



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E ENGENHARIA DE
MATERIAIS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

AVALIAÇÃO DA SECAGEM E QUEIMA DE PLACAS CERÂMICAS

ED WEINE FERNANDES DE SANTANA

Campina Grande – PB
2006

Ed Weine Fernandes de Santana

AVALIAÇÃO DA SECAGEM E QUEIMA DE PLACAS CERÂMICAS

Área de Concentração

Estrutura, Processamento e Propriedades de Materiais

Linha de Pesquisa

Materiais Cerâmicos

Orientadores

Profa. Dra. Lisiane Navarro de Lima Santana
(UAMa/CCT/UFCG) (Orientador)

Prof. Dr. José Jefferson da Silva Nascimento
(LCTF/UAEM/CCT/UFCG) (Orientador)

Campina Grande – PB
2006



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E ENGENHARIA DE
MATERIAIS**

AVALIAÇÃO DA SECAGEM E QUEIMA DE PLACAS CERÂMICAS

ED WEINE FERNANDES DE SANTANA

Dissertação de Mestrado, apresentada à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências e Engenharia de Materiais.

Campina Grande – PB
2006



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S231a Santana, Ed Weine Fernandes de
2006 Avaliação da secagem e queima de placas cerâmicas/ Ed Weine Fernandes de Santana. — Campina Grande, 2006.
98f.;il.

Referências.

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

Orientadores: Lisiane Navarro de Lima Santana e José Jefferson da Silva Nascimento.

1— Placas Cerâmicas — Avaliação (secagem e queima) 2— Cerâmica — Resistência I— Título

CDU 620.169.1-033.6

AVALIAÇÃO DA SECAGEM E QUEIMA DE PLACAS CERÂMICAS

Ed Weine Fernandes de Santana

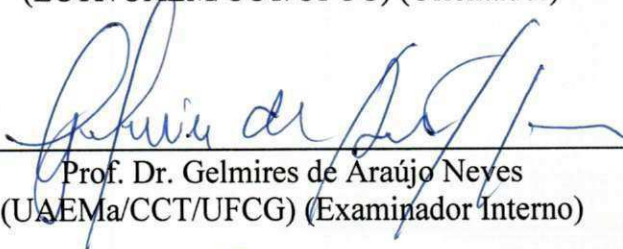
Dissertação defendida e aprovada em 05 de Setembro de 2006, pela banca
examinadora constituída dos seguintes professores.



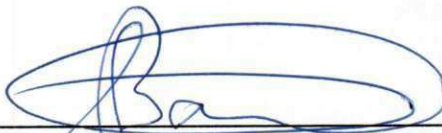
Profª. Dra. Lisiane Navarro de Lima Santana
(UAEMa/CCT/UFCG) (Orientador)



Prof. Dr. José Jefferson da Silva Nascimento
(LCTF/UAEM/CCT/UFCG) (Orientador)



Prof. Dr. Gelmires de Araújo Neves
(UAEMa/CCT/UFCG) (Examinador Interno)



Prof. Dr. Antônio Gilson Barbosa de Lima
(LCTF/UAEM/CCT/UFCG) (Examinador Externo)

Campina Grande – PB
Setembro de 2006

Dedico esta nova realização de minha vida, primeiramente a Deus, que me iluminou e me acompanhou durante todo este percurso, dando-me forças e bençãos para realizar este objetivo.

As minhas filhas, Maria Luiza Pimentel Santana e Maria Eduarda Pimentel Santana, minha amada esposa Andréa Pimentel Santana. À meus pais Francisco Soares de Santana e Maria das Graças Fernandes de Santana, juntamente com meus irmãos: Ed Naldo, Ed Wilson e Luciana, por todo apoio e inspiração que me deram para conclusão deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de luz eterna, a meus pais, minha esposa e filhos pelo incentivo e força nos momentos difíceis, meu eterno agradecimento.

Aos meus orientadores: Professor Dr. José Jefferson Silva Nascimento e a Professora Profa. Dra. Lisiane Navarro de Lima Santana, que me mostraram os caminhos a serem seguidos, guiando-me com sabedoria e dedicação.

Ao Professor Dr. Antonio Gilson Barbosa de Lima, do UAEM/CCT/UFCG, por todo apoio prestado, que foi de fundamental importância na realização deste trabalho. Sem a reconhecida ajuda, seria impossível sua conclusão. Meu agradecimento especial.

Ao Professor Dr. Gelmires de Araújo Neves, do UAEMa/CCT/UFCG, pelo prestimoso auxílio nos experimentos realizados e discussões que em muito elevaram meus conhecimentos.

A UFCG, que disponibilizou toda infra-estrutura para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao CNPQ, que contribuiu financeiramente, durante uma parte deste trabalho.

Ao Laboratório de Solos da UAEC/CCT/UFCG, por ter cedido seus equipamentos e instalações para a realização do beneficiamento da argila.

Aos alunos Ângelo Tavares Cavalcante e Valmir Rodrigues Batista do curso de graduação em Engenharia de Materiais, que me auxiliaram na realização dos experimentos.

A todos os professores e funcionários do UAEMa/CCT/UFCG, meu agradecimento; principalmente os que fazem parte do PPG-CEMat, que compartilharam seus conhecimentos.

A Cláudio Antunes de Alencar, Diretor da ICP-Automação, que disponibilizou amplo e total apoio, indispensável a viabilização do meu projeto pessoal. Também estendo minha gratidão a todos da ICP-Automação e PB-GÁS, que participaram diretamente da conclusão deste trabalho.

E, enfim, a todos os professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais, que de uma forma ou de outra, contribuíram direta ou indiretamente para tornar possível esta extraordinária etapa da minha vida.

“Os homens tornam-se sábios proporcionalmente, não à sua experiência, mas à sua capacidade para aproveitar a experiência.”

(Bernard Shaw)

RESUMO

A indústria cerâmica brasileira ainda apresenta processos industriais atrasados, com grande consumo energético, ocasionando um elevado impacto ambiental. Os produtos finais na sua grande maioria são de baixa qualidade, devido a processos inadequados. Dentro deste contexto, este trabalho visa avaliar resultados dos processos de secagem e queima de placas cerâmicas. As placas foram conformadas por prensagem uniaxial na pressão de 200 kgf/cm², com dois tipos de geometria (bordas retas e bordas arredondadas). A dissertação apresenta resultados experimentais de placas submetidos a secagem em estufas com diferentes temperaturas (60, 80 e 110°C), foram determinados os teores de umidade médio e as variações dimensionais das amostras. Também foi analisada a influência da taxa de aquecimento durante a secagem (1, 6, 11°C/min), até a temperatura de 110°C, nas propriedades físico-mecânicas das placas prensadas. Após a secagem com as mesmas taxas de aquecimento, corpos de provas foram queimados nas temperaturas de 900 e 950°C, e em seguida determinados as propriedades físico-mecânicas. A partir dos resultados, obtivemos as curvas da cinética de secagem e de encolhimento dos corpos de provas submetidos à secagem na estufa, verificamos que quanto menor a taxa de aquecimento na secagem melhor são as propriedades físico-mecânicas dos corpos estudados, bem como os corpos de provas com bordas retas possuíram melhores propriedades, do que os corpos com bordas arredondadas.

Palavras-chave: Secagem, argila, processo, queima, cerâmica vermelha, experimentação.

ABSTRACT

The Brazilian ceramic industry still presents late industrial processes, with great energy consumption, causing a high environmental impact. The final products in your great majority are of low quality, due to inadequate processes. Inside of this context, this work seeks to evaluate results of the drying processes and it burns of ceramic plates. The plates were conformed, pressed in an only sense in the pressure of 200 kgf/cm², with two geometry types (borders straight line and round borders). The dissertation presents experimental results of plates submitted the drying in greenhouses with different temperatures (60, 80 and 110°C), they were certain the medium humidity tenors and the dimensional variations of the samples. The influence of the heating rate was also analyzed during the drying (1, 6, 11°C/min), until the temperature of 110°C, in the physical-mechanical properties of the pressed plates. After the drying with the same heating rates, bodies of proofs were burned in the temperatures of 900 and 950°C, and soon after certain the properties physical-mechanics. Starting from the results, we obtained the curves of the drying kinetics and of shrink of the bodies of proofs submitted to the drying in the greenhouse, we verified that as smaller the heating rate in the drying better is the physical-mechanical properties of the studied bodies, as well as the bodies of proofs with straight borders possessed better properties, that the bodies with round borders.

Word-key: drying, clay, process, burns, red ceramic, experimentation

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	- Principais produtos cerâmicos	29
Tabela 4.1	- Composição química da massa cerâmica	68
Tabela 4.2	- Resultados e parâmetros experimentais referente aos corpos de prova, primeira fase	71
Tabela 4.3	- Parâmetros ajustados aos resultados experimentais de temperatura, Equação (3.17)	74
Tabela 4.4	- Parâmetros de encolhimento obtidos a partir da Equação (3.14). Análise com uma equação	76
Tabela 4.5	- Parâmetros de encolhimento obtidos a partir da Equação (3.14). Análise com duas equações	78
Tabela 4.6	- Média dos resultados e parâmetros experimentais referente aos corpos de prova secos com taxa de aquecimento na secagem	80
Tabela 4.7	- Média dos resultados e parâmetros experimentais referente aos corpos de prova ensaiados durante a secagem com suas taxas	83
Tabela 4.8	- Média dos resultados e parâmetros experimentais referente aos corpos de prova queimados a 900 e 950 °C com diferentes taxas de aquecimento na secagem	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	- Jazida de várzea. Fonte: Tomazetti (2003)	27
Figura 2.2	- Jazida de morro. Fonte: Tomazetti (2003)	28
Figura 2.3	- Processos de fabricação de materiais cerâmicos	32
Figura 2.4	- Esquema representativo do processo de secagem de um material sólido	36
Figura 2.5	- Curvas típicas de secagem	38
Figura 2.6	- Variação do volume aparente x quantidade de água contida na peça	44
Figura 2.7	- Ponto de umidade crítica através da curva de Bigot	44
Figura 2.8	- Forno de alvenaria da Empresa Cotebras (Campina Grande-PB)	47
Figura 2.9	- Forno multi-combustível da Empresa Cotebras (Campina Grande-PB)	47
Figura 3.1	- Moinho de galga	52
Figura 3.2	- Peneira elétrica	52
Figura 3.3	- AS-500C	53
Figura 3.4	- Prensa PCM-100	54
Figura 3.5	- Moldes com bordas retas e arredondadas	55
Figura 3.6	- Paquímetro, balança e dessecador	56
Figura 3.7	- Forno FC-2	57
Figura 3.8	- Máquina de resistência	57
Figura 3.9	- Encolhimento do sólido paralelepípedo durante o processo de secagem	64
Figura 4.1	- Análise térmica da argila	69
Figura 4.2	- Curva de secagem do corpo de prova CPA5110	70
Figura 4.3	- Curva de secagem comparativa dos corpos de provas CPA3110, CPJ580, CPC1060	72
Figura 4.4	- Curva de secagem comparativa dos corpos de provas CPJ180, CPJ580	73
Figura 4.5	- Curva de secagem comparativa dos corpos de provas CPC1360, CPC260	74
Figura 4.6	- Comparação entre os teores de umidade médios do corpo de prova CPB4110 e predito pela Equação (3.17)	75
Figura 4.7	- Gráfico de encolhimento do corpo de prova CPC360. Análise com uma equação	77
Figura 4.8	- Gráfico de encolhimento do corpo de prova CPC360. Análise com duas equações	79

Figura 4.9 - Gráfico de encolhimento do corpo de prova CPA2110. Análise com duas equações	79
Figura 4.10 - Gráfico comparativo do MRF dos corpos de provas secos com uma determinada taxa de aquecimento na secagem	81
Figura 4.11 - Gráfico comparativo da RS dos corpos de provas secos com uma determinada taxa de aquecimento na secagem	82
Figura 4.12 - Gráfico comparativo do MRF dos corpos de provas ensaiados durante a secagem e temperatura do forno com suas respectivas DT	84
Figura 4.13 - Forno com grades para acomodação dos corpos de provas ensaiados durante a secagem	85
Figura 4.14 - Gráfico comparativo do MRF dos corpos de provas submetidos as taxas de aquecimento na secagem e queimados a 900 °C	87
Figura 4.15 - Gráfico comparativo do MRF dos corpos de provas submetidos as taxas de aquecimento na secagem e queimados a 900 e 950 °C	88
Figura 4.16 - Gráfico comparativo da RQ dos corpos de provas submetidos as taxas de aquecimento na secagem e queimados a 900 e 950 °C	89
Figura 4.17 - Corpos de prova (após queima (a), após testes de flexão (b))	90

NOMENCLATURA

AA – absorção de água	[-]
ABC – Associação Brasileira de Cerâmica	[-]
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas	[-]
A_i – constantes $i=1,2,3,\dots$	[-]
aq – após queima	[-]
C – comprimento	[mm]
DA – densidade aparente	[-]
DT – taxa de aquecimento na secagem	[°C/min]
DTA – Análise Térmica Diferencial	[-]
H – espessura	[mm]
K_i – constantes $i=1,2,3,\dots$	[-]
L – largura	[mm]
m – massa em um determinado instante de tempo	[g]
M^* - teor de umidade	[kg/kg]
m_e – massa de equilíbrio após 24 horas	[g]
M_{eq} – teor de umidade de equilíbrio em base seca	[kg/kg]
M_i – teor de umidade a cada instante	[kg/kg]
m_o – massa inicial	[g]
MRF – modulo de ruptura a flexão	[MPa]
m_s – massa de seco após 48horas	[g]
P – peso	[g]
PA – porosidade aparente	[-]
PR – perda ao rubro	[-]
P_u – peso úmido	[g]
R – coeficiente de correlação	[-]
RI – resíduo insolúvel	[-]
RQ – variação linear após queima	[%]
RS – variação linear após secagem	[%]
S – área	[mm ²]
S_s – sensibilidade à secagem	[%/mim]

T_{bu} – temperatura de bulbo úmido	[°C]
TGA – Análise Termogravimétrica	[-]
TR – tensão de ruptura	[gf]
UR – umidade relativa	[-]
V – volume	[mm ³]

SUMÁRIO

Capítulo 1	INTRODUÇÃO	17
Capítulo 2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	A Cerâmica	21
2.1.1	Histórico	21
2.1.2	Conceito de Cerâmica	24
2.1.3	Formação Geológica	24
2.1.4	Matérias Primas para Cerâmica Vermelha	25
2.1.4.1	Argila	25
2.1.4.2	Aplicações das Argilas	26
2.1.5	Principais Produtos Cerâmicos	28
2.2	Caracterização da Argila	29
2.2.1	Análise Química	29
2.2.2	Análise Térmica	30
2.2.2.1	Análise Térmica Diferencial	30
2.2.2.2	Análise Termogravimétrica	31
2.3	Processamento Cerâmico	32
2.3.1	Massas – Cerâmica Vermelha	33
2.3.2	Conformação	34
2.4	Secagem	36
2.4.1	Tipos de Água Presente nos Argilo minérias	40
2.4.2	Porosidade e Retração (Encolhimento)	42
2.4.3	A Sensibilidade à Secagem	45
2.5	Queima	46
2.5.1	A Sinterização	49
2.5.2	O Resfriamento	49
Capítulo 3	MATERIAIS E MÉTODOS	51
3.1	Materiais	51
3.2	Conformação das Placas Cerâmicas	53
3.3	Procedimentos	56
3.4	Secagem	58
3.5	Modelo de Encolhimento	62

3.6	Queima	66
Capítulo 4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
4.1	Caracterização	68
4.2	Resultados Experimentais de Secagem e Retração Volumétrica	70
4.3	Resultados Experimentais de Secagem	80
4.4	Resultados Experimentais de Queima	86
Capítulo 5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS	
	FUTUROS	91
	REFERÊNCIAS	94
	ANEXOS	98

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A indústria da cerâmica vermelha no Brasil, apresenta um problema de relevância que merece ser destacado. No processo de secagem e queima o consumo energético é muito alto e causa grande impacto ambiental. Mais de 90% das quase 7.000 indústrias, usam lenha em seu processamento (Néri, 2002). Além disso, a grande maioria tem baixa qualidade nos produtos finais, apresentando um atraso tecnológico que gira em torno de 50 anos. Hoje em dia, a média de produtividade, tanto financeira quanto de pessoal, representa 1/20 (um vigésimo) da produtividade européia. Este fato é atribuído à baixa formação, capacitação e disseminação do conhecimento tecnológico e gerencial do setor. Poucos são as indústrias desse ramo que têm consciência de que investir em capacitação e tecnologia, é o melhor caminho para a sobrevivência, sustentabilidade e crescimento do setor.

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).

As argilas são usadas na fabricação de materiais para indústria de construção civil, 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 900°C e 1250°C, conforme a natureza da argila, do produto cerâmico, e do forno utilizado, e das condições econômicas locais.

A caracterização da argila é realizada para avaliar a composição da mesma, podendo assim dar uma idéia do seu comportamento durante todo o processamento ao qual vai ser submetida. As análises a serem destacadas são: química, que fornece o conteúdo de óxidos presentes; térmica, que evidencia as reações e as transformações que ocorrem durante o aquecimento da matéria prima.

O processamento de uma massa cerâmica está relacionado com sua caracterização, e dependendo da matéria prima é necessário um procedimento especial. O processamento básico consiste em uma mistura de massa(s) com aditivo(s), sendo posteriormente encaminhado para conformação. A prensagem é um processo de conformação baseado na compactação de um pó granulado, contido no interior de uma matriz rígida, através da aplicação de uma pressão. Em seguida, o corpo de prova extraído do molde é encaminhado para secagem.

Após conformação as peças são submetidas ao processo de secagem, onde no ambiente de secagem a temperatura, umidade relativa e velocidade do ar são parâmetros importantes. A falta de uma adequada interação desses elementos, pode gerar fortes tensões internas no material, provocando retração não uniforme e transporte excessivo de massa.

O processo de queima vem após a secagem dos corpos. Tem grande influência sobre a microestrutura e propriedades desejadas para o produto final. É executada em três etapas distintas: reações preliminares, sinterização e resfriamento (Reed, 1991). A etapa onde ocorre

a consolidação do produto, ou seja, união das partículas em um agregado, durante a queima, é a sinterização, e implica geralmente em retração e densificação. Após a queima, as placas cerâmicas, costumam apresentar uma cor avermelhada e uma tensão de ruptura adequada para aplicação do produto a ser fabricado.

Alguns defeitos como deformações e trincas podem aparecer no produto final, comprometendo assim a sua qualidade. Estes problemas podem estar diretamente relacionados com qualquer uma das etapas do processamento: beneficiamento, mistura, secagem e queima, incluindo as condições internas do secador e do forno.

Segundo Más (2005), a indústria cerâmica, passa por um inevitável processo de modernização. As antigas olarias deverão se transformar em indústrias modernas. Nasce com isso o controle de qualidade, a obediência aos requisitos Inmetro, o cálculo dos custos, o desenvolvimento de novos produtos, o aperfeiçoamento do serviço ao cliente, a busca do valor agregado e à volta por cima da crise energética.

Neste contexto, este trabalho visa acrescentar informações com relação ao processamento de produtos confeccionados com a argila oriunda da cidade de Itaporanga-PB, para que nesta região, as olarias, que venham a se instalar, já comecem a operar seguindo requisitos e avanços tecnológicos.

OBJETIVO

GERAL

O objetivo principal deste projeto é estudar o comportamento de secagem e queima de placas cerâmicas, confeccionadas com uma argila da região de Itaporanga-PB, através do processo de prensagem uniaxial.

ESPECIFICO

- Beneficiar e caracterizar a argila de Itaporanga-PB;
- Determinar experimentalmente as curvas de secagem de placas cerâmicas em várias condições de secagem;
- Obter as curvas de retração volumétrica e analisar o efeito do encolhimento na cinética de secagem, das placas secas em estufas;
- Verificar o efeito da taxa de aquecimento do ar durante a secagem, em relação a geometria da peça e o comportamento mecânico;
- Verificar o efeito da taxa de aquecimento durante a secagem, em corpos de prova após a queima, em relação a geometria e as propriedades físico-mecânicas.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A Cerâmica

2.1.1 Histórico

A história da humanidade está preservada em construções como templos, fortalezas, santuários e cidades construídas de tijolos. A utilização deste material em construções, data de muito tempo, como as antigas muralhas de Jericó de 8.000 anos a.c.. Estas construções são testemunhos da durabilidade do material cerâmico, o qual protegeu construções pré-históricas, preservando através de milhares de anos (Beall, 1997). Segundo Beall (1997), o tijolo é o mais antigo material de construção feito pelo homem, e foi inventado a aproximadamente 10.000 anos atrás.

A Bíblia cita no livro do Êxodo (capítulo 1, versículos 11 e 14), a construção, pelos hebreus, das cidades-armazéns de Pitom e Ramsés: “Por isso, os egípcios impuseram sobre

eles trabalhos duros, e lhes amargaram a vida com dura escravidão: preparação de argila, fabricação de tijolos”.

Talvez a mais importante inovação na evolução da arquitetura, foi o desenvolvimento de arcos e cúpulas de tijolo. Em toda história, o arco foi o primeiro meio de superar as limitações de vãos, impostas por simples blocos de pedra e vigas de madeira, tornando possível a construção de pontes extensas, como a ponte de Alcântara na Espanha, que ainda sustenta uma rodovia sobre seis grandes arcos de tijolos, 48 m acima do rio Tejo (Beall, 1997).

Existem indícios de atividade cerâmica em quase todos os povos da Antiguidade. Os gregos, por muitos séculos, produziram as melhores peças de cerâmica do mundo Mediterrâneo. Na Grécia, em Roma e em outras regiões, a produção de cerâmica era vendida nas feiras, e havia uma exportação contínua de ânforas fenícias para todo o Mediterrâneo, em virtude da sua forma artística e da sua utilidade para servir água, vinho e azeite (Bellingieri, 2003).

No Brasil, há cerca de 2000 anos, já havia, em diversas regiões, populações que manipulavam favoravelmente a argila. A cerâmica mais sofisticada foi desenterrada na Ilha de Marajó (Pará), onde os indígenas desenvolveram o estilo marajoara, produzindo peças altamente elaboradas e especializadas. Os índios brasileiros faziam sua cerâmica modelando e, às vezes, usando moldes ou enrolando, mas nunca numa roda. Além disso, não queimavam a argila em fornos, pois não tinham esta tecnologia, mas sim no chão, com lenha, razão pela qual os artefatos recolhidos em sítios arqueológicos, possuem coloração escura, o que revela que foram “mal cozidos”. Os artefatos produzidos pelos indígenas brasileiros eram em geral destinados à ornamentação e ao acondicionamento e transporte de líquidos e alimentos. Foram os colonizadores portugueses que trouxeram as técnicas para produzir cerâmica utilitária, como telhas e tijolos (Bellingieri, 2003).

