material poroso (BIII);
- As placas laminadas e prensadas usando massa formulada foram classificadas como porosos (Grupo CIII) e (Grupo BIII), para as temperaturas de 1000 a 1150°C;
- Os resultados mostraram que os corpos de prova obtidos pelo processo de extrusão apresentaram propriedades físico-mecânicas superiores as dos corpos de prova prensados;

- Os corpos de prova obtidos pelo processo de laminação usando um teor de umidade 19 e 20% apresentaram propriedades físico-mecânicas superiores as dos corpos de prova obtidos pelo processo de prensagem;

SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Estudar o efeito da taxa de aquecimento na queima rápida nas placas moldadas usando massa natural;
- Caracterizar as argilas dos sítios Lagoa do Mato, Várzea do Saco, Agreste, várzea do Boi, Emas, Malhada Grande, ambos municípios de Itapoanga-PB.
- Dá continuidade ao mapeamento das argilas do estado da Paraíba, caracterizando as argilas dos municípios de Piancó, Conceição, Pedra Branca, Ibiara, Nova Olinda;

6.0 REFERÊNCIAS BIBIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 13816 Placas Cerâmicas para Revestimento - Terminologia**, Rio de Janeiro, 1997.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 13818 Placas Cerâmicas para Revestimento - Especificação e Métodos de Ensaio**, Rio de Janeiro, 1997.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 13817 Placas Cerâmicas para Revestimento - Classificação**, Rio de Janeiro, 1997.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, **Determinação do Limite de Liquidez de Solo, NBR 7180-84 1984a**, Rio de Janeiro, 1984.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, **Determinação do Limite de Plasticidade de Solo, NBR 6459-84** Rio de Janeiro, 1984b.

ACIMAC. Associação Construttori Italiani Machine Attrezzature per Cerâmica - **Apostila do Curso de Formação para Técnicos da Indústria Cerâmica A Tecnologia de Produção na Indústria de Pisos e Azulejos**, 2000.

ALBARO, J. L.A. **A Operação de Prensagem: Considerações Técnicas e sua Aplicação Industrial Parte I: O preenchimento das Cavidades do Molde**. Cerâmica Industrial, v. 5 nº 5, 2000a.

ALBARO, J. L. A. **A Operação de Prensagem: Considerações Técnicas e sua Aplicação Industrial Parte II: A Compactação Cerâmica Industrial**, v. 6 nº 3, 2000b.

ALBARO, J.L. A. **A Operação de Prensagem: Considerações Técnicas e sua Aplicação Industrial Parte III: Variáveis do Processo de Compactação Cerâmica Industrial**, v. 6, nº 1, 2001a.

ALBARO, J.L.A. **A Operação de Prensagem: Considerações Técnicas e sua Aplicação Industrial Parte IV: Extração da Peça e Resistência Mecânica a Verde**. Cerâmica Industrial, v.6, nº 2, 2001b.

ALBARO, J. L.A. **A Operação de Prensagem: Considerações Técnicas e sua Aplicação Industrial Parte V: Descrição da Etapa de Prensagem**. Cerâmica Industrial, v. 6 nº 3, 2001c.

ALBARO, J. L.A., FELÍU, C., GINÉS, F., AGRAMUNT, J. V. **Técnica Cerâmica**, nº 244, 362 – 365p, 1996.

ANFACER, Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento. **Anuário Expresso de Exportação**, 2005. Disponível em: www.anfacer.org.com.br. Acessado em 06/06/2005.

AZEVEDO, J. B., LEITE, I. F., SUDERIO, V. M., NEVES, G. A, LIRA, H. L., SANTANA, L. N. L. **Efeito do Teor de Umidade e do Tempo de Repouso na Preparação de Placas Cerâmicas Laminadas**, Anais do 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica, João Pessoa-PB, 2003.

BALZEREIT, J.L., RASS, T. I. **Roll-pressing: a New Variation for Shaping Tiles**. Journal Info Ceramic Forum Intrnacional, V.75, nº3, 111-114p, 1998.

BALZGHL, L.S., **Argilas para Materiais de Construção**, Cerâmica, v.28, nº 151, 300p, 1982.