Até o século XIX, os sistemas de produção não se modificaram muito. A produção permaneceu manual, a secagem era realizada ao sol e a queima em fornos trapezoidais. Sucessivamente, com o desenvolvimento das primeiras máquinas motrizes a vapor, foi possível mecanizar as operações de extração de matérias-primas, preparação e conformação e, conseqüentemente, aumentar a capacidade de produção. O salto de qualidade e quantidade de produção industrial de tijolos, que não poderia ter acontecido sem as máquinas motrizes, foi ainda favorecido com a construção do primeiro forno de anel de Hoffman. A Itália foi à pioneira na aplicação e fabricação de tijolos da era moderna. Com os avanços tecnológicos que se seguiram, com a introdução de máquinas propulsoras de hélices (marombas) permitindo a fabricação de tijolos e outros produtos em série, em quantidade e qualidade. Outros países como Espanha, França e Alemanha se destacaram no mercado como produtores de cerâmica vermelha e como fabricantes de equipamentos (Oliveira et al., 2005).

No Brasil, a fabricação de tijolos e outros produtos afins ocorreram no início do presente século. Entretanto, foi somente na década de 30, que foram fabricados os primeiros tijolos furados através de processos mecanizados (Oliveira et al., 2005).

Segundo Reed (1991), o processo cerâmico é uma antiga arte, mas pode ser considerada uma nova ciência aplicada. A história do processo cerâmico indica períodos de rápido desenvolvimento intercalados com longos períodos de desenvolvimento lento.

Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM, 2002), a cerâmica é importante para a economia do país, com participação no PIB estimada de 1%, e produtos de diversos segmentos cerâmicos com nível de qualidade mundial, e apreciável quantidade exportada. O setor cerâmico é bastante diversificado, existindo segmentos com maior ou menor grau de desenvolvimento e capacidade de produção.

No Brasil, a grande concentração de indústrias cerâmicas se dá nas regiões sudeste e sul, devido ao maior desenvolvimento, associado às facilidades de matérias-primas, energia e

centros de pesquisas. Outras regiões têm apresentado desenvolvimento, principalmente a região Nordeste (ABCERAM, 2005).

2.1.2 Conceito de Cerâmica

De acordo com a ABCERAM (2002), cerâmica ou material cerâmico, compreendem todos os materiais inorgânicos ou não-metálicos de emprego em engenharia (materiais de construção) ou produtos químicos inorgânicos (com exceção dos metais e suas ligas), que são utilizados geralmente após tratamento em temperaturas elevadas.

2.1.3 Formação Geológica

Segundo Souza Santos (1992), atualmente é dada ênfase se a argila é residual ou transportada. Argilas residuais ou primárias, são assim denominadas porque são formadas no mesmo local da rocha que lhe deu origem, devido as condições adequadas de intemperismo, topografia e natureza da rocha matriz. O principal agente formador destas argilas é a água subterrânea, que provoca reações químicas que vão desgastando a rocha. A pureza da argila residual depende da natureza da rocha que lhe deu origem, da quantidade de impurezas removidas, etc. As argilas residuais podem ser classificadas em dois grupos: caulins, de cores claras ou brancas; e argilas residuais, de cor vermelha após o processo de queima.

Argilas transportadas ou secundárias, ou ainda sedimentares, são provenientes de materiais transportados por ações naturais: ventos, chuvas, ações glaciais, etc. As argilas sedimentares, podem ser divididas em: marinhas, que depositam-se de suspensões aquosas transportadas mecanicamente por correntes em água calmas, a certa distância da costa; de estuário, que são depositadas em braços oceânicos rasos; lacustres, que ocorrem em bacias

restritas e estão tipicamente alternadas com camadas de areia; de pântanos, que geralmente é encontrado sob lençóis de carvão; e fluviais, que são depositados em locais protegidos em planícies de inundação, durante os períodos de enchente (Souza Santos, 1992).

2.1.4 Matérias Primas para Cerâmica Vermelha

Os materiais cerâmicos são fabricados a partir de matérias-primas, classificadas em naturais e sintéticas. As naturais mais utilizadas industrialmente são: argila, caulim, quartzo, feldspato, filito, talco, calcita, dolomita, magnesita, cromita, bauxito, grafita e zirconita. As sintéticas incluem entre outras, a alumina (óxido de alumínio) sob diferentes formas (calcinada, eletrofundida); carbonato de silício, e os mais diversos produtos químicos inorgânicos.

2.1.4.1 Argila

A argila é um material cerâmico natural, de textura terrosa, de granulação fina, constituída essencialmente de argilominerais, podendo conter certos minerais que não são argilominerais, tais como: calcita, dolomita, gipsita, quartzo, pirita, mica, matéria orgânica, sais solúveis e outras impurezas. Tendo uma característica de quando pulverizada e umedecida, tornar-se plástica, com exceção da “*flint clay*” (Macedo, 1997).

Os Argilominerais são os principais formadores dos produtos cerâmicos, e possuem diâmetros de partículas não superiores a $2\mu\text{m}$. São silicatos hidratados de rede cristalina em camadas, ou de estruturas fibrosas, constituídos por planos de tetraedros SiO_4^{-4} , ordenados em forma hexagonal, condensados com folhas ou camadas octaédricas, e apresentando pequenas dimensões (Souza Santos, 1992).

2.1.4.2 Aplicação das Argilas

De acordo com ABCERAM (2002), as argilas apresentam uma enorme gama de aplicações, tanto na área de cerâmica como em outras áreas tecnológicas. Pode-se dizer que em quase todos os segmentos de cerâmica tradicional, a argila constitui, total ou parcialmente, a composição das massas.

As principais argilas industriais, ou seja, àquelas que existem em quantidades economicamente suficientes para exploração industrial, são: caulim; ball-clay; fire-clay; bentonita; terra fuller; argilas para finalidades diversas.

Antes de iniciar a exploração das jazidas de argila, é necessário um estudo completo das características e do volume disponível do material. No estudo qualitativo, são analisados a composição (teor em material argiloso), a pureza, as características físicas e o comportamento, durante a secagem, e o cozimento da matéria prima. O valor comercial da jazida é estimado, principalmente, em função da quantidade e da qualidade do material disponível. São levadas em consideração as facilidades de acesso à jazida, sua localização, transporte e se há água disponível nas proximidades.

Certas quantidades de argilas, principalmente as bentonitas, possuem uma pequena, porém muito importante quantidade de cátions trocáveis, que conferem características industrialmente desejáveis, o que valoriza a sua exploração, tornando-as mais caras (Souza Santos, 1992).

As argilas que são mais adequadas à fabricação dos produtos de cerâmica vermelha, apresentam em sua composição os argilominerais illita, de camadas mistas illita-montmorilonita, além de caulinita, pequenos teores de montmorilonita e compostos de ferro.

De acordo com Tomazetti (2003), os depósitos onde podem ser encontradas as argilas para produção de tijolos, são:

- ✚ Argila de várzea - encontrada às margens de rios ou banhados, apresenta textura terrosa, esfarelada e em torrões, granulometria fina e, quando úmida, elevada plasticidade, sendo, por isso, empregada como ligante da massa. Apresenta com maior frequência, impurezas como o quartzo, mica e matéria orgânica. Esta última, quando em teores elevados, é uma das responsáveis pelas perdas e contração do produto durante a queima (Figura 2.1).



Figura 2.1 - Jazida de várzea. Fonte: Tomazetti (2003)

- ✚ Argila de morro - encontrada longe de banhados e rios, apresenta textura terrosa, granular ou em blocos, desagregando-se geralmente em pequenos fragmentos. Possui baixa plasticidade, coloração natural mais clara, e cor variável entre vermelha e amarelada, após a queima, contendo quartzo e feldspato como impurezas, além de baixo teor de matéria orgânica. Nessas argilas é muito comum a presença de seixos e cascalhos, e eventualmente, de carbonatos (Figura 2.2).



Figura 2.2 - Jazida de morro. Fonte: Tomazetti (2003)

- ✚ Argila tipo taguá - encontradas em camadas bastante profundas, sob rios ou encostas de morros. Caracteriza-se por camadas delgadas e muito duras de materiais argilosos de cores variadas, com predominância do vermelho e do cinza. Sua extração exige máquinas potentes e, às vezes, detonações por dinamite. Seu material deve ser seco, e moído antes de entrar na linha de processamento.

2.1.5 Principais Produtos Cerâmicos

Vários autores, classificam os produtos cerâmicos em: tradicionais, técnicas e avançadas, incluindo o vidro como material cerâmico. As diferenças fundamentais, estão mais relacionadas à temperatura de queima, bem como, a composição da matéria prima. A Tabela 2.1, mostra uma classificação dos principais produtos cerâmicos (Norton, 1973). Nela, também, mostra uma classificação usando como critério a porosidade.

Tabela 2.1 – Principais produtos cerâmicos

Tipos	Produtos	Meio Material
Tradicional	–	Tijolos/telhas;tubos/manilhas;vasos/objetos decorativos.
Técnica	Louça Faiança; Louça natural (vermelha); Louça fina (calcítica); Louça semivítrea (feldspática)	Louça de mesa; louça de mesa/objetos.
	Grês natural	Louça de mesa.
	Grês fino	Louça sanitária.
	Grês fino; Grês vítreo; Grês Jaspe; Grês Balsático	–
	Porcelana de hotel	Louça de mesa com espessura grossa.
	Porcelana doméstica	Louça de mesa com espessura normal.
	Porcelana de ossos	Louça de mesa com espessura fina.
	Porcelana resistente à chama	Panelas/travessas.
Porcelana Elétrica	Componentes elétricos.	
Avançada	Caixa de motores /talheres; revestimento de naves espaciais; próteses ósseas e dentárias; componentes eletrônicos.	

FONTE: Fernandes (1998)

2.2 Caracterização da Argila

2.2.1 Análise Química

A análise química permite determinar os teores de óxidos presentes em uma argila. São determinado normalmente o teor: umidade, perda ao fogo, SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , FeO , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , Cu , Mn , matéria orgânica, capacidade de troca de cátions, e identificação desses cátions (Souza Santos, 1992).

Esta análise não pode fornecer uma avaliação completa da composição mineralógica e das propriedades físico-químicas de uma argila, mas fornece dados úteis à caracterização do conteúdo de pelo menos algumas substâncias.

2.2.2 Análise Térmica

As análises térmicas desempenham, sem sombra de dúvida, grande relevância na caracterização das argilas, seja no que se refere aos minerais argilosos, ou aos componentes da matriz. As análises térmicas, como tal, evidenciam as reações e as transformações que ocorrem durante o aquecimento do material.

2.2.2.1 Análise Térmica Diferencial

A análise térmica diferencial (DTA) consiste em registrar as diferenças de temperaturas entre o padrão inerte (normalmente óxido de alumínio-alfa) e a amostra em estudo, durante um aquecimento em velocidade constante dos mesmos e, portanto, o calor desenvolvido ou absorvido pela amostra em exame, que sofre transformações físicas ou químicas. Obtém-se, neste caso, uma curva cujos picos estão representados nas reações endotérmicas ou exotérmicas do mineral. Caso não houvesse transformações com relação ao padrão, ter-se-ia uma curva paralela ao eixo das temperaturas (Souza Santos, 1992).

As principais reações endotérmicas, ocorrem na presença de água, devida a umidade residual ou reabsorvida pelo material, presente na constituição dos minerais argilosos e das oxidrilas, ou proveniente da dissociação dos carbonatos.

As principais reações exotérmicas, são devidas à presença de substâncias orgânicas, carbonadas e a recristalização.

Como a área do pico é proporcional a mudança de calor envolvido, pode a mesma ser utilizada na identificação qualitativa e quantitativa de compostos inorgânicos e orgânicos de uma amostra (Mothé e Azevedo, 2002).

2.2.2.2 Análise Termogravimétrica

Em uma curva termogravimétrica observa-se a inflexão, devido ao processo de degradação térmica do material, o qual depende da natureza química, ou seja, da estrutura e da extensão das forças de interação (Mothé e Azevedo, 2002).

Existem fatores que podem influenciar a curva de variação de massa, e são divididos em duas categorias (Mothé e Azevedo, 2002).

- ✚ Fatores instrumentais: atmosfera do forno (dependendo do tipo de reação e subprodutos que se formam, utiliza-se uma atmosfera inerte ou não); composição do conteúdo da amostra; geometria do forno; razão de aquecimento; sensibilidade do mecanismo de registro.
- ✚ Características da amostra: calor de reação; condutividade térmica; empacotamento da amostra; natureza da amostra; solubilidade de gás desprendido.

A adição de mais algumas curvas, na análise final, ajuda na interpretação da TGA, como por exemplo, a DTA.

A maioria das curvas de TGA exhibe perdas de peso, que são causadas por reações químicas (decomposição, perda de água) e transições físicas (vaporização, sublimação). Raramente observa-se um aumento de peso, que pode ser resultado de reações químicas (formações de não volátil), e transições físicas (absorção de substâncias).

Pode-se notar, também, falsas mudanças de massas que podem ocorrer devido a forças eletro-magnéticas. A forma da curva TGA é normalmente característica do efeito medido e pode ser usada normalmente para propósitos de identificação dos possíveis produtos de decomposição (Widmann, 2001).

2.3 Processamento Cerâmico

As propriedades dos produtos, demonstram a existência de uma correlação intensa com as características físicas da matéria prima utilizada, bem como, o seu processo de fabricação, que é uma das principais preocupações na aplicação dos materiais cerâmicos.

As matérias-primas, no estado em que geralmente são extraídas, têm que ser submetidas a uma operação de moagem ou trituração, onde os tamanhos das partículas são reduzidos, através de britadores e moinhos. Isso é seguido por um peneiramento ou uma classificação granulométrica, que resulta um produto detentor de uma faixa desejada de tamanho de partículas, podendo ser via úmido, produzindo uma melhor homogeneização, ou via seco (Callister, 2002).

A Figura 2.3, mostra um esquema taxonômico, para alguns tipos de técnicas de conformação dos materiais cerâmicos (Callister, 2002).

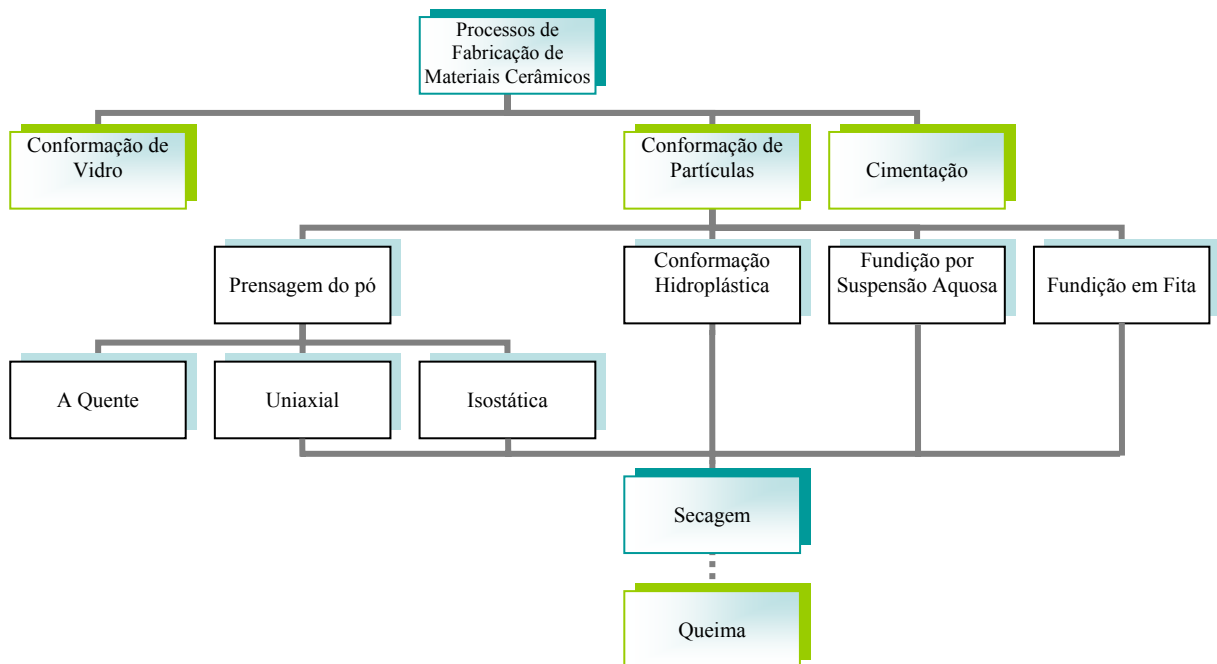


Figura 2.3 – Processos de fabricação de materiais cerâmicos

Uma vez que os materiais cerâmicos possuem temperaturas de fusão relativamente elevadas, a fundição desses materiais é normalmente um processo impraticável. Algumas peças cerâmicas são conformadas a partir de pós, que devem ao final ser secados e levados a queima.

2.3.1 Massas – Cerâmica Vermelha

A massa cerâmica natural é formada por uma só matéria-prima, com as necessárias proporções entre os minerais, que permitem a manufatura de uma peça cerâmica (Gomes, 2005).

Para sistemas multicomponentes, ou seja, mistura de mais de uma argila, ou de matérias argilo-arenoso, os componentes devem ser completamente misturados entre si, e com a água. Assim procedendo, obtém-se as características de escoamento, que sejam compatíveis com a técnica particular da conformação empregada. O tempo de mistura é muito importante no processo, pois ele deve ser determinado para realizar uma homogeneização de todas as partículas da mistura. E este tempo, depende do equipamento, bem como das matérias primas utilizadas.

Podem ser misturados pós com diferenças entre os tamanhos de grão, para melhorar ao máximo o empacotamento e a densidade, e com isso diminuir a viscosidade de mistura. Quando introduz partículas menores, preenchem-se os espaços vazios, libertando fluido previamente imobilizado, diminuindo desta forma os aglomerados (German, 1990).

Segundo Albero (2000 a), a técnica de preparação empregada na obtenção da massa, irá influenciar as características da mistura resultante, como sua distribuição de tamanho de partículas, a forma e textura dos grânulos (atomização) ou aglomerados, que por sua vez, irão

influenciar a etapa de prensagem e nas características microestruturais da peça, a verde, obtida.

2.3.2 Conformação

Existem vários métodos de conformação utilizado na cerâmica vermelha, dentre os quais destaca-se: a prensagem manual e mecânica, extrusão e moldagem plástica.

O processo de prensagem é uma operação de conformação, baseado na compactação de um pó granulado contido no interior de uma matriz rígida, ou de um molde flexível, através da aplicação de uma pressão, que varia de acordo com as características desejada para o produto final.

Existem três procedimentos básicos de prensagem de pós: uniaxial, isostática e a quente. Na uniaxial, o pó é compactado em um molde metálico, através de uma pressão que é aplicada ao longo de uma única direção. Na isostática, o material está contido em um envelope normalmente de borracha, e a pressão é aplicada por um fluido, isostaticamente. Neste caso, são possíveis formas mais complicadas, entretanto é um procedimento mais demorado e mais caro. Esses dois procedimentos, exigem uma operação de cozimento após a intervenção de prensagem. Na prensagem a quente, a compressão do pó e o tratamento térmico são realizados simultaneamente. Esta é uma técnica de fabricação cara, que possui algumas limitações (Callister, 2002).

A prensagem é dividida em três etapas principais:

Preenchimento do molde. Para que esta fase da operação se desenvolva rapidamente, e para que a distribuição da quantidade de massa na cavidade do molde seja uniforme e reprodutível, é imprescindível que a massa flua bem sob o efeito das forças de gravidade. Tal

característica, é determinada pela distribuição granulométrica, a forma, a textura superficial dos grânulos e também a aderência apresentada (Albero, 2000 a).

Compactação da massa. Esta etapa pode ser idealmente dividida em três estágios de compactação, onde o primeiro, se estende desde o início da compactação até o valor em que os grânulos atingem o grau máximo de empacotamento; o segundo, compreende o intervalo de pressões que se estende desde pressão do grau máximo de empacotamento até o valor de pressão na qual a compactação do corpo coincide com a do grânulo, eliminando a porosidade intergranular; e o estágio final, tem como consequência, que a diminuição de volume só pode decorrer da eliminação da porosidade intragranular (Albero, 2000 b). Nesta etapa, é necessária uma variação experimental da pressão de compactação, para determinar a melhor pressão de trabalho para a fabricação do produto, que depende do comportamento mecânico dos grânulos, e das características estruturais das partículas (Albero, 2001 a).

Extração da peça. Nesta etapa, a energia elástica, que permanece armazenada na peça durante a fase de compactação, começa a ser dissipada, à medida que se retira a carga e extrai-se a peça, provocando um aumento de suas dimensões (Albero, 2001 b).

As desvantagens do processo de prensagem são: a existência de gradientes de densidade no corpo conformado, que pode ser minimizado exercendo a pressão em duplo sentido; desgastes da matriz, que é evitado com a utilização de aditivos; Fissuração do pré-compactado, que é evitado através da utilização de uma pré-carga, e uma variação lenta da pressão.

As vantagens do processo de prensagem são: elevada produtividade; baixo custo; facilidade de automação; tamanhos de peças variados.

A peça conformada, deve possuir uma resistência mecânica suficiente para permanecer intacta ao longo do processo produtivo: transporte, secagem, decoração, armazenamento e queima.

2.4 Secagem

A secagem é a remoção de um líquido de um meio poroso por meio do transporte deste, e evaporação dentro de uma atmosfera insaturada (Figura 2.4), ou seja, a pressão de vapor na superfície do sólido, é maior do que a pressão de vapor do meio circundante (Reed 1991).

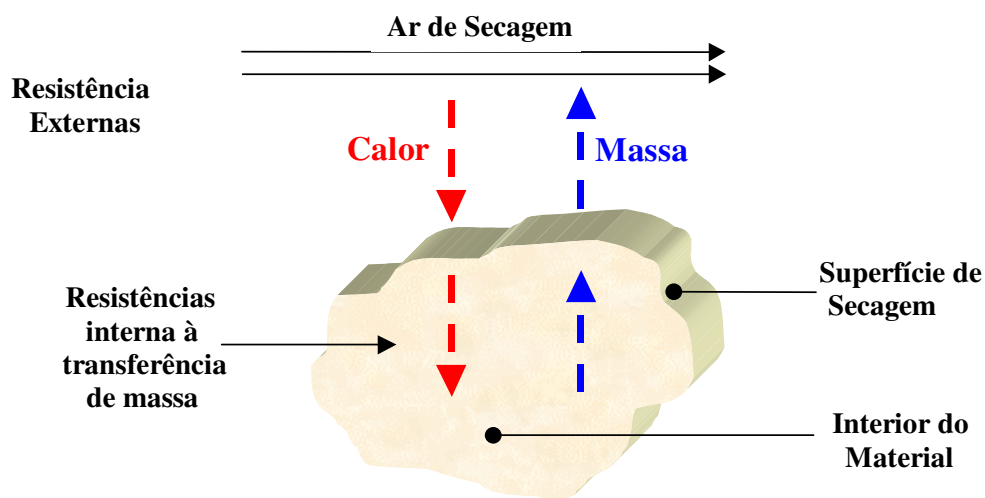


Figura 2.4 – Esquema representativo do processo de secagem de um material sólido

O número de Biot está relacionado com o coeficiente convectivo de transferência e difusão de massa do corpo de prova, bem como uma dimensão característica do mesmo (Cremasco, 1998).

Segundo Cremasco (1998), se o número de Biot de transferência de massa tender para o infinito, diz-se que a resistência externa ao fenômeno de transferência de massa, é desprezível em face ao fenômeno difusivo que está se processando no meio em que ocorre transporte de matéria (resistência interna grande). Neste caso, diz-se que o processo é controlado internamente.

Por outro lado, quando o número de Biot de transferência de massa tende para zero, diz-se que o processo que rege a transferência de massa, está situado externamente ao meio onde há o fenômeno difusivo. Neste caso, a resistência interna é desprezível, comparada à externa (resistência externa grande) e o processo é controlado externamente.

Durante o processo de secagem, elevados gradientes de umidade e temperatura no interior do sólido, podem causar defeitos irreversíveis no mesmo, como a perda da qualidade do produto final, ou sua perda total, diminuindo a produtividade do processo, e aumentando custos operacionais. É importante que se conheçam os efeitos da secagem e o seu controle, uma vez que estes provocam alterações nas propriedades físicas e químicas do produto. Tais alterações afetam sensivelmente seu processo de transferência de calor e massa.

O ar aquecido fornece calor no processo industrial de secagem, portanto suas propriedades termodinâmicas devem ser bem avaliadas. Torna-se necessário o conhecimento da temperatura, velocidade e umidade relativa do ar, de tal maneira que sob determinadas condições operacionais, possa-se proporcionar uma secagem uniforme ao produto.

A transferência de calor e massa entre o sólido e o ar de secagem, é um fenômeno associado a qualquer condição do seu enxugamento. O processo de desidratação em materiais cerâmicos, apresenta as três etapas clássicas de secagem, como mostrado na Figura 2.5 (Arnosti et al., 1999).

As curvas na Figura 2.5 são: redução do teor de umidade do sólido, da taxa de secagem e da variação de temperatura do sólido ao longo do período de secagem. O período onde o teor de umidade é o inicial (M_0), representa o início da secagem, com elevação da temperatura e da pressão de vapor de água. Nesse instante, a taxa de secagem é crescente, devido à umidade relativa do ar na camada limite ser menor que 100%, acontecendo o que se chama usualmente de acomodação, de acordo com Reed (1991). Tais elevações, continuam

até o ponto onde haja equivalência entre a transferência de calor e massa (água), ou seja, o período de taxa constante.

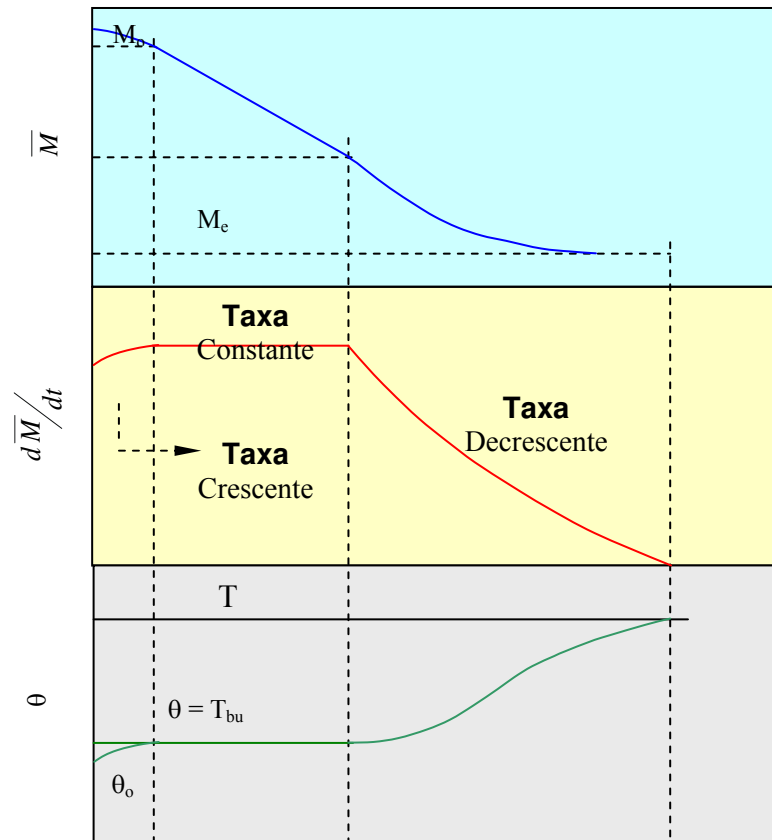


Figura 2.5 – Curvas típicas de secagem

No período de taxa de secagem constante, a água evaporada é água livre. Enquanto houver umidade superficial para acompanhar o processo de evaporação, a taxa de secagem será constante, e a temperatura do sólido é a temperatura de bulbo-úmido do ar (T_{bu})¹. Neste período, a taxa de evaporação e a evaporação superficial são constantes, e a massa de água

¹ Segundo Boles e Cengel (2001) há duas classificações para a temperatura de bulbo úmido, são elas: temperatura de termômetro úmido e a temperatura de saturação adiabática. A primeira é a temperatura determinada através de um termômetro coberto por uma material poroso saturado de água e sujeito a uma corrente de ar. A segunda está associada a um processo de saturação adiabática, ou seja, um sistema composto por um tubo isolado contendo água recebe uma corrente contínua de ar insaturado que tem uma umidade específica desconhecida e uma certa temperatura. À medida que o ar escoar pelo tubo sobre a água, alguma água evapora e mistura-se com a corrente de ar. O teor de umidade aumentará e a temperatura diminuirá, pois parte do calor latente de vaporização da água que evapora provém do ar.

evaporada é diretamente proporcional à diferença entre a pressão de vapor do líquido na superfície do sólido à temperatura de evaporação (p_w), e a pressão de vapor do líquido no ar ambiente ao redor do sólido (p_a), ocorrendo a secagem se p_w for maior que p_a (Reed, 1991). O período é finalizado, quando o sólido atinge um teor de umidade a partir do qual a temperatura começa a elevar-se. O ponto de término do período de taxa constante, é chamado de teor de umidade crítica. A partir deste ponto, a temperatura da superfície do sólido eleva-se, e a taxa de secagem cai, iniciando-se o período de taxa decrescente.

No período de taxa decrescente, a superfície do sólido apresenta uma redução no seu teor de líquido, acontecendo uma redução da transferência de massa, e a mudança de calor não é equivalente a de massa. O fator da não equivalência, é a redução da migração de umidade do interior, para a superfície do produto. Ocorre um aumento da temperatura, até atingir a temperatura do ar de secagem, ou seja, a temperatura de bulbo-seco. Quando o sólido atinge o ponto de umidade de equilíbrio, isto é, menor teor de umidade atingido no processo de secagem com o sólido nas condições a que está submetido, cessa o processo de transferência de massa.

No período de taxa constante, a transferência de massa é influenciada pelas condições externas. No entanto, no período de taxa decrescente, a transferência de massa é controlada por mecanismos, internos e externos, de transporte de umidade, tais como movimento de líquido, devido a forças superficiais, a difusão de umidade na superfície do poro, a diferenças de concentração de umidade, bem como, movimento de vapor, devido a diferenças de concentração de umidade e diferenças de temperatura. Os mecanismos são dependentes da relação entre o coeficiente de difusão de massa do sólido e o coeficiente de transferência convectiva de massa, na superfície do mesmo.

2.4.1 Tipos de Água Presente nos Argilo minerais

O conhecimento dos tipos de água presentes nos argilominerais, é importante sob o ponto de vista científico, pois determinadas propriedades, tais como plasticidade, resistência mecânica a úmido e a seco, retração linear e volumétrica, são fortemente alteradas pela quantidade de água existente nos argilominerais.

Para uma melhor compreensão do estudo da secagem dos materiais cerâmicos, estão descritos a seguir os tipos de ligações da água, geralmente contidos no interior de uma massa cerâmica argilosa (Souza Santos, 1992):

- a) **Água Não-Combinada**, é a água presente na massa de argila, que não possui interação química detectável com as partículas dos argilominerais, ou seja, não fazem parte da estrutura dos minerais de argila, não formando íons hidroxila. Pode-se definir seus tipos, como a água livre, que é a água em excesso presente no produto que foi conformado, ou seja, é a água presente no substrato sólido, sendo caracterizada como água interpartículas e água de poros.
- b) **Água Combinada**, pode ser coordenada, absorvida e/ou zeolítica. *Água coordenada*, é a água associada aos cátions presentes na massa cerâmica, existindo interação entre os cátions e as moléculas de água. *Água adsorvida*, é a água ligada à superfície externa, e em volta das arestas das partículas dos argilominerais, devido a ligações quebradas. *Água zeolítica*, é a água presente nos canais tubulares, existentes entre as unidades estruturais fibrilares das redes cristalinas dos argilominerais sepiolita-paligorsquita, sendo uma água intercalada, muito específica. Não é comum a existência desses argilominerais em matérias primas cerâmicas.

c) **Água de Constituição**, é a água presente nos minerais de argila na forma de íons hidroxila, estando contida na rede cristalina dos minerais de argila. Por exemplo, a caulinita, que é um mineral de argila, possui água ligada quimicamente em sua estrutura na forma de íons hidroxila. A água presente neste mineral, só é liberada em temperaturas acima de 500 °C, provocando a decomposição deste tipo de mineral em alumina, sílica e água.

O tijolo comum, por exemplo, cerâmica vermelha estrutural, conserva cerca de 1 kg de água após a moldagem, de acordo com Bauer (1994). Se a argila for levada ainda úmida para o forno, a umidade existente no interior do tijolo ficará retida pela crosta externa, gerando tensões internas e abrindo pequenas fendas. Sendo assim, a água presente nas etapas de conformação, deve então ser eliminada antes da queima, de forma lenta e cuidadosa, impedindo fraturas e trincas nas peças, que diminuem a qualidade do produto final (Fernandes, 1998).

Para se poder moldar a argila em pó, é necessário adicionar água, da qual boa parte é retirada durante a secagem. Cada uma das partículas que constituem o pó cerâmico, é envolvida por uma película de água. Então os materiais constituídos de partículas finas e que possuem maior superfície específica², precisam ser preparados com uma maior quantidade de água. Este fenômeno possibilita altos índices de retração linear e volumétrica, provocando o aparecimento de trincas e deformações no produto final, contribuindo para sua perda de qualidade (Nascimento, 2002).

As argilas, muito maleáveis, perdem na secagem de 5 a 8% do seu volume. Os argilominerais, menos maleáveis, perdem cerca de 3 a 5%. Tudo depende, portanto, do tamanho de partícula da argila. A esmectita, uma argila muito maleável, de grão muito fino

² A superfície específica, segundo Fernandes (1998), é a soma da área interna (caso exista), mais a área externa das partículas, por unidade de massa.

(baixa produtividade), que é geralmente utilizada em pequena percentagem para conferir uma maior maleabilidade a outras massas cerâmicas, chega a perder na secagem de 10 a 15% do seu volume, quando posta para secar. Ao acrescentar-se a esta, uma perda adicional sofrida durante a queima, a esmectita chega a perder de 40 a 50% do seu volume (Nascimento, 2002).

O teor de umidade final de uma argila seca a 110°C, situa-se entre 5 a 10 por cento, segundo Souza Santos (1992). Pode-se dizer que, quanto maior é a perda de massa, e diminuição de volume durante a secagem, maior é também a tensão delas resultante, e no caso da secagem ser demasiadamente rápida, pode ocorrer o aparecimento de trincas e fraturas.

Experiências com argilas, citadas por Medeiros (1977), indicam que na secagem de varias peças de argila com fina granulometria, na temperatura ambiente, a evaporação praticamente só ocorre na superfície. Neste contexto, a teoria de difusão líquida pode ser aceita, sobre adequadas condições de contorno, propriedades variáveis e ocorrência de encolhimento.

Há outros parâmetros importantes no processo de secagem, além da velocidade, temperatura, umidade relativa do ar de secagem, natureza do material cerâmico e geometria do produto, de acordo com Krause (1977), que são: porosidade, retração e sensibilidade de secagem.

2.4.2 Porosidade e Retração (Encolhimento)

As características de secagem dependem do argilomineral presente, e de seu estado físico, segundo Elias (1995). Comparando duas argilas de mesma mineralogia, contrairá mais a argila que tiver um tamanho de grão menor. Isto é necessariamente assim, porque, uma maior trituração, determina uma maior superfície específica, e uma capacidade de absorção de água maior.

Para facilitar a secagem, é preciso uma combinação de poros grandes, médios e pequenos (Nascimento, 2002). Se a argila apresentar problemas de secagem, deve-se recorrer à ação de redutores de plasticidade. Estes são sólidos inertes (a maioria das vezes seguem inertes durante a queima), que se misturam com as argilas, para manter os caminhos de saída da água. A adição de um redutor de plasticidade a uma argila, aumenta a condutibilidade capilar, enquanto as velocidades de secagem são mais elevadas.

A homogeneidade das partículas de uma argila com a mesma dimensão, resultará, teoricamente, em uma porosidade mínima em torno de 40%. Maiores quantidades de partículas finas e grossas, e menores quantidades de partículas médias, favorecerão um empacotamento denso (menor porosidade), e uma resistência mecânica mais elevada. No entanto, absorvem mais água, e encolhem mais que as de maior porosidade (Fernandes, 1998). Valendo-se ressalta, no início do processo de mistura.

Sabe-se que durante a secagem, dependendo do teor de umidade inicial do produto, maior encolhimento ocorrerá. Portanto, massas que exijam grandes quantidades de água, devem ter uma secagem controlada, para evitar trincas, devido ao excessivo encolhimento (Fernandes, 1998). Sabe-se, ainda, que a contração muitas vezes é necessária, para que aconteça a desmoldagem posterior a secagem (de um molde de gesso, por exemplo).

Observando a Figura 2.6, verifica-se que durante a secagem, a peça diminui de volume de modo uniforme (Bouckaert, 1992), do ponto A até o ponto B (ponto de umidade crítica). Deste ponto em diante, não mais ocorrerá diminuição de volume e sim de massa. Assim, a partir deste ponto, a secagem pode ser acelerada, sem causar danos a peça. Estes valores, bem como o comportamento físico, dependem do tipo de material que está sendo submetido à secagem e do seu teor de umidade inicial.

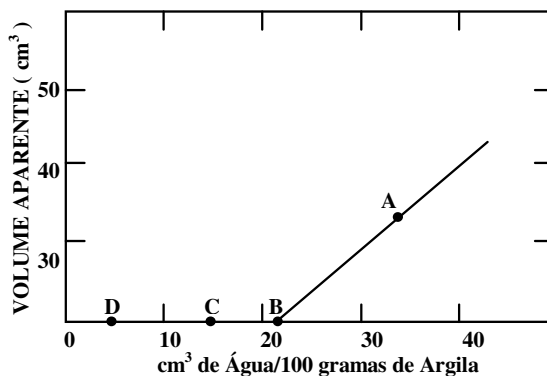


Figura 2.6 - Variação do volume aparente x quantidade de água contida na peça

A evolução da contração de secagem, em função da perda de umidade, é dada pela denominada curva de Bigot, Figura 2.7. A contração, dependendo do tipo de argila, pode oscilar entre 3% e 8% (Elias, 1995).

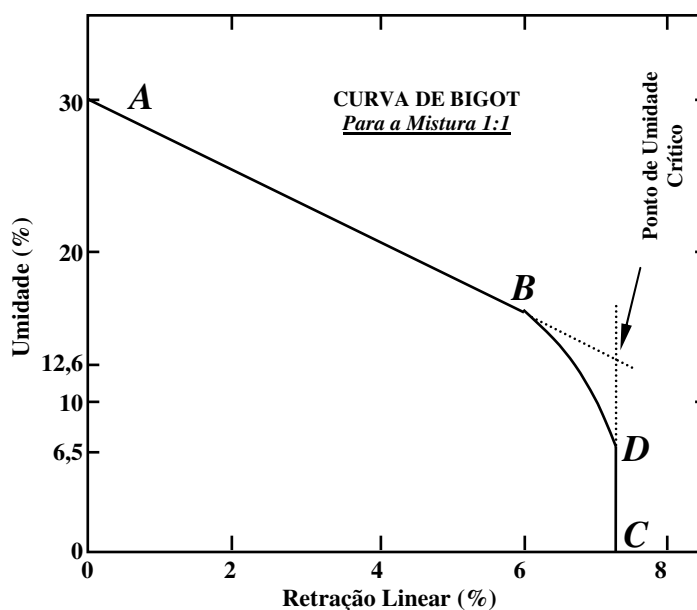


Figura 2.7 – Ponto de umidade crítica através da curva de Bigot

O ponto de umidade crítica, não está perfeitamente definido em muitas argilas. Obviamente, quanto mais plástica a argila, maior a contração, e maior o risco de que se produzam tensões que originem fissuras de secagem.

Muitos defeitos que se manifestam na saída do secador, têm sua origem em etapas anteriores ao processo produtivo e nada haver com a secagem. Assim, uma incorreta homogeneização da pasta, origina retrações locais diferenciais (mais contração onde há mais umidade) que podem se traduzir em fissuras, posterior a queima. Estas, são bastante freqüentes nos processos de fabricação manuais.

Outros fatores, são devidos diretamente à fase de secagem, a exemplo da má colocação da peça no secador, ou a indevida aplicação dos vetores de secagem (elevação excessiva da temperatura, alta velocidade de ar e umidade relativa).

Por último, vale a pena fazer uma referência ao problema da reabsorção de umidade. Dependendo do tipo de argila, e se o tempo transcorrido, desde que a argila deixa o secador até quando ela é introduzida no forno, é muito dilatado, e a umidade ambiente é muito alta, inicia-se um processo de re-hidratação (reabsorção), que pode provocar ruptura da peça, quando o material entra no forno (Elias, 1995).

2.4.3 A Sensibilidade à Secagem

A sensibilidade à secagem, é definida como o risco de aparecimento de fissuras durante a secagem, sendo expressa pela equação abaixo (Elias, 1995):

$$S_s = \frac{\text{Contração durante a secagem (\%)}}{\text{Tempo de aparecimento da primeira fissura (min)}} \quad (2.1)$$

A sensibilidade à secagem, pode ser diminuída, adicionando-se à pasta determinadas matérias primas. Estas matérias primas, separadas por grupos, funcionam cada uma delas com um princípio físico diferente. Por exemplo, o quartzo, feldspato ou similares, reduzem a

sensibilidade. Em se tratando de grês cerâmico, é preferível o feldspato, porque a transformação alotrópica do quartzo pode provocar rupturas durante o resfriamento. Já o hidróxido de cálcio e/ou similares, possuem ação coagulante, formando macro agrupações de partículas. Estes materiais, reduzem a microcapilaridade, e facilitam a secagem. Certas matérias orgânicas como o papel de jornal, serragem, lodos de depuradoras, etc. aplicados em quantidades moderadas, exercem uma ação de ancoragem das partículas argilosas e, portanto, facilitam a migração de água.

2.5 Queima

Segundo Fernandes (1998), a queima é uma das fases mais importantes no processo de produção cerâmica, pois é nela que o material adquire as propriedades desejadas para sua utilização.

A queima serve para transformar a argila bruta em material cerâmico, tornando-a permanentemente dura. Geralmente, eleva-se a temperatura entre 900 a 1400°C (1650 a 2550F). A temperatura de queima, depende da composição e das propriedades desejadas para a peça acabada. Durante a operação de queima, a densidade é novamente aumentada (com uma conseqüente diminuição na porosidade) e a resistência mecânica é melhorada. Esta queima, deve ser bem lenta no seu início, para que não haja risco das peças racharem ou empenarem, face a quantidade de água existente na argila. No final da queima, constata-se uma diminuição, encolhimento, de mais ou menos 10% em seu tamanho e volume, ficando a peça porosa e não impermeável.

Os fornos usados nas queimas, utilizam diferentes combustíveis, tais como: gás natural, energia elétrica, serragem, óleo, lenha, casca de arroz, entre outros, podendo ser multi-combustíveis. Há inúmeros tipos e tamanhos de fornos, para todas as necessidades.

Encontram-se no mercado, fornos elétricos cujo isolamento é feito com manta cerâmica, e por isto são menores, mais leves e ocupam menos espaço, facilitando enormemente, uma futura mudança do local de instalação. Os fornos feitos com tijolos refratários são muito mais pesados e ocupam muito espaço físico, tornando bastante complexa uma possível mudança de local de instalação, de acordo com a Figura 2.8. Os fornos multi-combustíveis são os mais encontrados atualmente, pois são mais versáteis. A Figura 2.9 ilustra o forno que pode funcionar com gás natural e com GLP.



Figura 2.8 – Forno de alvenaria da Empresa Cotebras (Campina Grande-PB)



Figura 2.9 – Forno multi-combustível da Empresa Cotebras (Campina Grande-PB)

A atmosfera dos fornos pode ser de três tipos: oxidante, neutra e redutora, que dependerá do produto a ser fabricado. Deve-se notar que se a temperatura do forno subir rapidamente, no início da queima, a camada externa irá se deformar (empenar) e rachar, em razão da argila conter muita água. Isto é que justifica a recomendação, de que a queima dos corpos devem ser bastante lenta no seu período inicial, até atingir 200 graus aproximadamente.

Existem dois processos principais de queima: monoqueima e biqueima:

- ✚ A monoqueima, é um procedimento na qual são queimados, simultaneamente, a base e o esmalte, em temperaturas que giram em torno de 1000°C a 1200°C. Esse processo, determina maior ligação do esmalte ao suporte (base), conferindo-lhe melhor resistência à abrasão superficial, dependendo das características técnicas do esmalte aderido, e maior resistência mecânica à flexão. A baixa ou alta absorção de água, depende do produto produzido, pois pode-se ter tanto um porcelanato esmaltado e queimado nas condições de monoqueima, com uma AA de 0,05%, quanto uma monoporosa, que tem AA acima de 10%.
- ✚ A biqueima é o processo mais obsoleto, no qual o tratamento térmico é dado apenas ao esmalte, pois o suporte já foi queimado anteriormente.

Uma outra técnica, utilizada hoje por algumas empresas, é a terceira queima, que consiste em criar efeitos de decoração sobre o esmalte já queimado, e recolocá-lo no forno sob temperaturas mais baixas, para obter o design definitivo.

A primeira etapa de queima consiste na eliminação da água de capilaridade, que não foi eliminada durante a secagem (Fernandes, 1998).

2.5.1 Sinterização

A sinterização é a fase intermediária na queima da argila, onde o início da reação de um ou mais sólidos forma um amálgama, diminuindo a porosidade do material, e aumentando sua resistência. As partículas sólidas se aglutinam, pelo efeito do aquecimento a uma temperatura inferior à de fusão.

A mesma começa a ocorrer logo após a primeira etapa, até os 550 °C, onde ocorrem transformações acompanhadas pela eliminação de gases, vapores e água de constituição dos componentes da massa. Aos 573 °C, ocorrem a mudança do quartzo α para o quartzo β , com variação brusca do volume da massa. Na terceira fase, a fusão dos fundentes da massa, permite sua vitrificação ou sinterização. Cada composição, pressupõe o estudo e sistematização de uma curva de queima ideal, obtida pela variação tempo/temperatura, que permitirá a obtenção de melhores resultados em termos de resistência mecânica, porosidade e coloração da peça, evitando trincas internas e perdas que podem ser consideráveis (Fernandes, 1998).