BARBA, A., BELTRAN, V., FELIU, C., GARCIA, J., GINES, F., SÁNCHEZ, E., SANZ, V., **Matérias-Primas para a Fabricação de Suportes de Baldosas Cerâmicas**, ITC-Instituto de Tecnologia Cerâmica, 1º Edição, 1997.

BLACKBURN, S., LAUVSON, T.A. "Mulite-alumina Composites by Extrusion", J. Am. Ceram. Soc., v.4, nº 75, 953 –957p, 1992.

BORGE, J.N., MALISKA, A.M. **Caracterização de Revestimentos Cerâmicos**, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, 12p, 2005.

BOSCHI, A, **Queima de Corpos Cerâmicos**, Disponível em [http:// www.central da.cerâmica.com.br/html](http://www.centralda.cerâmica.com.br/html) . Acessado em: 05/06/2005.

BUSTAMANTE, G.M., BRESSIANE, J.C. **A indústria Cerâmica Brasileira**, Cerâmica Industrial, v. 5, nº 3 , 2000.

CAPUTO, H.P., **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**, v.1, Rio de Janeiro 1984.

CERAMICANORIO, Disponível em [http:// www.ceramicanorio.com.br/html](http://www.ceramicanorio.com.br/html) .acessado em: 05/06/2005.

COELHO, J. M. **A Importância das Matérias-Primas Minerais Na Competitividade de Segmentos Cerâmicos**. Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, instituto de Geociências – 1996.

CORDEIRO, P. **Moldes de Feira, Fatores de Funcionamento Acerto e Afinação - Parte I**, Cerâmicas, nº 17, 81 –84p, 1993.

FACINCANI, E. **Tecnologia Cerâmica-los Ladrilhos**, Faenza Editrice Ibérica S. L., Castellón, 1993.

FERRARI, K. R., FIGUEIREDO, P. M. FRANCISCO.º, MACHADO, L. A., PASCHOAI, J.O.A.. **Transformação das Matérias-Primas do Suporte Durante a Queima de Revestimento Cerâmico**, Cerâmica Industrial, v.5 nº 2, 2000.

GASPA, L. A. J., SOUZA, M. H. O, MORENO, M. M. T., VALARELLI, J.V. **Caracterização das Argilas da Mina Sartori (Rio Claro-SP) Para Otimização do seu Uso na Indústria de Revestimento Cerâmica Industrial**, v.6, nº 3, 45-50p, 2001.

GOERENZ, E., RYMON-LIMPNSK, T., **Patente Européia, Número de Registro: 94199549.0**, 1992.

JOHANSON, J.R. **Feeding roll Presses For Stable Roll Operation**. Proceedings of The Biennial Conference, 1984.

LIPINSK, R.L; GEBHARTDT, F., **Roll-Pressing Of Ceramic Bodies**, Journal Info Ceramic Forum International, v. 71, n 8. 467-469p.

MACEDO, R. S., **Estudo Comparativo Entre Massas Cerâmicas Industriais e Aditivadas para Uso em Blocos Cerâmicos**, Tese de Doutorado em Engenharia de Processo, CCT/UFCG/ Campina Grande-PB, 2005.

MÁS, E, **Qualidade e Tecnologia em Cerâmica Vermelha**. São Paulo: Pólo Produções LTDA, 2002.

MARINO, L.F.B; BOSCHE, A O. **Expansão Térmica de Materiais Cerâmicos Parte -III: Efeitos da Adição de calcita**.Cerâmica Industrial, nº 3 4-6p, 1998.

MENEZES, R. R., NEVES, G. A., FERREIRA, H.C., **Mapeamento de Argilas do Estado da Paraíba**, Cerâmica, v. 47, nº.302, 2001.

MOTTA, J. F.M., CABRAL, M. JR., TANNO, L. C; ZANARDO, A. **As Matérias – Primas. Parte II: Os Minerais Industriais e as Massas da Cerâmica Tradicional.** Ceramica industrial, v.7, nº 1, 33-40p, 2002.

NÓBREGA, M.C, JOÃO, M, CROIX, S.P. **Prensagem Uniaxial de Cerâmica Dental, Medcenter.Com -Odontologia,** 1-19p, 2005.

NUNES, R.L.S; NEVES, G.A; SANTANA, L.N.L; FERREIRA, H.C., **Placas Cerâmicas Obtidas Pelo Processo de Laminação,** Anais do 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica, João Pessoa-PB, 2003.