O crescimento de grão, ocorre em todos os estágios de sinterização. O modelo mais simples de aumento de grão, leva em consideração o movimento dos seus contornos, que é inversamente proporcional ao seu tamanho médio. Dessa forma, a segregação de impurezas nos contornos de grão, pode reduzir a energia livre do sistema e, conseqüentemente, diminuir a taxa de seu crescimento.

2.5.2 Resfriamento

Terminada a queima, há a necessidade de que o resfriamento das peças se dê paulatinamente, durante, pelo menos, o mesmo tempo de sua duração. Só após a temperatura

baixar até cerca de 200° C, é que se poderá entreabrir a porta do forno. Passada algumas horas, até a temperatura interna do forno ficar aproximadamente igual a temperatura ambiente. Pode-se, então, iniciar a retirada das peças que, mesmo assim, ainda estarão bem quentes. O uso de luvas é recomendado para o manuseio, nesta ocasião.

O resfriamento é uma parte bastante importante da queima, um resfriamento muito rápido pode provocar trincas, devido a choques térmicos, e um muito lento pode fazer com que o material fundido se cristalice (Gomes, 2005).

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

A jazida da argila estudada neste trabalho está situada na cidade de Itaporanga, no Sertão da Paraíba, ficando às margens do rio Piancó e região de várzea. O município possui uma grande quantidade de jazidas da argila. Esta matéria-prima não é explorada de forma adequada, já que as poucas indústrias existentes na região são de pequeno porte, e funcionam precariamente e de forma inadequada, trazendo como consequência a baixa produtividade e limitada qualidade.

Após a coleta da argila bruta (60 kg), foi realizado o beneficiamento, passando pelas seguintes etapas: secagem natural, ao ar livre, e moagem em moinho de galga (Figura 3.1). Posteriormente, foi submetida a peneiramento em malha ABNT nº 80 (0,177mm) (Figura 3.2), no Laboratório de Solos UAEC/CCT/UFCG. Após esta etapa a argila foi acondicionada em saco plástico e etiquetado de forma a permitir sua identificação.



Figura 3.1 – Moinho de galga



Figura 3.2 – Peneira elétrica

Para os ensaios de caracterização mineralógica (análise química, análise térmica diferencial e gravimétrica) aproximadamente 30g da argila peneirada em malha nº 80, foi novamente peneirada, manualmente, em malha ABNT nº 100 (0,149mm), no Laboratório de Engenharia de Materiais da UAEMa/CCT/UFCG, e novamente acondicionada em sacos plásticos etiquetados.

Para análise química, foi utilizada 15g dessa argila, com o objetivo de conhecer os principais óxidos presentes na argila, apesar de não permitir uma avaliação completa da composição mineralógica, bem como das propriedades físico-mecânicas. A massa foi submetida à análise química segundo métodos do Laboratório de Análise Minerais (LAM) do CCT/UFCG (2004).

Para análise térmica diferencial e gravimétrica, foi utilizada aproximadamente 10g da argila beneficiada em peneira malha ABNT nº 100. O equipamento utilizado foi da BP Engenharia, modelo AS-500C, com o sistema RB – 300, do Laboratório de Engenharia de Materiais da UAEMA/CCT/UFCG (Figura 3.3), operando em velocidade constante de 12,5 °C/min até a temperatura máxima de 1.000 °C, o padrão utilizado foi o óxido de alumínio (Al_2O_3).



Figura 3.3 – AS-500C

3.2 Conformação das Placas Cerâmicas

Para os ensaios tecnológicos foi utilizada a argila peneirada em malha ABNT nº 200, que estava armazenada em sacos plásticos. A umidade da massa foi corrigida para 8% com

água, em base seco, e prensada utilizando o processo de conformação por prensagem uniaxial. A prensa utilizada foi da marca EMIC, PCM-100 Ton, com capacidade de 120.000 kgf (Figura 3.4), pertencente ao Laboratório de Solos da UAEC/CCT/UFCG. A pressão de compactação, foi de 200 kgf/cm².



Figura 3.4 – Prensa PCM-100

Os corpos de prova, apresentaram dimensões aproximadas a 120,0 x 60,0 x 7,0 mm³, com bordas retas e, nas mesmas dimensões, com extremidades contendo um ângulo de 15° conforme Figura 3.5.

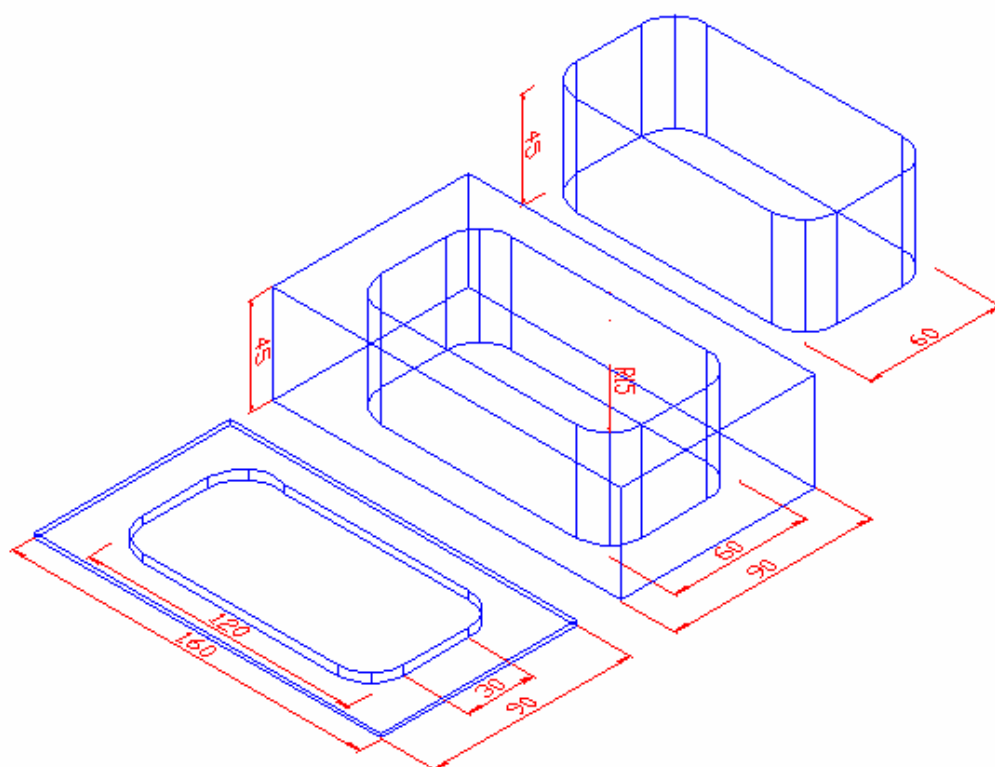
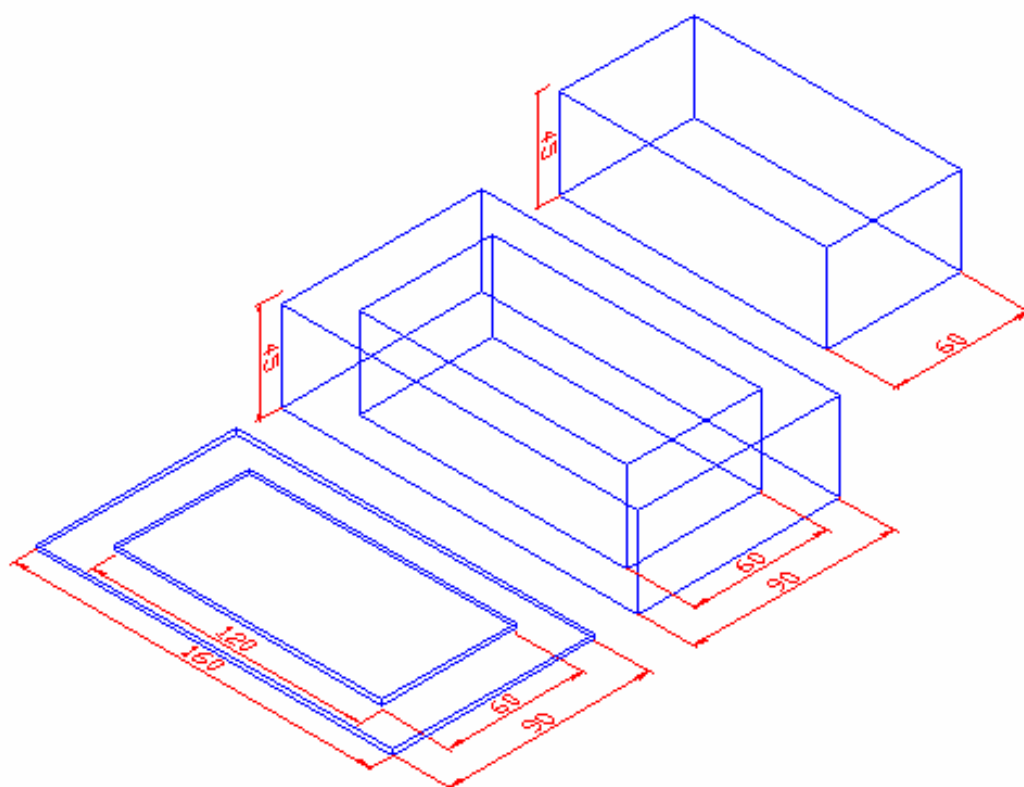


Figura 3.5 – Moldes com bordas retas e arredondadas

3.3 Procedimentos

Foi utilizado durante toda parte experimental deste trabalho, um paquímetro mitutoyo digital com resolução de 0,01mm, para medições das dimensões dos corpos de provas. Uma balança marte modelo AS2000C, com resolução 0,01g, para medições dos pesos das placas. Bem como um dessecador, para evitar perda ou absorção de umidade dos corpo de provas. Tais equipamentos encontra-se na Figura (3.6).



Figura 3.6 – Paquímetro, balança e dessecador

A parte experimental deste trabalho, foi dividida em quatro etapas, que estão descritas abaixo.

1ª Etapa – Após prensagem, os corpos foram colocados em estufas a 60, 80 e 110°C, para determinar as curvas de secagem e de retração volumétricas, foram feitos experimentos com vinte e três corpos de provas. Foi definida uma nomenclatura para o corpo de prova com três letras iniciais maiúsculas onde CP indica que é corpo de prova, a terceira letra diferencia o dia do experimento. Após vem um número, crescente, que indica o corpo de prova, e logo em seguida um número que informa a temperatura na estufa do experimento.

2ª Etapa – Depois da prensagem, os corpos, com bordas retas e arredondadas, foram colocados no forno da EDG-Equipamentos, FC-2, (Figura 3.7) a uma taxa de aquecimento de 1, 6 e 11 °C/min, até um patamar de 110°C, durante 24 horas, visando a eliminação da água livre. Nesta etapa do trabalho foram feitos cinquenta e quatro placas cerâmicas. A

nomenclatura com uma letra inicial e o número do corpo de prova, onde a letra define a taxa de aquecimento durante a secagem: A – 1 °C/min; B – 6 °C/min; C – 11 °C/min, para os corpos de provas com bordas retas, e G – 1 °C/min; H – 6 °C/min; I – 11 °C/min, para os corpos de provas com bordas arredondadas.



Figura 3.7 – Forno FC-2

Posteriormente foram ensaiados, utilizando o teste de resistência a flexão em três pontos, na máquina WEINHEIM, D-6940, (Figura 3.8), obtendo-se a tensão de ruptura.



Figura 3.8 – Máquina de resistência

3ª Etapa – Corpos de provas prensados com bordas retas, foram submetidos a secagem no forno, com uma taxa de aquecimento de 1, 6 e 11 °C/min, até um patamar de 110°C, e ensaiados durante o tempo de secagem, em intervalos de 10 minutos, obtendo, assim, uma relação do tempo, taxa de aquecimento na secagem e resistência mecânica do corpo de prova. Nesta etapa foram feitos noventa e nove amostras. A nomenclatura com duas letras iniciais e o número do corpo de prova, onde as letras definem a taxa de aquecimento durante a secagem: AS – 1 °C/min; BS – 6 °C/min; CS – 11 °C/min.

4ª Etapa – Novos corpos de provas, com bordas retas e arredondadas, passaram novamente pela secagem, automaticamente foram sinterizados, no mesmo forno, à 900°C e 950°C, com uma taxa de aquecimento de queima 2 °C/min. Os corpos foram analisados para se ter um conhecimento da influência da geometria, e da taxa de aquecimento durante a secagem, sobre as propriedades dos corpos de prova final. Nesta etapa foram feitos noventa e uma amostras. A nomenclatura seguiu os mesmos critérios da segunda etapa, apenas com a numeração do corpo de prova diferente.

Durante todas as etapas descritas anteriormente, os corpos de provas foram avaliados, para determinar as seguintes propriedades: resistência mecânica; variação linear e volumétrica; variação linear após queima; absorção de água; porosidade aparente; densidade aparente; resistência mecânica após queima.

3.4 Secagem

Após a conformação na primeira etapa, os corpos de provas eram pesados e levados ao interior da estufa, onde se realizava a secagem. Nesse processo, a temperatura da estufa, era fixada na temperatura desejada. Na primeira ½ hora de processo, as amostras eram retiradas em intervalos de 10 minutos e, novamente, realizavam-se as medições das placas e seus pesos.

Depois, as amostras eram retiradas em intervalos de 30 minutos. Esse procedimento, de retirada das amostras, era repetido até que a massa final pudesse ser obtida. Ao final, as amostras eram levadas a uma estufa a 110°C e, após 24 horas, era medida a massa de equilíbrio e, depois de 48 horas, obtinha-se a massa de seco.

A determinação do teor de umidade inicial (M_o) é dada pela Equação (3.1).

$$M_o = \frac{m_o - m_s}{m_s} \text{ (b.s)} \quad (3.1)$$

A determinação do teor de umidade de equilíbrio (M_{eq}) é obtida pela Equação (3.2).

$$M_{eq} = \frac{m_e - m_s}{m_s} \text{ (b.s)} \quad (3.2)$$

A determinação do teor de umidade da amostra a cada intervalo de tempo, durante a secagem (M_i), É dado pela Equação (3.3).

$$M_i = \frac{m - m_s}{m_s} \text{ (b.s)} \quad (3.3)$$

A determinação do teor de umidade de equilíbrio adimensional (M^*) é obtida pela Equação (3.4).

$$M^* = \frac{m - m_e}{m_o - m_e} \quad (3.4)$$

A determinação da área inicial, dos corpos com bordas retas, (S_{obr}) é obtida pela Equação (3.5).

$$S_{obr} = C \times L \quad (3.5)$$

A determinação da área inicial, dos corpos com bordas arredondadas, (S_{oba}) é obtida pela Equação (3.6).

$$S_{oba} = C \times L - \left[(4 - \pi) \times r^2 \right] \quad (3.6)$$

A determinação do volume inicial, dos corpos com bordas retas, (V_{obr}) é obtida pela Equação (3.7).

$$V_{obr} = S_{obr} \times H \quad (3.7)$$

A determinação do volume inicial, dos corpos com bordas arredondadas, (V_{oba}) é obtida pela Equação (3.8).

$$V_{oba} = S_{oba} \times H \quad (3.8)$$

A determinação da variação linear após secagem (RS), dos corpos de provas, é obtida pela Equação (3.9).

$$RS = \frac{C_{verde} - C_{110^\circ C}}{C_{110^\circ C}} \times 100 \quad (3.9)$$

A determinação do módulo de ruptura a flexão (MRF), das amostras secas, é obtida pela Equação (3.10).

$$MRF = \frac{3 \times TR \times D}{2 \times L_{110^\circ C} \times H_{110^\circ C}^2} \quad (3.10)$$

onde: D é a distância entre os apoios da máquina de flexão, que foi de 10 cm.

A umidade relativa do ar, no interior da estufa, foi obtida medindo-se a temperatura de bulbo seco e bulbo úmido, do ambiente externo. Em seguida, com o auxílio do gráfico psicrométrico, obteve-se a umidade relativa do ar externo. Introduzindo no programa CATT a temperatura de bulbo seco e, a umidade relativa externa, se obteve a umidade absoluta do ar

na parte externa da estufa (considerou-se que a estufa, em sendo aberta em intervalos de tempos pré-determinados, a umidade absoluta no seu ambiente externo, era aproximadamente igual a do ambiente interno).

Com a umidade absoluta obtida, e o valor da temperatura do ar no interior da estufa, se obteve, no mesmo programa, a umidade relativa do ar, no ambiente da estufa. Ocorreu durante todos os ensaios, uma variação da umidade relativa, dentro da estufa, de 2, 6, 10 e 14%, para temperaturas de secagem em estufa de 60, 80 e 110 °C.

Na segunda etapa deste trabalho, os corpos de provas, após a prensagem e medições de suas dimensões e pesos, foram encaminhados ao forno, e aquecidos a uma taxa de 1, 6 e 11 °C/min, até um patamar de 110°C, permanecendo nesta temperatura, por 24h, para conclusão da secagem. E, após o resfriamento natural dos corpos de provas, foram determinadas as retrações e as resistência à flexão em três pontos.

Na terceira etapa, após a preparação das amostras, e medição das dimensões e das massas, os corpos de provas foram levados ao interior do forno, a uma determinada taxa de aquecimento (1, 6, 11°C/min), onde se realizava a secagem, até atingir um patamar de 110°C. As amostras foram retiradas do forno, em intervalos de 10 minutos, desde o tempo 0 (zero) até os primeiros 80 minutos, efetuado-se as medições de suas dimensões, pesagens e, logo após, determinada a resistência à flexão em três pontos.

Depois dos 80 minutos, foram deixados dentro da estufa, também a 110°C, por 24h e 48h, realizando-se novas medições de suas dimensões, nestas marcações de tempos. Com efeito, foi obtida uma comparação entre a taxa de aquecimento na secagem, a resistência à flexão e o índice de retração com o tempo de secagem.

3.5 Modelo de Encolhimento

Durante a secagem de produtos sólidos, existe o fenômeno de encolhimento, que altera a cinética de secagem e as dimensões do sólido. Este fenômeno ocorre, simultaneamente, com o transporte de umidade e, apresenta-se mais intenso, em materiais cerâmicos com alto teor de umidade inicial, no caso de produtos de fina granulometria. Dependendo das condições de secagem, estrutura do material e geometria do produto, a ocorrência de encolhimento pode ocasionar trincas, deformações e até fratura no sólido. Neste sentido, ao se considerar o encolhimento nos modelos matemáticos, pode-se avaliar melhor as condições de secagem, uma vez que esta, pode ter um importante efeito na difusividade de massa, e, conseqüentemente, na taxa de transporte de umidade.

As propriedades relativas ao fenômeno de encolhimento, devem ser incorporadas ao modelo matemático. No entanto, na literatura, há informações escassas sobre os coeficientes de encolhimento, assim como de relações matemáticas entre a difusividade de massa, encolhimento e densidade. Contudo, são encontrados na literatura, curvas de retração linear versus teor de umidade (Norton, 1973; Reed, 1991; Elias, 1995). Dentre os trabalhos reportados na literatura, sobre estudos do fenômeno de encolhimento volumétrico, podem ser citados os de Itaya e Hasatani (1992); Itaya et al. (1997).

No modelo analítico proposto neste trabalho, foram assumidas as considerações abaixo:

- ✚ Propriedades termofísicas constantes.
- ✚ Simetria em torno do centro do produto.
- ✚ O encolhimento durante a secagem, devido à perda de umidade, é considerado em duas etapas, com proporcionalidades lineares à variação do teor de umidade média do sólido. Neste sentido, existe um ponto de inflexão que caracteriza uma transformação,

onde, em uma primeira etapa de secagem ocorre um grande encolhimento volumétrico linear, enquanto na fase seguinte, acontece um fenômeno oposto, ou seja, um pequeno encolhimento.

✚ O número de Biot de transferência de massa é variavelmente assumido em todo processo.

É assumido que o material se contrai linearmente com o teor de umidade. Baseando-se nessa premissa, foi que Lima, em 1999, para determinar o volume do corpo em qualquer instante, formulou a Equação (3.11), que se segue:

$$(V)_t = V_o(\beta_1 + \beta_2 M) \quad (3.11)$$

Para determinação do volume em um certo intervalo de tempo, considere a Figura 3.9 (Nascimento, 2002). Desde que, em $t = 0$, $M = M_o$ e $(V)_t = V_o$, tem-se por substituição direta na Equação (3.11), que:

$$\beta_1 = (1 - \beta_2 M_o) \quad (3.12)$$

Podendo a Equação (3.11), ser reescrita na forma:

$$\frac{(V)_t}{V_o} = 1 - \beta_2(M_o - M) \quad (3.13)$$

Usando os parâmetros adimensionais, tem-se a forma adimensional da Equação (3.13), dada por:

$$\frac{(V)_t}{V_o} = \beta_3 + \beta_4 M^* \quad (3.14)$$

onde: $\beta_3 = \beta_1 + \beta_2 M_{eq}$ e $\beta_4 = \beta_2(M_o - M_{eq})$

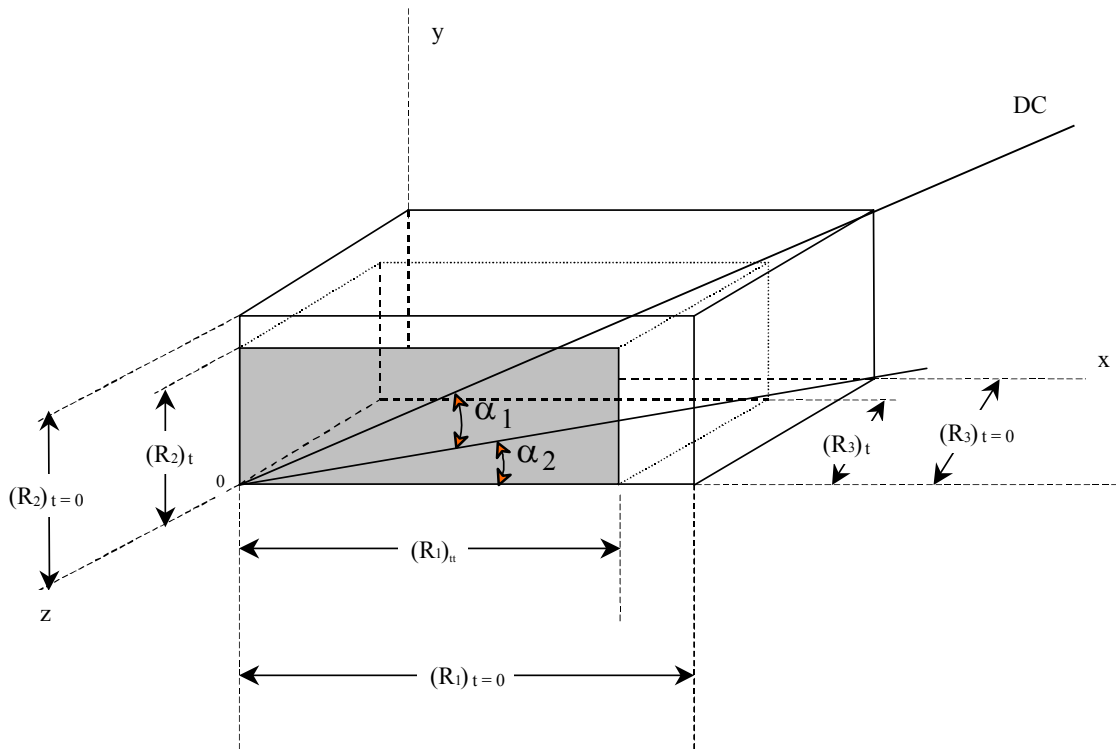


Figura 3.9 – Encolhimento do sólido paralelepípedo durante o processo de secagem

Assim, conhecendo-se o valor dos parâmetros β_3 e β_4 , determina-se o novo volume do corpo em qualquer instante do processo. Os coeficientes de encolhimento adimensional β_3 e β_4 , devem ser positivos e finitos. O significado físico dos coeficientes β_3 e β_4 , está associado com a variação máxima de volume sofrida por um sólido, durante o fenômeno de difusão.

Considerando-se que o encolhimento é isotrópico, e que a taxa de variação de $(R_1)_t$, $(R_2)_t$ e $(R_3)_t$, relaciona-se entre si (Figura 3.9) de tal forma que as taxas de variações permaneçam constantes, pode-se mostrar que:

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{(R_3)_t}{(R_1)_t} = \frac{(R_3)_{t=0}}{(R_1)_{t=0}} = \text{cte} \quad (3.15)$$

$$\operatorname{tg}\alpha_1 = \frac{(R_2)_t}{\sqrt{(R_1)_t^2 + (R_3)_t^2}} = \frac{(R_2)_{t=0}}{\sqrt{(R_1)_{t=0}^2 + (R_3)_{t=0}^2}} = \text{cte}_2 \quad (3.16)$$

Assim sendo, o tratamento estatístico dos valores de encolhimento e de cinética de secagem, foram realizados a partir dos resultados obtidos do teor de umidade e suas dimensões do sólido. Fez-se uma regressão linear do volume, considerando duas inclinações diferentes, correspondentes a duas etapas de secagem. Uma primeira, com grande encolhimento, e, uma segunda, com pequeno encolhimento. Tais ajustes, foram baseados na Equação (3.14). Os métodos utilizados foram os de Rosembrock e quasi-Newton (detalhamento destes, são encontrados no software Statistica), com critério de convergência de 0,001 para todos os experimentos, o que possibilitou a determinação dos coeficientes β_3 e β_4 .

Com relação aos dados do teor de umidade médio experimentais, ao longo do processo de secagem, as variações de umidade são mais significativas no início do processo. Requer do pesquisador a obtenção de resultados em intervalos de tempo menores, podendo ser ampliado, à medida que o processo vai se desenvolvendo. Sob o aspecto físico, esta técnica é extremamente satisfatória, em virtude de possibilitar a descrição do fenômeno com grande precisão (Lima, 1999). Contudo, o mesmo não acontece, sob o aspecto de tratamento estatístico dos valores, tendo em vista que uma grande densidade de pontos ocorre nos tempos iniciais, o que não existe para tempos maiores. Estatisticamente, é mais conveniente realizar o ajuste de parâmetros, a partir de uma distribuição uniforme de pontos, ao longo do processo. Desta forma, propõe-se um ajuste nos resultados experimentais a uma equação exponencial a 3 termos e 6 parâmetros. Isto, tornou-se necessário, tendo em vista a pequena quantidade de pontos experimentais obtidos em cada experimento. A Equação (3.17) tem a forma:

$$M^* = A_1 \exp(-K_1 t) + A_2 \exp(-K_2 t) + A_3 \exp(-K_3 t) \quad (3.17)$$

A estimação não-linear dos parâmetros da Equação (3.17), foi realizada utilizando o Software Statistica e o método numérico de Rosembrock e quasi-Newton, com critério de convergência de 0,001, para todos os experimentos. A escolha da forma desta equação, foi baseada nos trabalhos de Lima (1995), Lima e Mata (1996), Lima et al. (1998) e Lima (1999), onde observaram que as equações exponenciais com maior número de termos, se ajustam, muito bem, aos dados experimentais.

3.6 Queima

O processo de queima ocorreu na quarta etapa deste trabalho, após secagem a 110 °C (com taxas de aquecimento de 1, 6 e 11 °C/min e permanência na temperatura de secagem por 24h), placas cerâmicas foram queimados nas temperaturas de 900 e 950°C (com uma taxa de aquecimento de 2°C/min e permanência na temperatura de queima por 2h). O resfriamento ocorreu no interior do forno, na medida em que a sua temperatura baixava, de maneira natural.

Após o resfriamento do forno até a temperatura ambiente, os corpos de provas foram encaminhados para medição, pesagem e análise de resistência à flexão em três pontos.

A determinação da variação linear após queima (RQ), das amostras, é obtida pela Equação (3.18).

$$RQ = \frac{C_{aq} - C_0}{C_0} \times 100 \quad (3.18)$$

A determinação da absorção de água (AA), é obtida pela Equação (3.19).

$$AA = \frac{P_u - P_{aq}}{P_{aq}} \times 100 \quad (3.19)$$

A determinação da porosidade aparente (PA), é obtida pela Equação (3.20).

$$PA = \frac{P_u - P_{aq}}{P_u - P_{imerso}} \times 100 \quad (3.20)$$

A determinação da densidade aparente (DA), é obtida pela Equação (3.21).

$$DA = \frac{P_{aq}}{P_u - P_{imerso}} \quad (3.21)$$

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização

A Tabela 4.1 apresenta a composição química da massa cerâmica estudada neste trabalho.

Tabela 4.1 - Composição química da massa cerâmica

Componentes	RI	PR	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Outros
%	1,10	7,82	52,70	7,58	23,97	0,56	4,04	0,62	1,25	0,36

Nota: Outros - são óxidos em pequenas quantidades, que não foram detectados pela análise.

Analisando o resultado da composição química da massa cerâmica (Tabela 4.1), verifica-se que a argila estudada apresenta teor de sílica (SiO₂) 52,70%, proveniente dos minerais argilosos e da sílica livre. O teor de alumina (Al₂O₃) é 23,97%, oriunda dos argilominerais e do feldspato, aumenta a refratariedade da argila. O teor de Ferro (Fe₂O₃) superior a 7%, indica que a argila apresentará, após a queima, a coloração vermelha devida,

principalmente, a oxidação do composto de ferro que ao final apresenta-se sob a forma de óxido férrico. A intensidade da coloração vermelha, depende da quantidade de óxido férrico presente (Barba et al., 1997).

As curvas da Análise Térmica Diferencial e Análise Termogravimétrica, estão mostradas na Figura 4.1. Na DTA, observa-se a existência de picos térmicos significativos. Os picos que ocorrem entre 110 e 200°C, é devido à presença de água livre e água absorvida. Entre as temperaturas de 200°C e 502°C, ocorrem bandas exotérmicas, provavelmente, devido às reações da matéria orgânica. Foram observados dois pequenos picos endotérmicos (366 e 447°C), os quais correspondem a presença de hidróxido de cálcio e magnésio. Um pico endotérmico é observado entre 502 e 580°C, característico da presença de hidroxilas. Um pico exotérmico pode ser observado a temperatura de 588°C, o qual está associado à presença da grafite. Na temperatura de 909°C, observou-se um pico exotérmico, e que decorre, provavelmente, devido à nucleação da mulita.

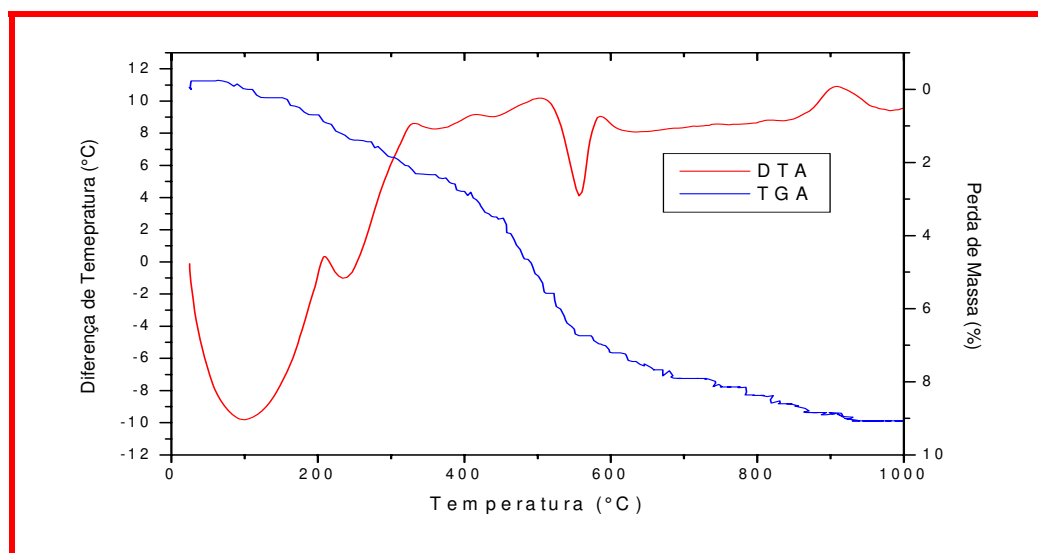


Figura 4.1 - Análise térmica da argila

Analisando a TGA da amostra, verifica-se uma perda de massa total de 9,0%. Na faixa de temperatura compreendida entre 100 e 200°C, uma perda de massa correspondente a 1,0%,

característicos da perda de água. Na faixa de temperatura, compreendida entre 200 e 600°C, verifica-se uma queda de massa devido, provavelmente, à perda de matéria orgânica e hidroxilas, que corresponde a uma perda de 6,8% da massa total. Nas temperaturas de 600 e 800°C, observa-se uma perda de massa, resultante da perda da grafite, que corresponde a 1,2 % da massa total.

4.2 Resultados Experimentais de Secagem e Retração Volumétrica

As dimensões iniciais de cada corpo de prova, durante a secagem, bem como a umidade relativa no interior da estufa e a sua temperatura, a área, volume e a relação área-volume encontram-se no Anexo A. A pressão de compactação dos corpos de provas ensaiados foi de 19,61 MPa.

A Figura 4.2, evidencia uma cinética de secagem, do corpo de prova CPA5110, com uma umidade relativa do ar de 2,00%, a temperatura de secagem de 110 °C. A relação S_0/V_0 deste corpo, é 147,28 /m.

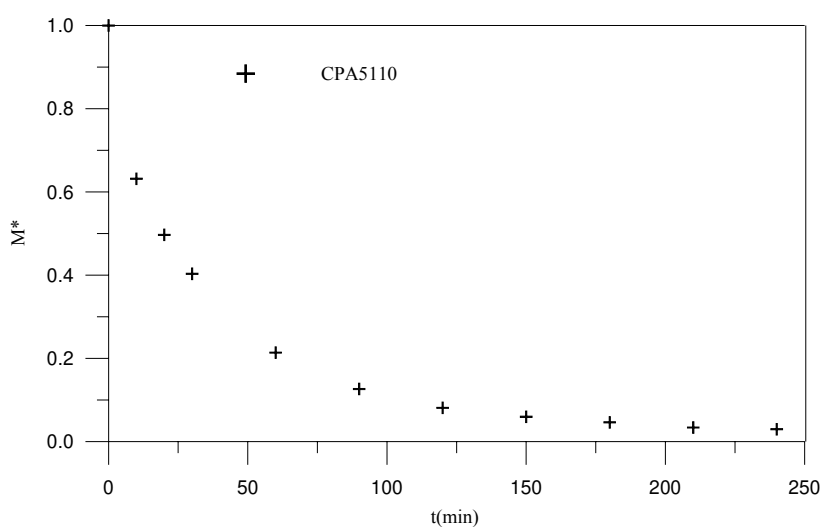


Figura 4.2 – Curva de secagem do corpo de prova CPA5110

Ao analisar a Figura 4.2, verifica-se um decréscimo da umidade relativa ao passar do tempo, como se era esperado. Porém analisado individualmente, não fornecem muitas informações. Foram feitos os gráficos da cinética de secagem de todos os corpos de provas, e, neste trabalho, agrupa-se alguns para melhor esclarecimento dos fatores que influenciam sua curva.

A Tabela 4.2, apresenta para cada experimento da primeira fase, a massa inicial e final, a retração volumétrica, a umidade relativa do ar no interior da estufa, bem como, o teor de umidade inicial e de equilíbrio.

Tabela 4.2 – Resultados e parâmetros experimentais referente aos corpos de prova, primeira fase

<i>Corpo de Prova</i>	m_0 (g)	m_s (g)	$V_f - V_i$ ($*10^{-7} m^3$)	<i>UR do Ar no Interior da Estufa (%)</i>	Me (b.s.)	Mo (b.s.)
CPA2110	106,33	96,74	2510,34	2,00	0,003515	0,099
CPA3110	107,35	97,38	2068,41	2,00	0,004313	0,102
CPA4110	115,06	104,86	2244,90	2,00	0,003719	0,097
CPA5110	112,47	102,41	2680,17	2,00	0,00332	0,098
CPB3110	109,13	98,92	1509,57	2,00	0,000303	0,103
CPB4110	110,66	100,44	6012,05	2,00	0,00000	0,102
CPB5110	110,45	100,16	1487,72	2,00	0,000499	0,103
CPB6110	110,79	100,91	1442,68	2,00	0,00000	0,098
CPB7110	119,53	108,98	1914,21	2,00	0,000184	0,097
CPC160	116,07	105,87	1080,09	10,00	0,010768	0,096
CPC260	108,84	99,3	2813,27	10,00	0,010473	0,096
CPC360	109,81	100,26	1250,53	10,00	0,010174	0,095
CPC460	112,75	103,06	1527,26	10,00	0,010285	0,094
CPJ180	104,39	96,03	1068,73	6,00	0,001145	0,087
CPJ280	104,28	95,38	944,73	6,00	0,001153	0,093
CPJ380	112,18	102,46	1071,56	6,00	0,000488	0,095
CPJ480	110,36	100,8	1136,22	6,00	0,000397	0,095
CPJ580	117,05	106,96	1183,07	6,00	0,000935	0,094
CPC1060	117,89	109,36	1052,45	14,00	0,005395	0,078
CPC1160	114,81	105,59	986,73	14,00	0,006061	0,087
CPC1260	116,76	107,71	876,76	14,00	0,00622	0,084
CPC1360	110,64	101,82	1237,09	14,00	0,006384	0,087
CPC1460	107,89	99,06	1137,88	14,00	0,006965	0,089

Analisando os valores na Tabela 4.2, observa-se claramente, que a variação de massas entre a massa inicial e a massa de seco, é praticamente constante. Verifica-se uma tendência de que, quanto maior a umidade relativa maiores níveis de teor de umidade de equilíbrio é encontrada, bem como quanto menor a temperatura durante a secagem maior teor de umidade de equilíbrio a amostra apresentará. Observa-se uma tendência de que as amostras com maiores níveis de teor de umidade inicial, apresentam maiores níveis de retração volumétrica.

A Figura 4.3, apresenta as curvas de secagem, dos corpos de provas CPA3110, que foi seco a uma temperatura de 110 °C. O corpo de prova CPJ580, foi submetido a uma temperatura de secagem de 80 °C, enquanto o CPC1060, foi posto a uma temperatura de 60 °C, para obter-se a evaporação da sua umidade. As umidades relativas, observadas no interior da estufa, para cada corpo de prova, foram de 2%, 6% e 14%, respectivamente. A relação S_0/V_0 destes corpos corresponderam a, 152,21 /m 125,53 /m 125,47 /m , respectivamente.

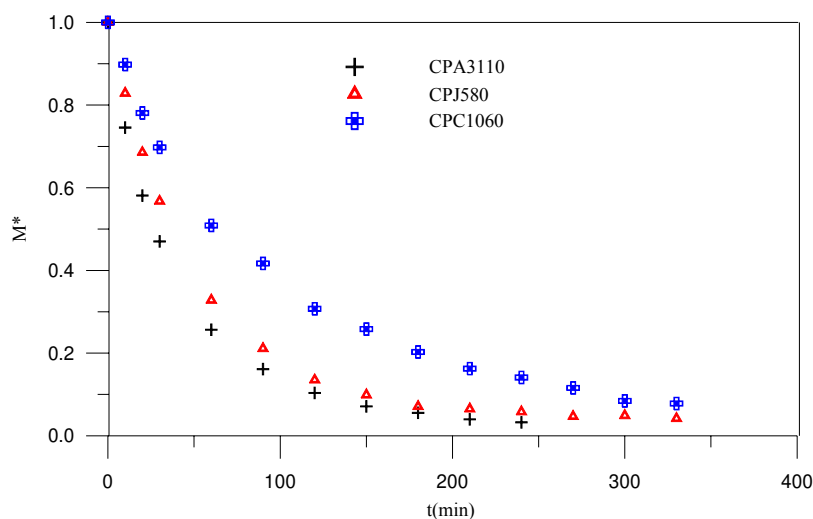


Figura 4.3 – Curva de secagem comparativa dos corpos de provas CPA3110, CPJ580, CPC1060

Analisando a Figura 4.3, evidencia-se com clareza, o efeito da temperatura do ar de secagem na sua cinética, ou seja, quanto maior o nível de temperatura, mais rápido ocorre a secagem. Levando-nos a afirmar que temperatura do ar de secagem é fortemente dominante

sobre a taxa de difusão e taxa de evaporação, e logo, sobre o tempo total de secagem, ou seja, quanto maior a temperatura, menor o tempo total de secagem.

A Figura 4.4 apresenta um comparativo das curvas de secagem, onde os corpos de provas CPJ180 e CPJ580 foram submetidos a mesma temperatura de secagem de 80 °C, a umidade relativa no interior da estufa também foi a mesma de 6%, e relação S_0/V_0 destes corpos de 143,81/m e 125,53/m respectivamente.

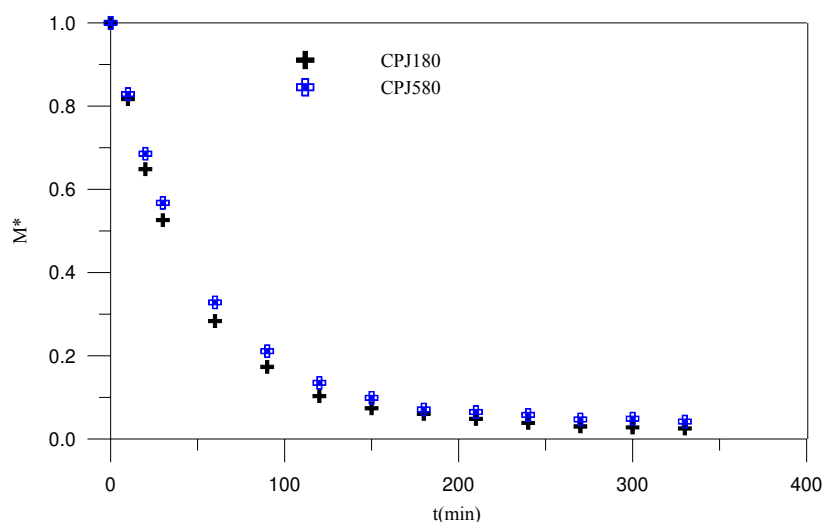


Figura 4.4 – Curva de secagem comparativa dos corpos de provas CPJ180 e CPJ580

Observa-se claramente através da Figura 4.4 o domínio da relação área/volume na cinética de secagem das amostras sob análise, permitir-nos concluir que, para um mesmo nível de temperatura e umidade relativa, a cinética de secagem é acelerada quando o sólido apresenta uma maior relação área/volume, pois existe uma maior área de contato com o ar aquecido da estufa.

A Figura 4.5 tem-se um comparativo das curvas de secagem, dos corpos de provas CPC1360 e CPC260, submetidos a uma temperatura de secagem de 60 °C, umidade relativa no interior da estufa de 14% e 10%, respectivamente, e relação S_0/V_0 destes corpos de 132,10 /m e 132,98 /m nesta ordem.

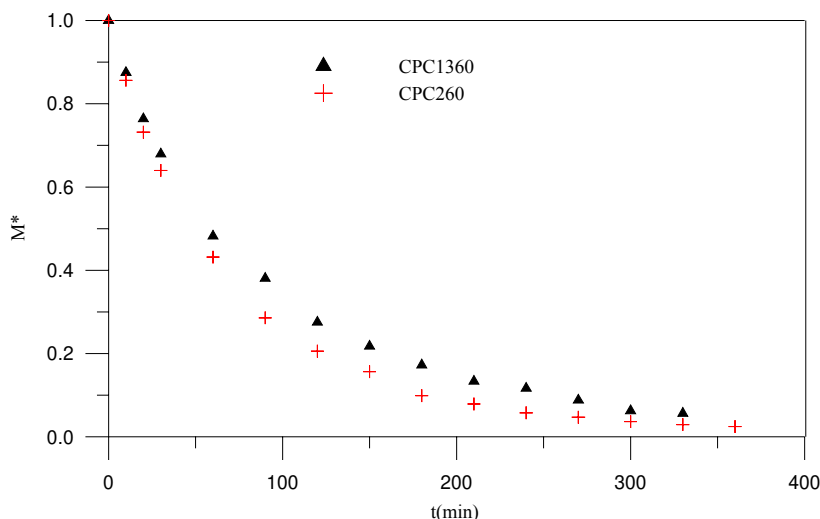


Figura 4.5 – Curva de secagem comparativa dos corpos de provas CPC1360 e CPC260

Após analisar a Figura 4.5, chega-se a conclusão do domínio da umidade relativa do ar na cinética de secagem das amostras estudadas, verifica-se para um mesmo nível de temperatura, a cinética de secagem é acelerada quando o ar apresenta uma menor umidade relativa, ou seja, quanto maior a umidade relativa durante a secagem maior o tempo de secagem, para placas porosas.

A Tabela 4.3, apresenta os valores dos parâmetros obtidos, bem como, os coeficientes de correlação para alguns testes realizados, utilizando a Equação (3.17), e o Software Statistica.

Tabela 4.3 – Parâmetros ajustados aos resultados experimentais de temperatura, Equação (3.17)

AMOSTRA	PARÂMETROS						R
	A ₁	K ₁	A ₂	K ₂	A ₃	K ₃	
CPA2110	0,167037	0,006841	0,698031	0,027656	0,134767	0,108696	0,99996
CPA3110	0,699317	0,027850	0,094616	0,132090	0,206124	0,007942	0,99998
CPB4110	0,516573	0,033122	0,453903	0,013203	0,030522	-0,001464	0,99998
CPC360	0,906460	0,013240	0,082383	0,081761	0,012006	-0,001256	0,99990
CPJ180	0,421460	0,023790	0,083967	0,003624	0,499862	0,023795	0,99992

É evidenciado pela tabela 4.4 através dos coeficientes de correlação próximos de 1,000, uma boa concordância entre os pontos experimentais e preditos pela Equação (3.17), se utilizado os parâmetros para cada corpo de prova.

A Figura 4.6, ilustra a curva de ajuste do teor de umidade versus tempo de secagem do corpo de prova CPB4110, comparando o teor de umidade médio encontrado com o predito pela Equação (3.17), utilizando-se os parâmetros obtidos (Tabela 4.3), para uma temperatura de secagem de 110 °C, e umidade relativa do ar, no interior da estufa, de 2%.