NOGUEIRA, E., FILHO, A G. A, TORKOMIAN, A. L. V. M CSILLAG, J. M. **Identificando Estratégias Competitivas e de Produção de Empresas de Revestimentos Cerâmicos.** Cerâmica industrial, v.7nº 3, 7 – 17p, 2002.

NORTON, F. H. **Introdução à Tecnologia Cerâmica,** Editora Edgard Blücher, 1973.

OLIVEIRA, A. P. N., MONTE, O.R. K., PIZETE. J., CASAGRANDE, M. **Matérias-Primas Empregadas na Fabricação de Tijolos e Blocos de Construção: Características e Influência Sobre as Propriedades do Produto Final.** Seção Cerâmica Estrutural. s/d Disponível em <http://www.ctc.gov.br/publicações.html>,. Acessado em: 21/09/2004.

OLIVEIRA, I.R., STUDART, A.R., PILEGG, R.G., PANDOLFELLI, V.C. **Dispersão e Empacotamento de Partículas, Princípios e Aplicação em Processamento Cerâmico,** Editora Fazendo Arte Editorial –2000.

PEREIRA, E.A., ACCHAR. W., LEITE, J. Y.P; SALES, C.R. **Caracterização Tecnológicas de Argilas para Aplicação em Cerâmica Vermelha,** Anais do 46º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2002.

PAULA, G. R.; QUINTERO, E., BOSCHI, A. O., *Cerâmica Industrial*, 2(3/4), 28-31, 1997.

REED, J. S.; MARTIN, J. J.; CARSLON, W. G., **"Mechanics of Extrusion"**, *Science of White wares*, Published by the American Ceramic Society, p. 157 – 168, USA 1995.

RIBEIRO, J. M., FERREIRA, A. A. L., LABRINCHA, J. A. A. **Aspectos Fundamentais Sobre a Extrusão de Massas de Cerâmica Vermelhas**, *Cerâmica Industrial*, Janeiro/fevereiro, v.8 n° 1, 37-42p, 2003.

SANCHES, E., GARCIA, J., GINÉS, F., NEGRE, F. **Aspectos a Serem Melhorados nas Características e Homogeneização de argilas Vermelhas Empregadas na Fabricação de Placas Cerâmicas**, *Cerâmica industrial*, v. 1, n° 03, 13-22 p, 1996.

SANTANA, L.N.L., FERREIRA, M. J., TASCA, A. A, FREDEL, M.C., ALARCON, **O Estudo Preliminar visando a Obtenção de Placas Cerâmicas Pelo Processo de Laminação**, Seção Pesquisa e Desenvolvimento *Cerâmica Informação* n° 19, 2000.

SANTANA, L.N.L., NADAL, J. J., ROSA, F.G., ESTEVAM, M.V, CELSO, M. **Efeitos dos Parâmetros de Mistura Sobre as Propriedades de Placas Cerâmica Laminadas**, *Cerâmica Informação*, n°.16, 63-64p 2001.

SANTOS, P. S. **Ciência e Tecnologia de Argilas**, Editora Edgard Blücher, v.1, .205, 206, 397p , São Paulo, 1992. .

SUDÉRIO, V. M., NUNES, R. L. S., SANTANA, L. N. L., NEVES, G. A, LIRA, **Influência da Abertura Entre Rolos Laminadores Sobre a Compactação de Placas Cerâmicas**, *Anais do XVI Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais*, Porto Alegre, 20004b.

SUDÉRIO, V.M., NUNES, R. L. S., GOMES, J., SANTANA, L. N. L., NEVES, G. A, LIRA, H.L **Efeito da velocidade de Laminação Sobre a Compactação de Placas Cerâmicas**, (SULMAT), Congresso em Ciência de Materiais do Mercosul, Joinville/SC, 2004c.

SUDÉRIO, V.M., NUNES, R. L. S., SANTANA, L. N. L., NEVES, G. A, LIRA, H.L. **Influência da Abertura de Laminação e do Diâmetro dos Rolos Laminadores Sobre a Compactação de Placas Cerâmicas**, Anais 48 Congresso Brasileiro de Cerâmica, Curitiba -PR, 2004a.