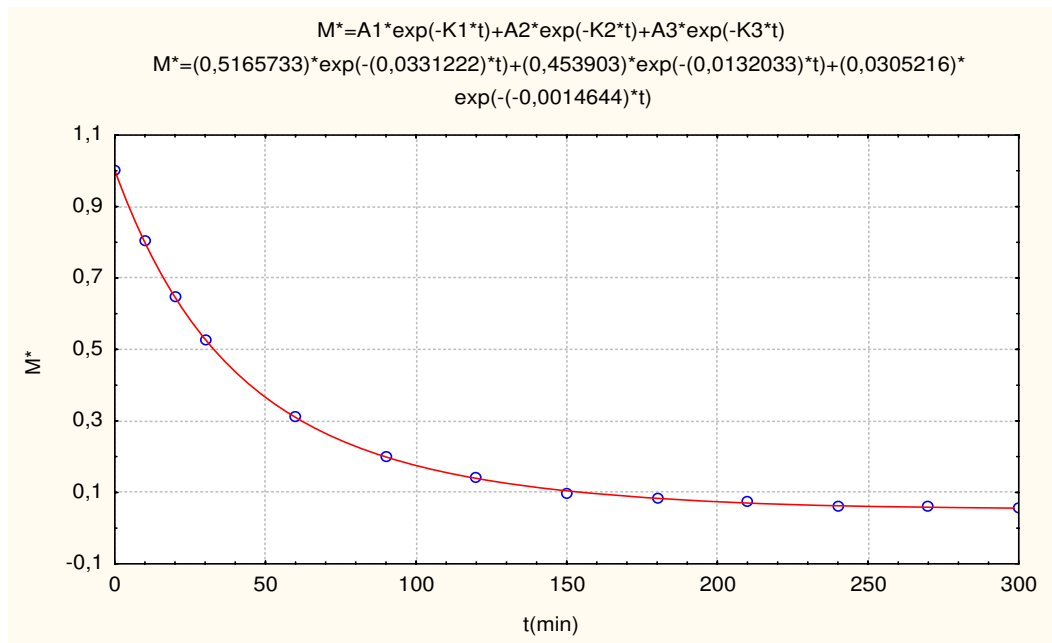


Figura 4.6 - Comparação entre os teores de umidade médios do corpo de prova CPB4110 e predito pela Equação (3.17)

Na Figura 4.6 verifica-se a excelente concordância entre os pontos experimentais e preditos do corpo de prova CPB4110, para os teores de umidade média, valendo-se salientar que tal curva possui uma boa concordância entre os pontos experimentais e os preditos pela Equação (3.17), confirmando o coeficiente de correlação. Obtem-se, por conseguinte, a equação dos teores de umidade média de cada corpo de prova, verificando os pontos experimentais, e ao mesmo tempo, poder obter qualquer ponto durante a secagem.

Neste sentido, é possível determinar o valor dos coeficientes de transferência convectiva e de difusão de massa, para todos os experimentos realizados, utilizando-se de modelos numéricos (Nascimento, 2002).

A Tabela 4.4 mostra os resultados preditos para o encolhimento de alguns dos corpos de prova analisados, bem como os coeficientes de correlação, utilizando-se a Equação (3.14), e o Software Statistica, lançando mão de todos os pontos experimentais de um corpo de prova para obtenção de uma única equação.

Tabela 4.4 – Parâmetros de encolhimento obtidos a partir da Equação (3.14). Análise com uma equação

Corpo de Prova	Coeficientes de Encolhimento e coeficientes de correlação		
	β_3	β_4	R
CPA3110	0,95356	0,0334425	0,4820
CPA4110	0,9548155	0,0414364	0,9460
CPB4110	0,8777247	0,0833897	0,8390
CPB5110	0,9726686	0,094621	0,9485
CPB6110	0,974635	0,0275648	0,9581
CPC260	0,948309	0,0581238	0,9712
CPC360	0,978179	0,0237342	0,9501
CPC460	0,973308	0,0297454	0,9208
CPJ280	0,982482	0,0163531	0,9802
CPJ380	0,9795054	0,0189086	0,9874
CPJ480	0,9792827	0,019344	0,9528
CPC1060	0,980344	0,0173043	0,9792
CPC1260	0,983207	0,0152447	0,9795

Verifica-se através da Tabela 4.4 uma boa concordância entre os pontos experimentais e preditos pela Equação (3.14), devido os coeficientes de correlação ser próximos de 1,000.

A Figura 4.7 apresenta o gráfico de encolhimento do corpo de prova CPC360, com os pontos experimentais e a reta encontrada pela Equação (3.14) e os parâmetros da Tabela 4.4.

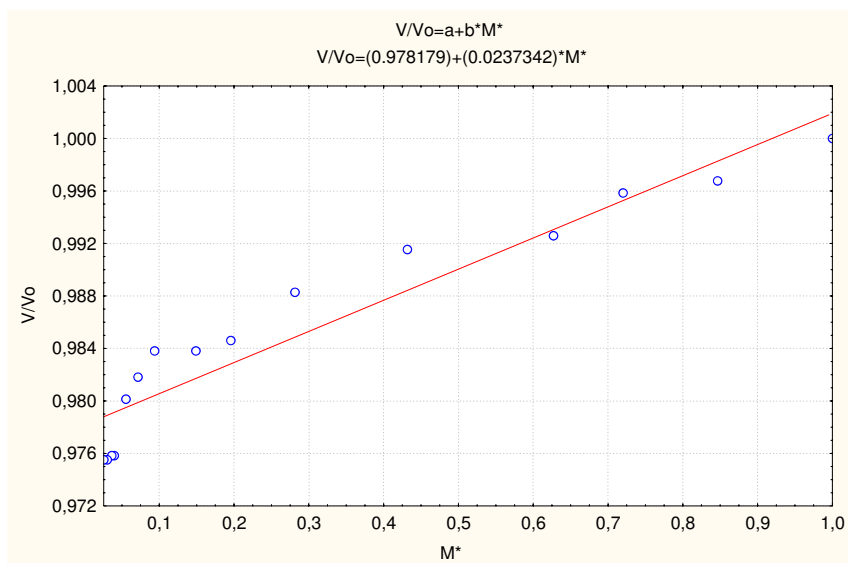


Figura 4.7 – Gráfico de encolhimento do corpo de prova CPC360. Análise com uma equação

Observa-se claramente, através da Figura 4.7, que apesar de existir uma boa correlação entre os pontos preditos e experimentais, a contração volumétrica é mais perfeitamente definida em duas etapas, de acordo com dados da literatura curva de Bigot (Figura 2.7), uma vez que em duas etapas evidencia-se a transição entre a maior e a menor velocidade de sua retração.

A regressão linear foi realizada também em duas fases distintas, com um ponto de transição correspondente ao local onde as curvas experimentais mudam de comportamento durante a secagem, correspondendo à curva de Bigot. Segundo Elias (1995), esta citada região de transição não está perfeitamente definida para muitas argilas, geralmente apresentando uma região de não-linearidade entre as duas etapas de encolhimento, como pode ser observado na Figura 2.7. Assim, é importante ajustar o teor de umidade do produto, de tal maneira que a transição para o segundo estágio de encolhimento se situe próximo ao ponto de umidade crítica. Neste sentido, os riscos de trincas e fraturas diminuem consideravelmente.

A Tabela 4.5, resume os valores dos parâmetros de encolhimento β_3 e β_4 , bem como, os coeficientes de correlação obtidos para alguns dos experimentos realizados utilizando a

Equação (3.14) e o Software Statistica, dividindo os dados experimentais para obtenção de duas equações.

Tabela 4.5 – Parâmetros de encolhimento obtidos a partir da Equação (3.14). Análise com duas equações

Amostras	1º Etapa de Encolhimento			2º Etapa de Encolhimento		
	β_3	β_4	R	β_3	β_4	R
CPA2110	0,9584106	0,0363925	0,91	0,946475	0,154376	0,97
CPA3110	0,941138	0,0505213	0,886	0,9557545	0,0265298	0,941
CPA4110	0,9497987	0,046541	0,949	0,95635	0,0224769	0,974
CPB5110	0,9736845	0,0268727	0,964	0,9682333	0,0881264	0,968
CPB6110	0,97159	0,0257744	0,953	0,967929	0,0743863	0,976
CPC160	0,9793786	0,0184971	0,961	0,979677	0,0111036	0,956
CPC260	0,952588	0,0520963	0,952	0,9483045	0,0146351	0,958
CPC360	0,982623	0,0173892	0,981	0,971364	0,1385793	0,975
CPJ180	0,977948	0,0207332	0,99	0,97669	0,0547766	0,934
CPJ280	0,9832303	0,0153024	0,983	0,9794997	0,0810354	0,962
CPJ580	0,978119	0,020481	0,99	0,976069	0,0530033	0,922
CPC1160	0,9809087	0,0176887	0,831	0,980347	0,0240452	0,975
CPC1260	0,9834986	0,0146773	0,952	0,9821513	0,0260317	0,941
CPC1360	0,979578	0,0184799	0,954	0,9766295	0,0226475	0,923

Pela Tabela 4.5 é evidenciado um bom ajuste entre os pontos experimentais e preditos, pela Equação (3.14), para as duas equações encontradas, devido à obtenção dos valores de correlação próximos de 1,000.

A Figura 4.8, apresenta os resultados experimentais para o encolhimento do material do corpo de prova CPC360 e os preditos pela Equação (3.14), utilizando-se os parâmetros obtidos para as duas equações (Tabela 4.5), em uma temperatura de secagem de 60 °C, e umidade relativa do ar, no interior da estufa, de 10%.

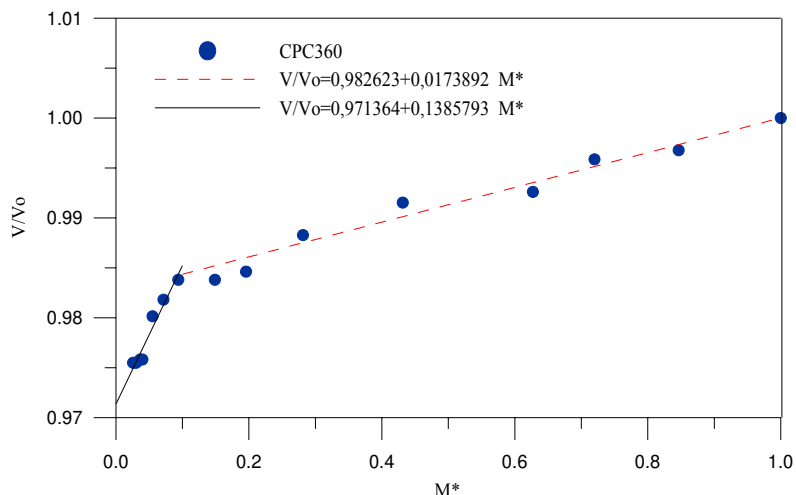


Figura 4.8 – Gráfico de encolhimento do corpo de prova CPC360. Análise com duas equações

Verifica-se pela Figura 4.8 o gráfico, com duas etapas, ou seja, duas equações que representam a primeira e segunda etapas de secagem, e estando agora com uma melhor correlação entre os pontos experimentais e preditos pela Equação (3.14), se comparado com a Figura 4.7.

A Figura 4.9, ilustra a curva de ajuste do volume experimental e o predito pela Equação (3.14), do corpo de prova CPA2110, utilizando-se os parâmetros obtidos (Tabela 4.5), para uma temperatura de secagem de 110 °C, e umidade relativa do ar, no interior da estufa, de 2%.

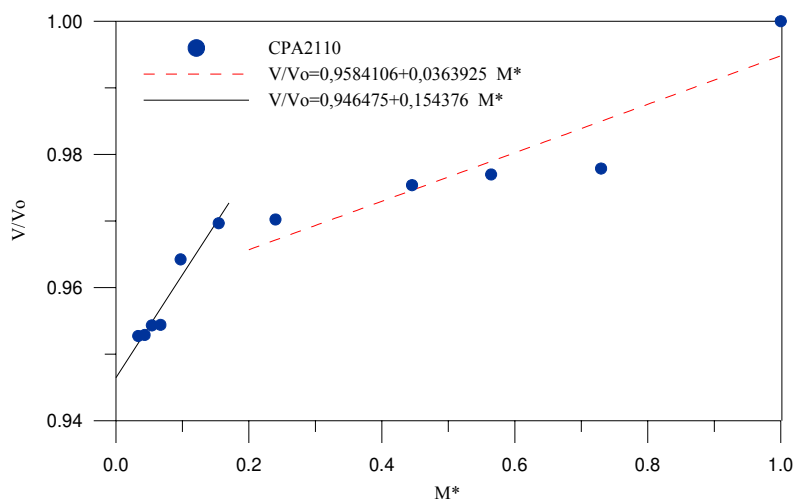


Figura 4.9 – Gráfico de encolhimento do corpo de prova CPA2110. Análise com duas equações

Verifica-se pela Figura 4.9 o gráfico, com as duas etapas de secagem, e que o encolhimento é bem mais rápido, se comparado com a Figura 4.8. Fato devido a temperatura no interior da estufa. Porém a Equação (3.14) pode ser bem aplicada a ambos os casos.

4.3 Resultados Experimentais de Secagem

A Tabela 4.6, apresenta os resultados, dos valores do modulo de ruptura a flexão em três pontos, a variação linear após secagem, a relação área-volume e o desvio padrão dos valores. Os dados de cada corpo de prova, encontram-se no Anexo B, corpo prensado com bordas retas, e no Anexo C, corpo prensado com bordas arredondadas à 15°.

Tabela 4.6 – Média dos resultados e parâmetros experimentais referente aos corpos de prova secos com taxa de aquecimento na secagem

		Após a Secagem					
		MRF (MPa)		RS (%)		S/V (1/mm)	
		Média	Des.Pad.	Média	Des.Pad.	Média	Des.Pad.
Corpo Prensado com Bordas Retas	DT 1 °C/min	5,9982	1,5052	0,5561	0,0307	0,1396	0,0061
	DT 6 °C/min	5,0105	1,9966	0,4881	0,0318	0,1380	0,0078
	DT 11 °C/min	5,7943	2,1166	0,4841	0,0432	0,1420	0,0046
Corpo Prensado com Bordas Arredondadas a 15°	DT 1 °C/min	5,8740	0,3451	0,7432	0,2182	0,1317	0,0052
	DT 6 °C/min	4,1727	0,6677	0,5955	0,0299	0,1320	0,0035
	DT 11 °C/min	4,8012	0,5916	0,6772	0,0437	0,1326	0,0028

Analisando os valores da Tabela 4.6, verifica-se que os corpos de prova com bordas retas tendem a secar mais rápido do que os com bordas arredondadas a 15°, devido a maior relação área/volume que possuem. Em relação a resistentes a flexão, verifica-se

comportamento superior, que provavelmente pode está relacionado ao processo de conformação, que pode induzir tensões internas que diminuem o comportamento mecânico, ao alivia-se as tensões nas extremidades, eliminando um canto vivo, provavelmente houve uma maior concentração de tensões no interior do corpo de prova.

A Figura 4.10 apresenta o módulo de ruptura à flexão dos corpos secos ensaiados, com bordas retas e arredondadas, com suas respectivas taxas de aquecimento durante a secagem.

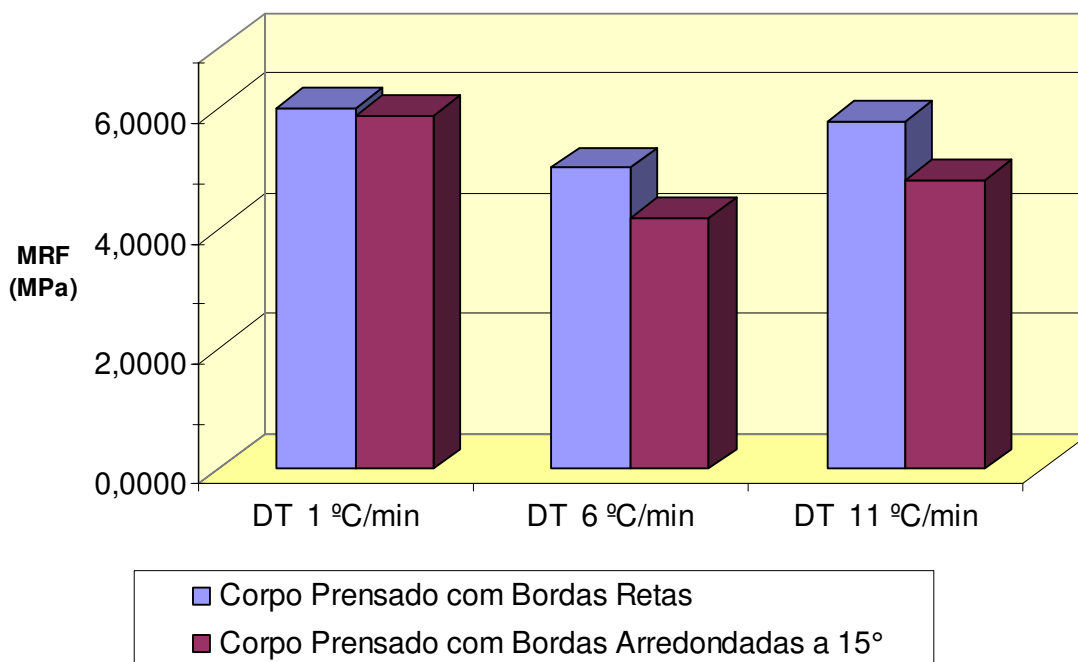


Figura 4.10 – Gráfico comparativo do MRF dos corpos de provas secos com uma determinada taxa de aquecimento na secagem

Analisando a Tabela 4.6 e a Figura 4.10, verifica-se que todos os valores do módulo de resistência a flexão, após secagem a 110°C, independente da taxa de aquecimento na secagem utilizada, são maiores do que o valor mínimo de 2,50 MPa, especificado para uso em cerâmica vermelha, conforme Souza Santos (1992). Verifica-se também que os corpos de provas submetidos a taxa de aquecimento na secagem de 1 °C/min apresentam maior

resistência mecânica, devido provavelmente a taxas de aquecimento mais baixas, induzir a uma redução das tensões internas.

A Figura 4.11 apresenta a variação linear após secagem dos corpos ensaiados, com bordas retas e arredondadas, com suas respectivas taxas de aquecimento durante a secagem.

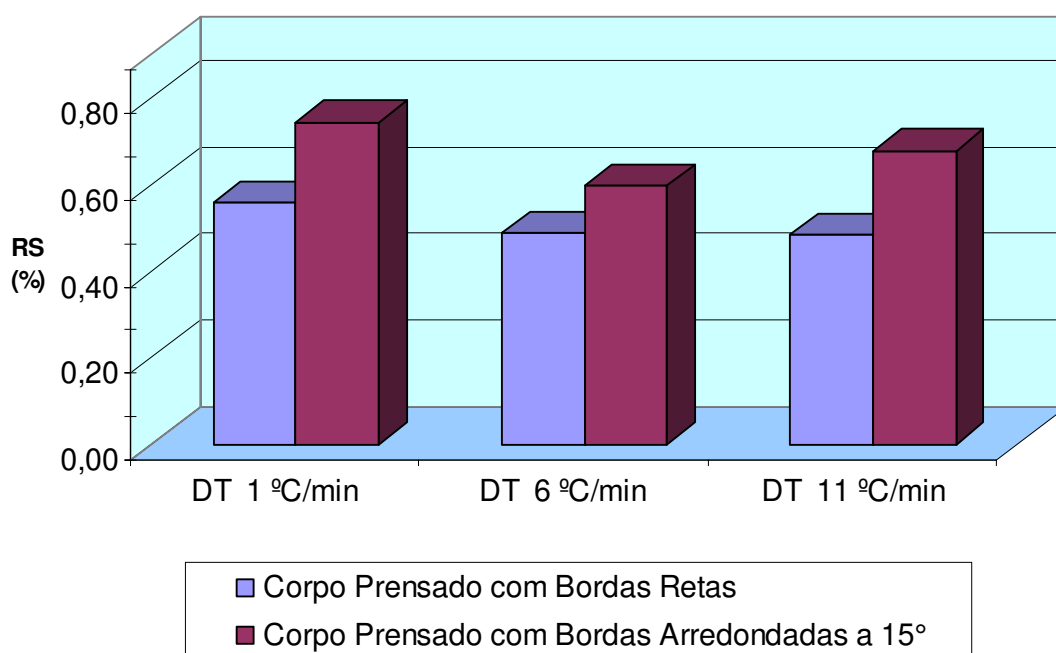


Figura 4.11 – Gráfico comparativo da RS dos corpos de provas secos com uma determinada taxa de aquecimento na secagem

Analisando a Figura 4.11, verifica-se que todos os valores da retração linear após secagem a 110°C, independente da taxa de aquecimento na secagem utilizada, estão dentro da faixa de 0,45 a 7,63%, especificado para o uso em cerâmica vermelha, segundo Souza Santos (1992). Observa-se uma tendência de que, quanto menor a taxa de aquecimento na secagem no processo, maior a retração linear dos corpos de prova, provavelmente, o maior tempo de permanência no forno favoreceu uma maior saída da água presente nos mesmos.

A Tabela 4.7, apresenta os resultados experimentais obtidos na terceira etapa deste trabalho, o tempo, a temperatura do forno, o módulo de ruptura a flexão em três pontos e a

variação linear durante a secagem. Os valores de cada corpo de prova, encontram-se no Anexo D.

Tabela 4.7 – Média dos resultados e parâmetros experimentais referente aos corpos de prova ensaiados durante a secagem com suas taxas

Amostras	Tempo (min)	Temperatura (°C)	MRF(MPa)	RS (%)
DT=1°C/mim	0	50,667	1,547	0,193
	10	60,333	1,762	0,199
	20	71,333	1,711	0,238
	30	79,000	2,160	0,296
	40	90,000	2,420	0,373
	50	99,000	2,411	0,490
	60	108,667	2,783	0,557
	70	110,000	2,205	0,515
	80	110,000	2,383	0,504
	1440	110,000	6,574	0,599
2880	110,000	7,542	0,702	
DT=6°C/mim	0	44,000	1,722	0,179
	10	85,333	2,223	0,301
	20	113,000	2,744	0,540
	30	110,000	2,557	0,459
	40	110,000	2,495	0,524
	50	110,000	3,218	0,604
	60	110,000	3,668	0,652
	70	110,000	2,197	0,568
	80	110,000	2,505	0,585
	1440	110,000	6,252	0,786
2880	110,000	7,200	0,724	
DT=11°C/mim	0	39,667	1,562	0,191
	10	97,667	1,975	0,348
	20	115,667	2,314	0,607
	30	110,000	2,266	0,705
	40	110,000	2,270	0,814
	50	110,000	2,876	0,867
	60	110,000	3,305	0,876
	70	110,000	2,069	0,763
	80	110,000	2,467	0,828
	1440	110,000	6,093	0,949
2880	110,000	6,509	1,013	

Através da Tabela 4.7, observa-se um previsível aumento da retração linear, com o decorrer do tempo, devido ao fato da perda de umidade durante a secagem. Vale salientar, que

no tempo zero já ocorreu uma pequena retração, devido a perda de umidade, em que nada obstante a utilização do dessecador, para movimentação dos corpos de prova. Ressalta-se ainda que, quanto maior a taxa de aquecimento na secagem maior a retração linear alcançado pelo corpo de prova, o que comprova os resultados de secagem obtidos anteriormente neste trabalho. Verifica-se também, como já era esperado, um pequeno aumento da temperatura acima de 110 °C, com as taxas de aquecimento na secagem mais altas. Entretanto, para temperaturas relativamente baixas, os resultados não serão comprometidos, uma vez que além de ter passado muito pouco da temperatura de secagem, mesmo assim, foi durante um intervalo de tempo muito curto.

A Figura 4.12, apresenta um gráfico duplo, comparando o módulo de ruptura a flexão dos corpos de prova e a temperatura do forno obtida durante a secagem, com as diferentes taxas de aquecimento estudadas.

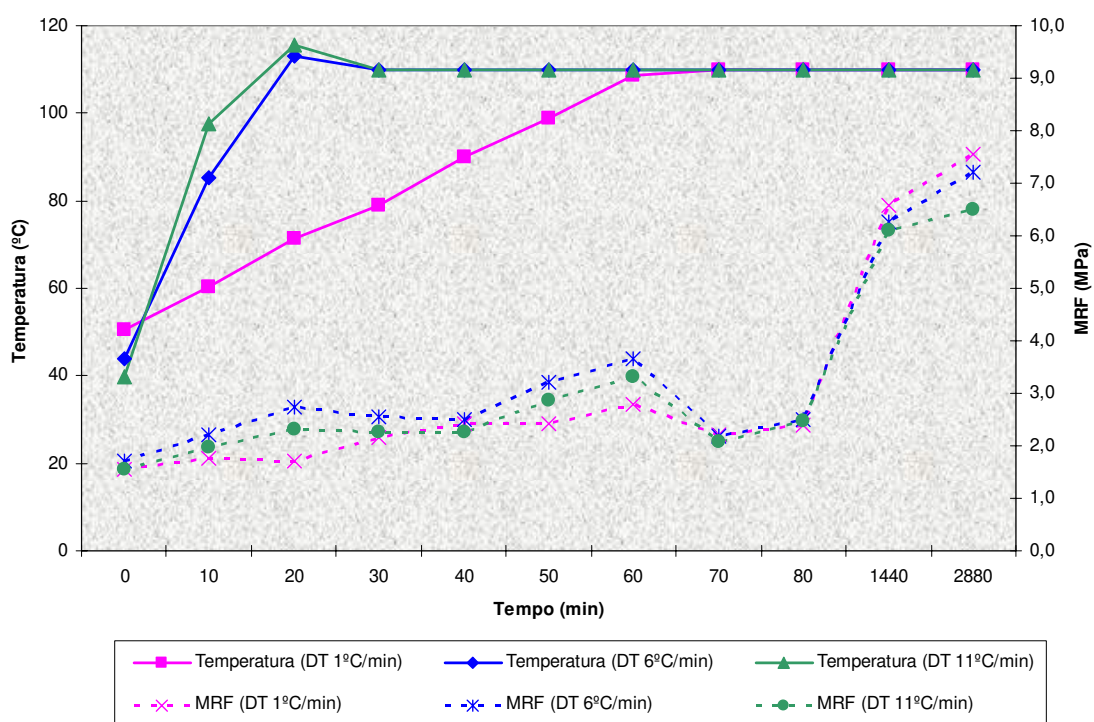


Figura 4.12 – Gráfico comparativo do MRF dos corpos de prova ensaiados durante a secagem e temperatura do forno com suas respectivas DT

Verifica-se na Figura 4.12, um aumento do módulo de ruptura à flexão em três pontos, na medida em que se aumenta a temperatura, com o decorrer do tempo. Observa-se que até 70 minutos, os módulos são maiores para as taxas mais altas, devido a maior perda de umidade. Aos 70 minutos, tornam-se praticamente iguais, ao tempo em que ocorre uma queda brusca no módulo de ruptura a flexão, que pode ser explicado, provavelmente, devido a localização dos corpos de prova, tais corpos de provas estavam localizados na grade inferior do forno e próximo a porta de abertura do mesmo (Figura 4.13). Com efeito, fica demonstrado que o local onde o corpo de prova está situado é muito importante.



Figura 4.13 – Forno com grades para acomodação dos corpos de provas ensaiados durante a secagem

É observado também na Figura 4.12, que os módulos, após 24 e 48 horas, voltam ao seu valor padrão e podem ser novamente comparados. Feita essa análise, verifica-se novamente que, quanto menor a taxa de aquecimento na secagem, maior a resistência mecânica dos corpos de prova.

4.4 Resultados Experimentais de Queima

A Tabela 4.8, apresenta os resultados das propriedades físico-mecânico dos corpos de provas queimados nas temperaturas de 900 e 950 °C e os desvios padrão, tais valores foram obtidos na quarta etapa deste trabalho. Os resultados de cada corpo de prova, encontram-se no Anexo E, corpo prensado com bordas retas, bem como, os corpo prensado com bordas arredondadas a 15°.

Tabela 4.8 – Média dos resultados e parâmetros experimentais referente aos corpos de prova queimados a 900 e 950 °C com diferentes taxa de aquecimento na secagem

		Após Queima									
		MRF (MPa)		RQ (%)		AA		PA		DA	
		Média	Des.Pad.	Média	Des.Pad.	Média	Des.Pad.	Média	Des.Pad.	Média	Des.Pad.
Corpo Prensado com Bordas Retas (900°C)	DT 1 °C/min	9,7993	1,5110	0,7819	0,0629	15,0000	0,6007	28,7171	0,8084	1,9151	0,0224
	DT 6 °C/min	8,5251	1,6165	1,1029	0,5562	13,6474	0,6193	26,6913	0,9033	1,9567	0,0239
	DT 11 °C/min	8,5042	0,8309	1,3792	0,2065	12,9835	0,7251	25,6641	1,1659	1,9777	0,0220
Corpo Prensado com Bordas Arredondadas a 15° (900°C)	DT 1 °C/min	9,0840	1,5809	0,7944	0,1151	14,1967	0,3596	27,5992	0,5349	1,9443	0,0117
	DT 6 °C/min	8,1641	0,8949	0,9645	0,5224	14,2574	0,0823	27,5216	0,1107	1,9304	0,0036
	DT 11 °C/min	8,0390	0,8218	1,8629	0,2358	12,8895	1,0748	25,5384	1,6198	1,9840	0,0384
Corpo Prensado com Bordas Retas (950°C)	DT 1 °C/min	16,6359	1,2837	2,6524	0,4178	10,0924	1,4814	20,7585	2,6113	2,0621	0,0422
	DT 6 °C/min	16,0315	6,2293	3,9038	0,4664	9,0556	0,9984	19,2773	1,7919	2,1319	0,0351
	DT 11 °C/min	16,0876	5,8737	4,2253	0,8185	9,5634	1,5981	19,9967	2,7474	2,0980	0,0508
Corpo Prensado com Bordas Arredondadas a 15° (950°C)	DT 1 °C/min	14,5990	2,2472	2,2641	1,0461	11,2110	1,9185	22,5669	3,1975	2,0223	0,0656
	DT 6 °C/min	14,4510	0,4808	3,3212	0,2243	14,0704	0,4420	27,1737	0,5957	1,9318	0,0205
	DT 11 °C/min	13,6960	2,0956	3,4595	0,6062	12,1177	1,8608	24,3149	3,1257	2,0153	0,0666

Analisando os resultados da Tabela 4.8, verifica-se que a argila poderá provavelmente ser utilizada em cerâmica vermelha, uma vez que os módulos de ruptura a flexão foram superior ao mínimo especificado (6,00 MPa); absorção de água inferiores ao máximo especificado (25%); os valores da porosidade aparente também inferiores ao máximo (35%); e densidade aparente superior ao mínimo especificado ($1,70 \text{ g/cm}^3$) (Souza Santos, 1992).

A Figura 4.14 apresenta os módulos de ruptura à flexão dos corpos de provas, submetidos às taxas de aquecimento durante a secagem, e logo em seguida queimados, a uma temperatura de $900 \text{ }^\circ\text{C}$.

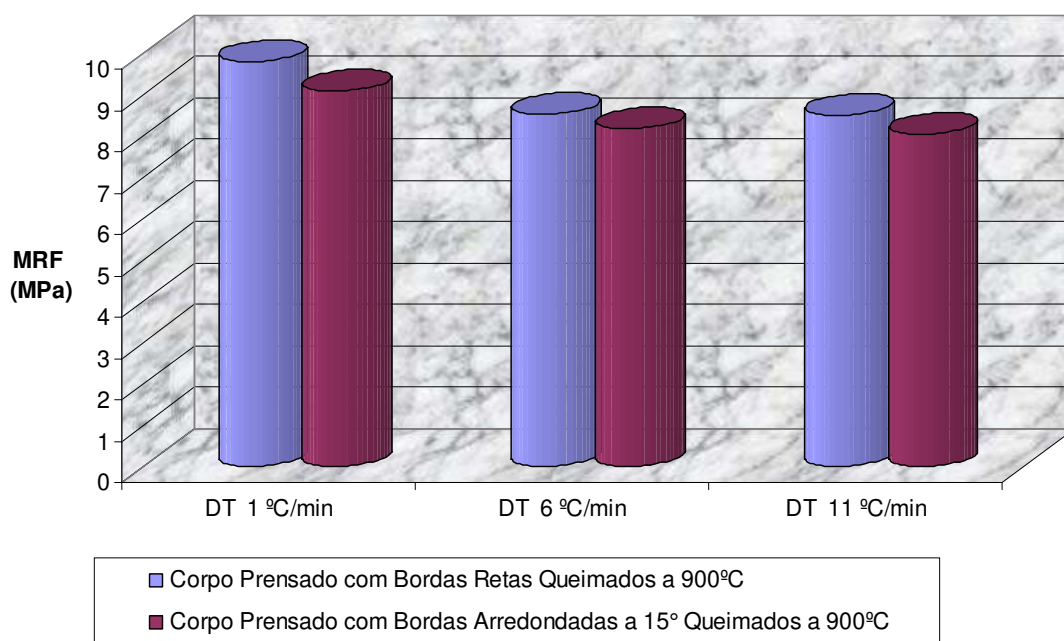


Figura 4.14 – Gráfico comparativo do MRF dos corpos de provas submetidos às taxas de aquecimento na secagem e queimados a $900 \text{ }^\circ\text{C}$

Avaliando a Figura 4.14 verifica-se, uma tendência de que quanto menor a taxa de aquecimento na secagem no processo melhor a resistência dos corpos de prova queimados, devido ao fato, provavelmente, de uma menor concentração de tensões nos corpos de provas para as taxas mais lentas, durante a secagem. Vale salientar, também, que as resistências em

todas as taxas de aquecimento na secagem, foram maiores para os corpos de provas com bordas retas do que com bordas arredondadas, estando este comportamento idêntico ao observado na secagem.

A Figura 4.15 apresenta os módulos de ruptura à flexão dos corpos de provas, submetidos às taxas de aquecimento durante a secagem, e logo em seguida queimados, a uma temperatura de 900 e 950 °C.

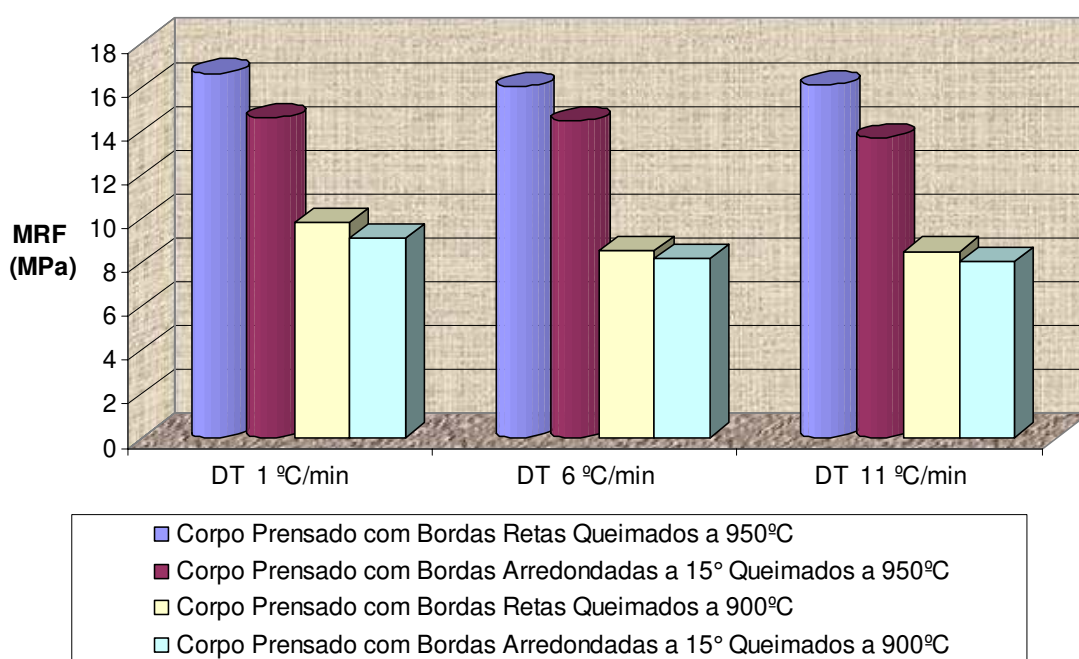


Figura 4.15 – Gráfico comparativo do MRF dos corpos de provas submetidos a diferentes taxas de aquecimento na secagem e queimados a 900 e 950 °C

Analisando a Figura 4.15 observa-se, um aumento da resistência mecânica para todos os casos, com o acréscimo da temperatura de queima, o que está intimamente relacionado com a diminuição da porosidade, tornado mais densa a estrutura dos corpos, que pode ser explicado, provavelmente, pela maior quantidade de fase líquida durante a sinterização.

Na Figura 4.16 tem-se as variações lineares após queima dos corpos de provas, submetidos às taxas de aquecimento durante a secagem, e logo em seguida queimados, a uma temperatura de 900 e 950 °C.

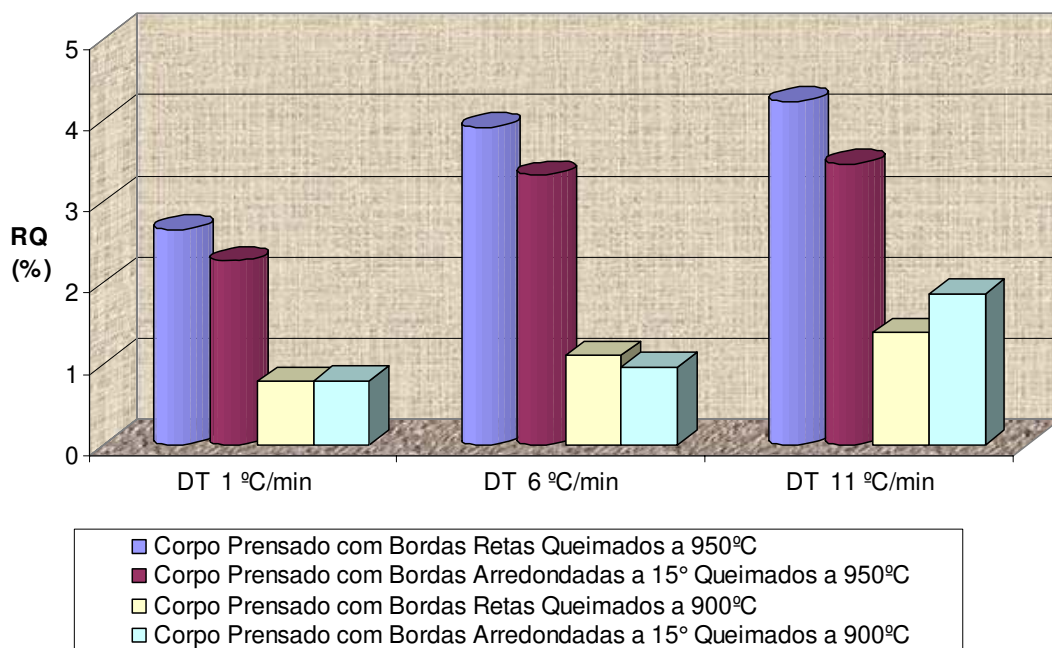


Figura 4.16 – Gráfico comparativo da RQ dos corpos de provas submetidos às taxas de aquecimento na secagem e queimados a 900 e 950 °C

Verifica-se através da Figura 4.16, um aumento na retração linear, com o acréscimo da temperatura de queima para todos os corpos de provas, o que é atribuído, provavelmente, ao maior grau de sinterização.

Os demais valores encontrados, tais como absorção de água, porosidade e densidade aparente estão de acordo com os resultados já comentados, e só comprovam o que foi mencionado.

A Figura 4.17 mostra os corpos de provas, tanto com bordas retas e arredondadas, após a queima (a), bem como após os testes à flexão (b).

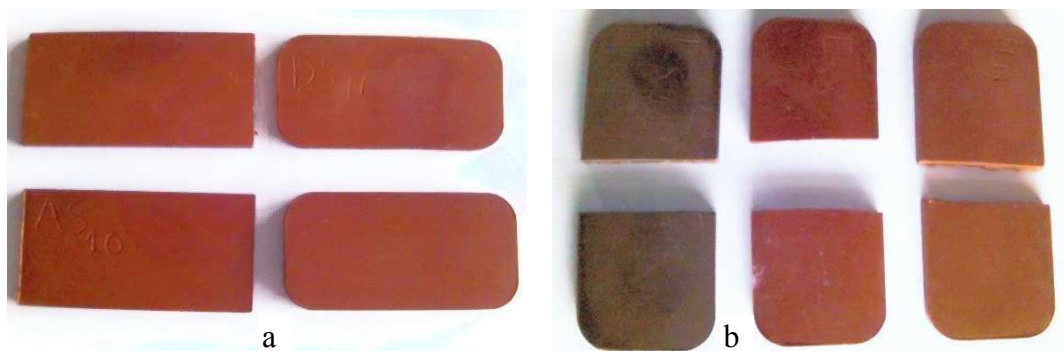


Figura 4.17 – Corpos de prova após queima (a) e após testes de flexão (b)

Verifica-se na Figura 4.17b as tonalidades dos corpos de provas, a coloração cinza após secagem ocorreu devido à presença da matéria orgânica. Já a coloração vermelho claro e vermelho escuro apresentadas nas amostras queimadas a 900 e 950 °C, deve-se provavelmente, a uma maior formação de hematita no corpo, pois os compostos de ferro se transformam em hematita quando queimados em atmosfera oxidante a temperaturas superiores a 400 °C (Gomes, 2005).

Analisando conjuntamente os resultados dos ensaios tecnológicos de secagem e queima, através das propriedades físico-mecânicas dos corpos de provas, pode-se concluir que essa argila pode ser utilizada em cerâmica vermelha, em qualquer das temperaturas de queima. Ensaios em escala piloto deverão ser realizados, para confirmar os resultados laboratoriais.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A argila estudada apresenta na sua composição química teor de sílica (SiO_2) 52,70%, proveniente dos minerais argilosos e da sílica livre, teor de alumina (Al_2O_3) é 23,97%, oriunda dos argilominerais e do feldspato, aumenta a refratariedade da argila, e teor de Ferro (Fe_2O_3) superior a 7%, indica que a argila apresentará, após a queima, a coloração vermelha.

A forma do corpo, interfere na cinética de secagem, ou seja, quanto maior a relação área/volume, mais rápida será a secagem.

Valores maiores da umidade relativa proporcionam maiores níveis do teor de umidade de equilíbrio. Maiores níveis do teor de umidade inicial, implicam em maiores índices de retração volumétrica.

Temperaturas do ar de secagem elevadas, e umidades relativas baixas, resultam numa secagem mais rápida do material. Este efeito, por sua vez, é mais acentuado que os gerados pelas relações área/volume, e o teor de umidade inicial.

Quando as temperaturas e umidades relativas do ambiente de secagem são as mesmas, para corpos de prova porosos, com dimensões diferentes, o teor de umidade inicial e relação área/volume, dominam a cinética de secagem.

Os teores de umidade verificados nos experimentos possuem excelente concordância com os encontrados pela Equação (3.17), e com isso é possível determinar o valor dos coeficientes de transferência convectiva e de difusão de massa.

Apesar de existir uma boa correlação entre os dados preditos e experimentais, a contração volumétrica foi melhor definida em duas etapas, de acordo com dados da literatura (curva de Bigot). A contração volumétrica em duas etapas, evidencia a transição entre a maior e a menor velocidade de retração.

Os corpos de prova com bordas retas foram um pouco mais resistentes após a secagem, se comparados com os corpos com bordas arredondadas, na mesma taxa de aquecimento durante secagem.

Com uma taxa de aquecimento durante a secagem de 1 °C/min, os corpos com bordas arredondadas, teve um módulo de ruptura a flexão de 5,87 MPa, e com uma taxa de 11 °C/min, os corpos com as mesmas bordas, obtive o módulo de 4,80 MPa, demonstrando que quanto menor a taxa de aquecimento durante a secagem melhor a resistência mecânica.

Promove-se um aumento do módulo de ruptura à flexão, na medida em que se eleva a temperatura durante a secagem, resultando módulos maiores para taxas de aquecimento mais altas, até um determinado momento, a partir do qual a resistência fica maior para as taxas de aquecimento mais baixas.

Existe uma tendência de que, quanto menor a taxa de aquecimento na secagem no processo, melhor a resistência dos corpos de prova queimados. A resistência também é maior para os corpos de provas queimados a 950 °C se comparados com as amostras submetidas a 900 °C.

A argila em estudo pode ser utilizada para uso em cerâmica vermelha, independente da taxa de aquecimento na secagem, empregando-se uma temperatura de queima de 900 °C ou 950 °C.

Para trabalhos futuros, sugere-se: determinar o valor dos coeficientes de transferência convectiva e de difusão de massa dos experimentos realizados. Realização de novos experimentos, buscando, dentre outros, obter as características físico-mecânicas, para corpos de provas, possuindo a curvatura das bordas com diferentes angulações. Realizar ensaios, utilizando novas variações de temperatura durante a secagem. Aplicação da mesma argila, para corpos de provas, sob a forma de paralelepípedos vazados. Efetivar testes experimentais, utilizando a máquina de flexão a quatro pontos, confirmando, assim, suas características físico-mecânicas. Dar continuidade ao mapeamento das argilas do Estado da Paraíba, identificando as melhores alternativas para otimizar sua exploração.

REFERÊNCIAS

ALBERO, J. L. Amorós. A Operação de Prensagem: Considerações Técnicas e sua Aplicação Industrial Parte I: O Preenchimento das Cavidades do Molde. **Revista Cerâmica Industrial**, p. 23-28, Setembro/Outubro 2000 a. Bimestral.

ALBERO, J. L. Amorós. A Operação de Prensagem: Considerações Técnicas e sua Aplicação Industrial Parte II: A Compactação. **Revista Cerâmica Industrial**, p. 14-20, Novembro/Dezembro 2000 b. Bimestral.