SUDERIO, V. M., LEITE, I. F., SANTANA, L.N.L., NEVES, G. A, S. LIRA, H.L. **Efeito da Velocidade de Mistura Sobre as Propriedades de Placas Cerâmicas laminadas**, (CBCIMAT), Congresso brasileiro de Ciência e Engenharia de Materiais, Natal-RN, 915-918p, 2002.

TAVARES, S. **Método de Secagem em Cerâmica Vermelha**. Disponível em [http:// www.anfacer.org.com.br](http://www.anfacer.org.com.br). Acessado em: 05/06/2005.

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 de Goytacazes-RJ**, Cerâmica v. 46 n^o, 297, 15-18p, 2000.

VIEIRA, C.M.F, MONTEIRO, S.N. **Influência da Temperatura de Queima na Microestrutura de Argilas de Campos dos Goitacazes–RJ**, Cerâmica n^o 49, 6-10p, 2003.

Anexos

Tabelas construídas com base nos resultados dos ensaios laboratoriais

Tabela A.1 - Ensaio preliminares, propriedades físico-mecânicas a 110 (°C).

Temperatura (°C).	R. secagem (%)	M.Ruptura Flexão (MPa)
110	0,38	5,38
110	0,43	3,97
110	0,69	4,74
110	0,61	5,09
110	0,41	5,91
110	0,46	6,17
Média	0,50	5,14
D. padrão	0,12	0,72

Tabela A.2- Caracterização tecnológica completa, corpos de prova extrudados, propriedades físico-mecânicas a 110(°C).

Temperatura (°C).	R. secagem (%)	M.Ruptura Flexão (MPa)
110	3,36	9,49
110	3,93	9,25
110	3,86	7,45
110	3,46	9,49
110	3,63	7,57
110	3,69	10,85
Média	3,69	8,32
D. padrão	0,17	0,65

Tabela A.3 - Caracterização tecnológica completa placas prensadas, propriedades físico-mecânicas 110 (°C).

Temperatura (°C).	R. secagem (%)	M.Ruptura Flexão (MPa)
110	0,38	5,38
110	0,43	3,97
110	0,69	4,74
110	0,61	5,09
110	0,41	5,91
110	0,46	6,17
Media	0,50	5,21
D.padrão	0,12	0,80

Tabela A.4 - Ensaio preliminares, a 800, 900, 1000, 1100 (°C).

Temperatura (°C).	R. secagem (%)	R. queima (%)	A. Água (%)	P.A parente (%)	D. Aparente (g/cm ³)	M.Ruptura Flexão (MPa)
800	0,38	0,07	16,39	34,32	2,09	5,38
800	0,43	-0,12	17,45	31,99	1,83	3,97
800	0,69	0,26	16,25	33,33	2,05	4,74
800	0,61	0,05	16,50	33,07	2,00	5,09
800	0,41	0,15	15,84	30,03	1,90	5,91
800	0,46	-0,03	15,96	30,14	1,89	6,17
Média	0,50	0,06	16,51	32,15	1,79	5,21
D. padrão	0,12	0,13	0,57	0,57	0,10	0,80
Temperatura (°C).	R. secagem (%)	R. queima (%)	A. Água (%)	P.Aparente (%)	D. Aparente (g/cm ³)	M.Ruptura Flexão (MPa)
900	0,38	0,20	15,00	28,65	1,91	11,82
900	0,43	0,13	15,70	29,72	1,89	10,57
900	0,69	0,13	15,43	29,32	1,90	10,95
900	0,61	0,20	15,51	28,47	1,90	9,86
900	0,41	0,22	16,34	30,48	1,87	7,45
900	0,46	0,28	16,04	30,17	1,88	8,20
Média	0,50	0,19	15,67	29,63	1,89	8,20
D. padrão	0,12	0,06	0,47	0,65	0,02	1,70
Temperatura (°C).	R. secagem (%)	R. queima (%)	A. Água (%)	P.Aparente (%)	D. Aparente (g/cm ³)	M.Ruptura Flexão (MPa)
1000	0,38	1,95	12,84	25,48	1,98	14,66
1000	0,43	2,31	11,87	23,93	2,02	15,26
1000	0,69	1,98	12,53	25,03	2,00	16,01
1000	0,61	1,82	12,65	25,20	1,99	16,08
1000	0,41	2,21	13,70	26,70	1,95	11,58
1000	0,46	2,55	12,10	24,36	2,01	15,41
Média	0,50	2,14	12,61	25,12	1,99	14,83
D. padrão	0,12	0,27	0,64	0,96	0,02	1,69
Temperatura (°C).	R. secagem (%)	R. queima (%)	A. Água (%)	P. Aparente (%)	D. Aparente (g/cm ³)	M.Ruptura Flexão (Mpa)
1100	0,38	8,18	1,54	3,80	2,46	28,80
1100	0,43	7,95	1,89	4,60	2,43	30,66
1100	0,69	8,38	1,45	3,55	2,46	33,10
1100	0,61	8,37	0,97	2,40	2,49	34,42
1100	0,41	7,85	1,67	4,07	2,44	31,22
1100	0,46	7,76	1,83	4,45	2,43	32,21
Média	0,50	8,08	1,56	3,05	2,45	31,84
D. padrão	0,12	0,27	0,34	0,79	0,02	1,96

Tabela A.5- Caracterização tecnológica completa corpos de prova extrudados e sinterizados nas temperaturas 800, 900, 1000, 1100(°C).

Temperatura (°C)	R. secagem (%)	R. queima (%)	A. Água (%)	P. Aparente (%)	D. Aparente (g/cm ³)	M.Ruptura Flexão (MPa)
800	3,36	0,02	10,08	40,30	1,80	9,49
800	3,93	0,10	18,60	33,35	1,79	9,25
800	3,86	-0,03	18,53	33,19	1,79	7,45
800	3,46	0,08	18,71	33,41	1,79	9,49
800	3,63	-0,02	18,63	33,04	1,77	7,57
800	3,69	0,05	18,10	32,67	1,80	10,85
Média	3,69	0,06	17,11	34,33	1,79	9,02
D. padrão	0,17	0,04	3,45	2,94	0,01	1,30
Temperatura (°C)	R. secagem (%)	R. queima (%)	A. Água (%)	P. Aparente	D. Aparente (g/cm ³)	M.Ruptura Flexão (MPa)
900	3,36	1,06	11,51	22,08	1,92	15,57
900	3,93	0,80	11,86	22,69	1,91	20,19
900	3,86	1,04	10,24	19,95	1,95	18,65
900	3,46	1,30	11,24	21,64	1,93	11,69
900	3,63	2,18	11,66	22,73	1,95	22,29
900	3,69	0,95	12,33	23,50	1,91	15,10
Média	3,69	1,22	11,47	22,10	1,93	17,25
D. padrão	0,17	0,50	0,71	1,23	0,02	3,86
Temperatura (°C)	R. secagem (%)	R. queima (%)	A. Água (%)	P. Aparente	D. Aparente (g/cm ³)	M.Ruptura Flexão (MPa)
1000	3,36	0,09	8,55	18,30	2,14	20,40
1000	3,93	6,37	11,65	23,38	2,01	23,10
1000	3,86	3,29	10,70	21,74	2,03	22,38
1000	3,46	2,64	10,17	20,79	2,04	16,50
1000	3,63	3,80	12,12	24,34	2,01	18,13
1000	3,69	3,46	7,07	14,69	2,08	17,97
Média	3,69	3,28	10,04	20,54	2,05	19,75
D. padrão	0,17	2,02	1,92	3,56	0,05	2,64
Temperatura (°C)	R. secagem (%)	R. queima (%)	A. Água (%)	P. Aparente	D. Aparente (g/cm ³)	M.Ruptura Flexão (MPa)
1100	3,36	1,00	2,47	5,86	2,37	34,15
1100	3,93	7,76	1,21	2,89	2,39	36,52
1100	3,86	7,56	0,27	0,65	2,39	37,05
1100	3,46	1,00	2,47	5,86	2,37	34,15
1100	3,63	8,04	0,33	0,80	2,42	41,32
1100	3,69	7,56	0,27	0,65	2,39	37,05
Média	3,69	7,72	0,52	1,24	2,39	36,71
D. padrão	0,17	3,48	1,07	2,53	0,02	2,63

Tabela A.6 - Caracterização tecnológica completa, placas prensadas sinterizadas nas temperaturas 800, 900, 1000, 1100 (°C).

Temperatura (°C)	R. secagem (%)	R. queima (%)	A. Água (%)	P.A parente (%)	D. Aparente (g/cm ³)	M.Ruptura Flexão (MPa)
800	0,38	-0,03	15,98	26,82	1,68	7,81
800	0,43	-0,08	16,08	33,48	2,08	7,68
800	0,69	0,74	15,98	32,20	2,02	5,72
800	0,61	-0,08	16,10	29,90	1,86	5,80
800	0,41	-0,18	16,66	25,40	1,53	6,41
800	0,46	-0,18	16,66	25,40	1,53	6,41
Media	0,50	0,03	16,24	28,87	1,78	6,64
D.padrão	0,12	0,35	0,32	3,51	0,24	0,91
Temperatura (°C)	R. secagem (%)	R. queima (%)	A. Água (%)	P.A parente (%)	D. Aparente (g/cm ³)	M.Ruptura Flexão (MPa)
900	0,38	0,41	16,03	30,33	1,89	12,75
900	0,43	0,40	16,41	30,97	1,89	12,23
900	0,69	0,41	16,27	30,63	1,88	10,01
900	0,61	0,56	15,79	30,06	1,90	11,73
900	0,41	0,49	16,27	30,80	1,89	10,63
900	0,46	0,41	16,27	30,80	1,89	13,42
Media	0,50	0,45	16,17	30,60	1,89	11,80
D.padrão	0,12	0,07	0,23	0,34	0,01	1,29
Temperatura (°C)	R. secagem (%)	R. queima (%)	A. Água (%)	P.A parente (%)	D. Aparente (g/cm ³)	M.Ruptura Flexão (MPa)
1000	0,38	2,93	10,63	21,70	2,04	11,94
1000	0,43	3,31	10,37	21,36	2,06	14,86
1000	0,69	3,00	10,49	21,43	2,04	16,75
1000	0,61	3,57	10,06	20,84	2,07	17,15
1000	0,41	3,04	10,18	21,06	2,07	14,21
1000	0,46	3,31	10,37	21,36	2,06	14,86
Media	0,50	3,19	10,35	21,29	2,06	14,96
D.padrão	0,12	0,24	0,21	0,30	0,001	1,88
Temperatura (°C)	R. secagem (%)	R. queima (%)	A. Água (%)	P.A parente (%)	D. Aparente (g/cm ³)	M.Ruptura Flexão (MPa)
1100	0,38	8,69	1,71	3,90	2,28	32,72
1100	0,43	8,25	1,39	3,01	2,17	46,28
1100	0,69	8,92	0,96	2,49	2,59	45,29
1100	0,61	8,53	0,24	0,60	2,45	49,28
1100	0,41	8,83	2,27	4,53	2,00	39,52
1100	0,46	8,97	1,39	2,83	2,04	39,52
Media	0,50	8,70	1,33	2,90	2,25	42,10
D.padrão	0,12	0,27	0,68	1,35	0,23	4,33

Tabela A.7 – Placas laminadas com 18% de umidade, usando massa natural! propriedades físico-mecânicas a 110 (°C).

Temperatura (°C).	R. secagem (%)	M.Ruptura Flexão (MPa)
110	3,37	2,74
110	3,27	2,80
110	2,76	1,22
110	3,18	1,72
110	3,10	2,04
110	3,10	2,04
Media	2,61	2,09
D.padrão	0,21	0,60

Tabela A.8 – Placas laminadas com 18% de umidade, usando massa natural e sinterizadas a 1000°C, queima rápida

Temperatura (°C).	R. secagem (%)	R. queima (%)	A. Água (%)	P.A parente (%)	D. Aparente (g/cm ³) ³	M.Ruptura Flexão (Mpa)
1000	3,37	2,06	13,22	25,63	1,94	10,78
1000	3,27	2,51	12,17	23,96	1,97	7,94
1000	2,76	2,10	11,81	23,11	1,96	10,63
1000	3,18	2,42	17,02	23,37	1,96	9,49
1000	3,10	2,06	11,49	22,62	1,97	12,63
1000	3,10	2,06	11,49	22,62	1,97	12,63
Média	2,61	2,20	12,87	23,55	1,96	10,63
D. padrão	0,21	0,21	2,13	1,13	0,01	1,82

Tabela A.9 - Placas laminadas com 19% de umidade, usando massa natural propriedades físico-mecânicas a 110 (°C).

Temperatura (°C).	R. secagem (%)	M.Ruptura Flexão (MPa)
110	3,77	3,19
110	4,67	3,58
110	3,64	3,00
110	4,55	4,08
110	4,85	2,66
110	5,74	3,59
Media	4,54	3,35
D.padrão	0,70	0,50

Tabela A.13 - Placas laminadas com 21% de umidade , usando massa natural
propriedades fisico-mecânicas a 110(°C).

Temperatura (°C).	R. secagem (%)	M.Ruptura Flexão (MPa)
110	4,25	3,10
110	1,07	2,44
110	4,12	3,61
110	4,28	3,59
110	3,82	3,51
110	3,67	3,61
Media	3,53	3,31
D.padrão	1,23	0,47

Tabela A.14 – Placas laminadas com 21% de umidade, usando massa natural, sinterizadas a 1000°C, queima rápida

Temperatura (°C).	R. secagem (%)	R. queima (%)	A. Água (%)	P.A parente (%)	D. Aparente (g/cm ³)	M.Ruptura Flexão (MPa)
1000	4,25	2,19	10,20	20,17	1,98	17,29
1000	1,07	1,51	10,49	20,62	1,96	17,76
1000	4,12	2,26	9,38	18,59	1,98	18,98
1000	4,28	2,32	10,15	20,13	1,98	22,94
1000	3,82	2,24	10,17	19,99	1,96	11,64
1000	3,67	2,26	9,38	18,59	1,98	18,98
Média	3,53	2,85	9,96	19,92	1,98	17,98
D. padrão	1,23	0,30	0,47	0,87	0,01	3,67

Tabela A.15 – Placas prensados usando massa natural, propriedades fisico-mecânicas a 110 (°C).

Temperatura (°C).	R. secagem (%)	M.Ruptura Flexão (MPa)
110	0,38	5,38
110	0,43	3,97
110	0,69	4,74
110	0,61	5,09
110	0,41	5,91
110	0,46	6,17
Media	0,50	5,21
D.padrão	0,12	0,80

Tabela A.16 – Placas prensados usando massa natural e sinterizadas a 1000°C, queima rápida

Temperatura (°C).	R. Queima (%)	A água	P.A parente (%)	D. Aparente (g/cm ³)	M.Ruptura Flexão MPa
1000	1,90	11,51	22,08	1,80	17,67
1000	1,98	11,66	22,69	1,79	27,03
1000	2,04	10,24	19,95	1,79	15,55
1000	1,81	11,24	21,64	1,79	15,46
1000	2,08	11,66	22,73	1,77	15,61
1000	2,08	12,33	23,50	1,80	15,61
Média	1,98	11,47	22,10	1,79	17,83
D. padrão	0,11	0,59	1,47	0,04	4,61

Tabela A.17 - Placas laminadas com 20% de umidade usando massa formulada, propriedades físico-mecânicas a 110 (°C).

Temperatura (°C).	R. secagem (%)	M.Ruptura Flexão (Ppa)
110	2,60	1,73
110	1,96	1,73
110	2,92	1,89
110	2,72	2,00
110	3,17	0,11
110	2,60	1,73
Média	2,56	1,53
D. padrão	0,40	0,70

Tabela A.18 – Placas laminadas com 20% de umidade usando massa formulada, sinterizadas nas temperaturas 1000, 1100, 1150 (°C), queima rápida .

Temperatura (°C).	R. secagem (%)	R. queima (%)	Δ. Água (%)	P. Aparente (%)	D. Aparente (g/cm ³)	M. Ruptura Flexão (MPa)
1000	2,60	0,94	17,91	29,85	1,67	8,15
1000	1,96	1,01	17,96	29,92	1,67	12,54
1000	2,92	1,04	17,61	29,22	1,66	12,93
1000	2,72	0,28	18,04	29,89	1,66	10,43
1000	3,17	1,09	18,12	30,01	1,66	10,83
1000	2,60	0,94	17,91	29,85	1,67	8,15
Média	2,66	0,88	17,93	29,79	1,66	10,50
D. padrão	0,40	0,30	0,18	0,29	0,00	2,06
Temperatura (°C).	R. secagem (%)	R. queima (%)	A. Água (%)	Aparente (%)	D. Aparente (g/cm ³)	M. Ruptura Flexão (MPa)
1100	2,60	1,66	15,13	25,41	1,68	15,39
1100	1,96	1,68	15,61	26,21	1,68	19,39
1100	2,92	1,71	15,88	26,64	1,68	14,61
1100	2,72	1,62	15,51	26,10	1,68	14,32
1100	3,17	1,45	15,56	26,12	1,68	17,41
1100	2,60	1,66	15,13	25,41	1,68	15,39
Média	2,66	1,63	15,47	25,98	1,68	16,08
D. padrão	0,40	0,09	0,29	0,48	0,00	1,95
Temperatura (°C).	R. secagem (%)	R. queima (%)	A. Água (%)	Aparente (%)	D. Aparente (g/cm ³)	M. Ruptura Flexão (MPa)
1150	2,60	3,34	11,17	18,81	1,68	20,52
1150	1,96	-1,89	10,53	17,87	1,70	15,53
1150	2,92	1,45	11,05	18,70	1,69	17,11
1150	2,72	1,75	10,98	18,52	1,69	16,69
1150	3,17	1,78	10,67	18,04	1,69	17,26
1150	2,60	3,34	11,02	18,59	1,69	20,52
Média	2,66	1,63	10,90	18,42	1,69	17,94
D. padrão	0,40	1,91	0,25	0,38	0,00	2,09

Tabela A.19 – Placas prensados usando massa formulada, propriedades físico-mecânicas a 110 (°C).

Temperatura (°C).	R. secagem (%)	Módulo de Ruptura Flexão (Mpa)
110	0,64	0,56
110	0,56	0,43
110	0,26	0,50
110	0,20	0,78
110	0,26	0,87
110	0,64	0,56
Média	0,43	0,61
D. padrão	0,21	0,17

Tabela A.20 – placas prensados usando massa formulada, sinterizadas nas temperaturas 1000, 1100, 1150 (°C), queima rápida.

Temperatura (°C).	R. secagem (%)	R. queima (%)	A. Água (%)	Aparente (%)	D. aparente (g/cm ³) ³	M. Ruptura Flexão (MPa)
1000	0,64	0,28	18,26	30,67	1,68	4,73
1000	0,56	0,08	19,69	30,55	1,55	9,00
1000	0,26	0,08	18,46	30,98	1,68	6,65
1000	0,20	0,38	17,84	30,14	1,69	8,38
1000	0,26	0,37	18,25	30,70	1,68	9,86
1000	0,64	0,28	18,26	30,67	1,63	4,69
Média	0,43	0,25	18,46	30,62	1,66	7,22
D. padrão	0,21	0,13	0,63	0,28	0,05	2,21
Temperatura (°C).	R. secagem (%)	R. queima (%)	A. Água (%)	Aparente (%)	D. aparente (g/cm ³)	M. Ruptura Flexão (MPa)
1100	0,64	-0,65	16,38	27,45	1,68	15,74
1100	0,56	0,74	16,07	27,10	1,69	13,78
1100	0,26	0,85	16,98	28,35	1,67	9,86
1100	0,20	0,89	20,15	33,06	1,64	12,22
1100	0,26	0,56	16,07	27,13	1,69	10,14
1100	0,64	-0,65	16,38	27,45	1,68	15,74
Média	0,43	0,29	17,00	28,42	1,67	12,91
D. padrão	0,21	0,74	1,58	2,32	0,02	2,61
Temperatura (°C).	R. secagem (%)	R. queima (%)	A. Água (%)	Aparente (%)	D. aparente (g/cm ³)	M. Ruptura Flexão (MPa)
1150	0,64	0,97	13,83	23,14	1,69	16,07
1150	0,56	0,75	13,92	23,15	1,66	14,28
1150	0,26	0,69	14,15	23,45	1,68	14,07
1150	0,20	0,79	13,56	22,66	1,67	10,60
1150	0,26	0,81	13,57	22,72	1,67	15,49
1150	0,64	0,97	13,83	23,14	1,67	16,07
Média	0,43	0,83	13,81	23,04	1,68	14,43
D. padrão	0,21	0,11	0,22	0,30	0,01	2,06