ALBERO, J. L. Amorós. A Operação de Prensagem: Considerações Técnicas e sua Aplicação Industrial Parte III: Variáveis do Processo de Compactação. **Revista Cerâmica Industrial**, p. 15-23, Janeiro/Fevereiro 2001 a. Bimestral.

ALBERO, J. L. Amorós. A Operação de Prensagem: Considerações Técnicas e sua Aplicação Industrial Parte IV: Extração da Peça e Resistência Mecânica a Verde. **Revista Cerâmica Industrial**, p. 46-50, Março/Abril 2001 b. Bimestral.

ARNOSTI, S. J.; INNOCENTINI, M. D. M.; PANDOLFELLI, V. C., **Variáveis Críticas no Processo de Secagem de Concretos Refratários**. Cerâmicas, São Paulo, v.45 n. 292-293. Mar/Jun. 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Anuário Brasileiro de Cerâmica**. São Paulo 2002, 70 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Cerâmica no Brasil**. Disponível em: <<http://www.abceram.org.br/>>. Acesso em 24 de Março de 2005.

BARBA, V. Beltran, C. F. J. GARCIA, F. GINES, E. SÁNCHEZ, V. SANZ. **Matérias – Primas para a Fabricação de Suportes de Baldosas Cerâmicas**. ITC-Instituto de Tecnologia Cerâmica, 1º Edição 1997, 132 p.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. LTC Editora, Segunda Edição. Rio de Janeiro, 1994, 935p.

BEALL, C. **Masonry design and detailing for architects, engineers and contractors**. New York: Mcgraw-Hill, 1997. 612 p.

BELLINGIERI, J. C., **A indústria cerâmica em São Paulo e a “invenção” do filtro de água: um estudo sobre a cerâmica Lamparelli**”. Jaboticabal (1920-1947). UNESP, Araraquara / SP. 2003.

BÍBLIA. Português. **Bíblia Sagrada**. Edição Pastoral. Trad. Ivo Storniolo e Euclides Martins Balancin. São Paulo: Editora Paulus. 1631 p.

BOLES, M. A., CENGEL, Y. A. **Termodinâmica**, Portugal: McGraw-Hill, 2001, 1009p., Terceira Edição.

BOUCKAERT, P. H. P. **Utilização de Energia para Secagem na Indústria de Cerâmica Vermelha**. 1992, 136f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Nuclear), Universidade Federal de Pernambuco.

CALLISTER, W. D. J., **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**; Tradução, Sérgio Murilo Stamile Soares. LTC Editora, Quinta Edição. 2002.

CREMASCO, M. A. **Fundamentos da Transferência de Massa**. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 1998.

ELIAS, X. **A Fabricação de Materiais Cerâmicos**. Barcelona-Espanha, 1995, 250 p.

FERNANDES, D. M. P. **Design e Tecnologia Aplicados a Produtos Domésticos em Grês Cerâmico**. Florianópolis, 1998. 121f. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina.

GERMAN, R. M., **Power Injection Molding**. Metal Powder Industries Federation. Printed in the United States of America, 1990.

GOMES, J. **Processamento de Argila da Região de Itaporanga-PB, Visando Obter Produtos de Cerâmica Vermelha**. Campina Grande, 2005. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Universidade Federal de Campina Grande.

ITAYA, Y., HASANTANI, M., **Deformation Characteristics of Ceramics During Drying**, International Drying Symposium, pp 190-199, Parte A, 1992.

ITAYA, Y., HASATANI, M., TANIGUCHI, S., **A Numerical Study of Transient Deformation and Stress Behavior of a Clay Slab During Drying**, Drying Technology, Vol. 15, pp 1-21, 1997.

KRAUSE, E. **Manuels de Technologie de Ceramique Industrielle lê Sechage en Ceramic Priciples e Techniques**. Paris: Septima, 1977.

LIMA, A. G. B., **Estudo da Secagem e Dimensionamento de Secador de Casulos do Bicho-da-Seda**. Campina Grande: Departamento de Engenharia Mecânica, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, 1995. 190p. Dissertação (Mestrado).

LIMA, A. G. B., Mata, S. F., **Secagem de Casulos do Bicho-da-Seda: Modelagem e Simulação**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola/Congresso Latinoamericano de Engenharia Agrícola, Bauru, 1996.

LIMA, A. G. B., NEBRA, S. A., MATA, S. F., **Equação de Secagem em Camada Fina para Casulos do Bicho-da-Seda**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Poços de Caldas, 1998.

LIMA, A. G. B., **Fenômenos de Difusão em Sólidos Esferoidais Prolatos. Estudo de Caso: Secagem de Banana**. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1999. 239p. Tese (Doutorado).

MACEDO, R. S., **Estudo das Matérias-Primas e Tijolos Furados Produzidos no Estado da Paraíba**, Dissertação de Mestrado em Engenharia Químicas, CCT/UFPB/ Campina Grande-PB, 1997.

MÁS, E., **Qualidade e Tecnologia em Cerâmica Vermelha**, Pólo Produções Ltda., Criciúma – Santa Catarina, Brasil, 2005.

MEDEIROS, B. L., **Secagem de Argilas com Ar Quente Produzido por Radiação Solar**. João Pessoa, 1977. 67f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal da Paraíba.

MOTHÉ, C. G., AZEVEDO, A. D., **Análise Térmica de Materiais**, iEditora, São Paulo, 2002.

NASCIMENTO, J. J. S., 2002, **Fenômenos de Difusão em Sólidos Paralelepípedos. Estudo de Caso: Secagem de Materiais Cerâmicos**. João Pessoa: Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba – Campus I. 181p. Tese (Doutorado).

NÉRI, J. T. C.; **Energia Limpa, Sustentável ou Subsistência?**. Disponível em: <<http://www.estado.com.br/artigodoleitor>>. Acesso em 08 de janeiro de 2005.

NORTON, F. H., **Introdução à Tecnologia Cerâmica**; Tradutor, Jefferson Vieira de Souza. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 1973.

OLIVEIRA, A. P. N., MONTEDO, 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** Universidade Federal de Santa Catarina UFSC, Departamento de Engenharia Mecânica. 15 p. 2005.

REED, J. S., Drying, **ASM International Handbook Committee**, pp 131-134, 1991.

SANTOS, P. S., **Ciência e Tecnologia de Argilas**, vol. 1., Editora Edgard Blucher, São Paulo, 1992.

TOMAZETTI, R. R. **Análise da produção de cerâmica vermelha da região central do estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado, UFSM, 2003.

WIDMANN, G. **Interpreting TGA Curves**. USERCOM-13, Information for users of METTER TOLEDO thermal analysis Systems, 1/2001.

ANEXOS

A N E X O S A

Resultados Experimentais de Retração Volumétrica Utilizadas para as Curvas de Secagem das Amostras Ensaçadas

Primeira Etapa do Trabalho

TABELA A1 – Condições experimentais para amostra CPA2110

ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA – T = 110 °C – UR = 2,00%									
t(min)	C(mm)	L(mm)	H(mm)	V(mm ³)	m(g)	M(b.s)	M* (adm)	V/Vo	Mo-M
0	120.66	60.3	7.3	53113.33	106.33	0,099	1	1	0
10	120.39	60.17	7.17	51938.52	103.83	0,073	0,73	0,978	0,026
20	120.36	60.13	7.17	51891.06	102.3	0,057	0,564	0,977	0,042
30	120.33	60.13	7.16	51805.77	101.2	0,046	0,445	0,975	0,053
60	120.23	60.03	7.14	51532.29	99.3	0,026	0,24	0,97	0,073
90	120.16	60.03	7.14	51502.28	98.51	0,018	0,155	0,97	0,081
120	120.16	60.03	7.1	51213.75	97.98	0,013	0,097	0,964	0,086
150	120.12	60.03	7.03	50691.95	97.7	0,010	0,067	0,954	0,089
180	120.11	60.03	7.03	50687.73	97.58	0,009	0,054	0,954	0,09
210	120.1	60.03	7.02	50611.41	97.48	0,008	0,043	0,953	0,091
240	120.1	60.02	7.02	50602.98	97.39	0,007	0,034	0,953	0,092

$M_{eq} = 0,003515$ (Teor de umidade de equilíbrio em base seca)

TABELA A2 – Condições experimentais para amostra CPA3110

ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA – T = 110 °C – UR = 2,00%									
t(min)	C(mm)	L(mm)	H(mm)	V(mm ³)	m(g)	M(b.s)	M* (adm)	V/Vo	Mo-M
0	120.72	60.31	6.57	47833.69	107.35	0,102	1	1	0
10	120.34	60.15	6.4	46326.09	104.92	0,077	0,7455	0,968	0,025
20	120.28	60.15	6.4	46302.99	103.35	0,061	0,5812	0,968	0,041
30	120.23	60.07	6.38	46077.74	102.29	0,05	0,4702	0,963	0,052
60	120.11	60.03	6.37	45929	100.25	0,029	0,2565	0,96	0,073
90	120.07	60.03	6.37	45913.7	99.34	0,02	0,1613	0,96	0,082
120	120.05	60,00	6.37	45883.11	98.79	0,014	0,1037	0,959	0,088
150	120.02	59.97	6.36	45776.73	98.48	0,011	0,0712	0,957	0,091
180	120.02	59.97	6.36	45776.73	98.33	0,01	0,0555	0,957	0,093
210	120.02	59.97	6.36	45776.73	98.18	0,008	0,0398	0,957	0,094
240	120.01	59.96	6.36	45765.29	98.11	0,007	0,0325	0,957	0,095

$M_{eq} = 0,004313$ (Teor de umidade de equilíbrio em base seca)

TABELA A3 – Condições experimentais para amostra CPA4110

ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA – T = 110 °C – UR = 2,00%									
t(min)	C(mm)	L(mm)	H(mm)	V(mm ³)	m(g)	M(b.s)	M* (adm)	V/Vo	Mo-M
0	120.55	60.32	7.23	52573.49	115.06	0,097	1	1	0
10	120.15	60.14	7.12	51447.85	112.44	0,072	0,733	0,979	0,025
20	120.19	60.15	7.16	51762.71	109.9	0,048	0,474	0,985	0,049
30	120.05	60.1	7.05	50865.79	109.89	0,048	0,473	0,968	0,049
60	119.96	60.03	7.04	50696.44	107.77	0,028	0,257	0,964	0,07
90	119.96	60.02	7.01	50471.99	106.76	0,018	0,154	0,96	0,079
120	119.96	60	7	50383.2	106.21	0,013	0,098	0,958	0,084
150	119.87	60	7	50345.4	105.93	0,01	0,069	0,958	0,087
180	119.84	60	7	50332.8	105.76	0,009	0,052	0,957	0,089
210	119.84	60	7	50332.8	105.62	0,007	0,038	0,957	0,09
240	119.83	60	7	50328.6	105.56	0,007	0,032	0,957	0,091

$M_{eq} = 0,003719$ (Teor de umidade de equilíbrio em base seca)

TABELA A4 – Condições experimentais para amostra CPA5110

ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA – T = 110 °C – UR = 2,00%									
t(min)	C(mm)	L(mm)	H(mm)	V(mm ³)	m(g)	M(b.s)	M* (adm)	V/Vo	Mo-M
0	120.78	60.28	6.79	49435.4	112.47	0,098	1	1	0
10	120.38	60.1	6.65	48111.67	108.89	0,063	0,632	0,973	0,035
20	120.37	60.09	6.62	47882.68	107.58	0,05	0,497	0,969	0,048
30	120.3	60.08	6.61	47774.59	106.67	0,042	0,403	0,966	0,057
60	120.2	60	6.58	47454.96	104.83	0,024	0,214	0,96	0,075
90	120.17	60	6.58	47443.12	103.98	0,015	0,127	0,96	0,083
120	120.15	60	6.56	47291.04	103.54	0,011	0,081	0,957	0,087
150	120.14	59.97	6.56	47263.46	103.33	0,009	0,06	0,956	0,089
180	120.13	59.97	6.49	46755.23	103.2	0,008	0,046	0,946	0,091
210	120.13	59.97	6.49	46755.23	103.08	0,007	0,034	0,946	0,092
240	120.13	59.97	6.49	46755.23	103.04	0,006	0,03	0,946	0,092

$M_{eq} = 0,00332$ (Teor de umidade de equilíbrio em base seca)

TABELA A5 – Condições experimentais para amostra CPB3110

ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA – T = 110 °C – UR = 2,00%									
t(min)	C(mm)	L(mm)	H(mm)	V(mm ³)	m(g)	M(b.s)	M* (adm)	V/Vo	Mo-M
0	120.8	60.33	6.8	49557.48	109.13	0,103	1	1	0
10	120.38	60.14	6.75	48867.66	106.67	0,078	0,758	0,986	0,025
20	120.3	60.13	6.74	48754.73	105.08	0,062	0,602	0,984	0,041
30	120.24	60.06	6.71	48457.03	103.92	0,051	0,488	0,978	0,053
60	120.18	60.01	6.7	48320.41	101.81	0,029	0,281	0,975	0,074
90	120.15	60	6.7	48300.3	100.78	0,019	0,18	0,975	0,084
120	120.14	59.95	6.69	48184.01	100.23	0,013	0,126	0,972	0,09
150	120.05	59.95	6.68	48075.94	99.88	0,01	0,091	0,97	0,094
180	120.05	59.95	6.68	48075.94	99.73	0,008	0,077	0,97	0,095
210	120.04	59.95	6.68	48071.94	99.66	0,007	0,07	0,97	0,096
240	120.04	59.95	6.68	48071.94	99.57	0,007	0,061	0,97	0,097
270	120.02	59,94	6,68	48055,91	99,56	0,006	0,06	0,97	0,097
300	120	59,94	6,68	48047,9	99,53	0,006	0,057	0,97	0,097

$M_{eq} = 0,000303$ (Teor de umidade de equilíbrio em base seca)

TABELA A6 – Condições experimentais para amostra CPB4110

ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA – T = 110 °C – UR = 2,00%									
t(min)	C(mm)	L(mm)	H(mm)	V(mm ³)	m(g)	M(b.s)	M* (adm)	V/Vo	Mo-M
0	120.68	64.34	6.86	53264.82	110.66	0,102	1	1	0
10	120.32	60.15	6.71	48561.93	106.67	0,062	0,802	0,912	0,04
20	120.26	60.11	6.66	48144	107.04	0,066	0,646	0,904	0,036
30	120.19	60.11	6.65	48043.73	105.82	0,054	0,526	0,902	0,048
60	120.1	60.03	6.61	47655.48	103.61	0,032	0,31	0,895	0,07
90	120.09	60	6.6	47555.64	102.49	0,02	0,201	0,893	0,081
120	120.09	60	6.59	47483.59	101.89	0,014	0,142	0,891	0,087
150	120.03	60	6.59	47459.86	101.45	0,01	0,099	0,891	0,092
180	120.03	60	6.59	47459.86	101.29	0,008	0,083	0,891	0,093
210	120.03	60	6.58	47387.84	101.18	0,007	0,072	0,89	0,094
240	120.03	60	6.58	47387.84	101.08	0,006	0,063	0,89	0,095
270	119,96	60	6,57	47288,23	101,05	0,006	0,06	0,888	0,096
300	119,93	59,97	6,57	47252,77	101	0,006	0,055	0,887	0,096

$M_{eq} = 0,000$ (Teor de umidade de equilíbrio em base seca)

TABELA A7 – Condições experimentais para amostra CPB5110

ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA – T = 110 °C – UR = 2,00%									
t(min)	C(mm)	L(mm)	H(mm)	V(mm ³)	m(g)	M(b.s)	M* (adm)	V/Vo	Mo-M
0	120.75	60.35	7.45	54290.11	110.45	0,103	1	1	0
10	120.47	60.15	7.49	54274.57	106.67	0,065	0,631	1	0,038
20	120.39	60.14	7.41	53650.29	106.97	0,068	0,66	0,988	0,035
30	120.32	60.14	7.4	53546.73	105.73	0,056	0,539	0,986	0,047
60	120.21	60.14	7.38	53353.19	103.59	0,034	0,33	0,983	0,068
90	120.21	60.07	7.38	53291.09	102.48	0,023	0,222	0,982	0,08
120	120.19	60.05	7.35	53047.96	101.65	0,015	0,141	0,977	0,088
150	120.19	60.05	7.35	53047.96	101.2	0,01	0,097	0,977	0,092
180	120.12	60.04	7.34	52936.12	101.02	0,009	0,079	0,975	0,094
210	120.11	60.03	7.33	52850.79	100.91	0,007	0,068	0,973	0,095
240	120.11	60.03	7.33	52850.79	100.78	0,006	0,056	0,973	0,097
270	120,1	59,99	7,33	52811,18	100,74	0,006	0,052	0,973	0,097
300	120,08	59,99	7,33	52802,38	100,69	0,005	0,047	0,973	0,097

$M_{eq} = 0,000499$ (Teor de umidade de equilíbrio em base seca)

TABELA A8 – Condições experimentais para amostra CPB6110

ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA – T = 110 °C – UR = 2,00%									
t(min)	C(mm)	L(mm)	H(mm)	V(mm ³)	m(g)	M(b.s)	M* (adm)	V/Vo	Mo-M
0	120.79	60.34	7.04	51310.82	110.79	0,098	1	1	0
10	120.49	60.15	7.03	50949.74	106.67	0,057	0,798	0,993	0,041
20	120.49	60.14	6.97	50506.49	107.21	0,062	0,638	0,984	0,035
30	120.43	60.14	6.96	50408.91	106.14	0,052	0,529	0,982	0,046
60	120.4	60.13	6.96	50387.98	104.15	0,032	0,328	0,982	0,066
90	120.38	60.08	6.94	50193.07	102.95	0,02	0,206	0,978	0,078
120	120.29	60.08	6.93	50083.27	102.32	0,014	0,143	0,976	0,084
150	120.25	60.05	6.93	50041.62	101.89	0,01	0,099	0,975	0,088
180	120.25	60.05	6.92	49969.41	101.73	0,008	0,083	0,974	0,09
210	120.25	60.05	6.92	49969.41	101.62	0,007	0,072	0,974	0,091
240	120.25	60.05	6.91	49897.2	101.53	0,006	0,063	0,972	0,092
270	120,22	60,03	6,91	49868,13	101,45	0,005	0,055	0,972	0,093
300	120,22	60,03	6,91	49868,13	101,44	0,005	0,054	0,972	0,093

$M_{eq} = 0,000$ (Teor de umidade de equilíbrio em base seca)

TABELA A9 – Condições experimentais para amostra CPB7110

ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA – T = 110 °C – UR = 2,00%									
t(min)	C(mm)	L(mm)	H(mm)	V(mm ³)	m(g)	M(b.s)	M* (adm)	V/Vo	Mo-M
0	120.84	60.24	7.25	52775.66	119.53	0,097	1	1	0
10	120.64	60.15	7.14	51811.38	116.67	0,071	0,728	0,982	0,026
20	120.59	60.08	7.14	51729.64	115.72	0,062	0,638	0,98	0,035
30	120.5	60.08	7.12	51546.24	114.6	0,052	0,532	0,977	0,045
60	120.44	60.04	7.11	51413.96	112.4	0,031	0,323	0,974	0,065
90	120.39	60.02	7.09	51230.98	111.2	0,02	0,209	0,971	0,076
120	120.38	60	7.09	51209.65	110.5	0,014	0,142	0,97	0,083
150	120.37	60	7.08	51133.18	110.04	0,01	0,099	0,969	0,087
180	120.36	60	7.08	51128.93	109.87	0,008	0,083	0,969	0,089
210	120.35	60	7.07	51052.47	109.76	0,007	0,072	0,967	0,09
240	120.35	59.99	7.07	51043.96	109.67	0,006	0,064	0,967	0,09
270	120,34	59,99	7,07	51039,72	109,58	0,006	0,055	0,967	0,091
300	120,3	59,97	7,05	50861,46	109,54	0,005	0,051	0,964	0,092

$M_{eq} = 0,000184$ (Teor de umidade de equilíbrio em base seca)

TABELA A10 – Condições experimentais para amostra CPC160

ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA – T = 60 °C – UR = 10,00%									
t(min)	C(mm)	L(mm)	H(mm)	V(mm ³)	m(g)	M(b.s)	M* (adm)	V/Vo	Mo-M
0	120.78	60.26	7.4	53858.7	116.07	0,096	1	1	0
10	120.63	60.16	7.39	53629.97	114.73	0,084	0,852	0,996	0,013
20	120.51	60.09	7.37	53369.46	113.63	0,073	0,731	0,991	0,023
30	120.44	60.08	7.36	53257.22	112.74	0,065	0,632	0,989	0,031
60	120.39	60.07	7.35	53153.93	110.9	0,048	0,429	0,987	0,049
90	120.39	60.03	7.34	53046.27	108.92	0,029	0,211	0,985	0,068
120	120.35	60.02	7.33	52947.57	108.7	0,027	0,187	0,983	0,07
150	120.32	60.01	7.32	52853.35	108.46	0,024	0,16	0,981	0,072
180	120.32	60	7.32	52844.54	107.98	0,02	0,107	0,981	0,076
210	120.27	59.98	7.32	52804.98	107.77	0,018	0,084	0,98	0,078
240	120.27	59.98	7.32	52804.98	107.54	0,016	0,058	0,98	0,081
270	120,24	59,98	7,32	52791,8	107,45	0,015	0,049	0,98	0,081
300	120,24	59,97	7,32	52783	107,34	0,014	0,036	0,98	0,082
330	120,23	59,97	7,32	52778,61	107,3	0,014	0,032	0,98	0,083
400	120,23	59,97	7,32	52778,61	107,19	0,012	0,02	0,98	0,084

$M_{eq} = 0,010768$ (Teor de umidade de equilíbrio em base seca)

TABELA A11 – Condições experimentais para amostra CPC260

ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA – T = 60 °C – UR = 10,00%									
t(min)	C(mm)	L(mm)	H(mm)	V(mm ³)	m(g)	M(b.s)	M* (adm)	V/Vo	Mo-M
0	120.77	60.24	7.52	54709.39	108.84	0,096	1	1	0
10	120.63	60.16	7.51	54500.83	107.62	0,084	0,856	0,996	0,012
20	120.46	60.13	7.48	54179.58	106.56	0,073	0,732	0,99	0,023
30	120.45	60.1	7.47	54075.67	105.78	0,065	0,64	0,988	0,031
60	120.44	60.09	7.46	53989.81	104.01	0,047	0,432	0,987	0,049
90	120.43	60.07	7.35	53171.59	102.77	0,035	0,286	0,972	0,061
120	120.41	60.05	7.25	52422	102.09	0,028	0,206	0,958	0,068
150	120.27	60.04	7.24	52280.12	101.67	0,024	0,156	0,956	0,072
180	120.27	60.03	7.24	52271.41	101.18	0,019	0,099	0,955	0,077
210	120.23	60	7.2	51939.36	101.01	0,017	0,079	0,949	0,079
240	120.22	60	7.2	51935.04	100.83	0,015	0,058	0,949	0,081
270	120,2	59,99	7,2	51917,75	100,74	0,015	0,047	0,949	0,082
300	120,19	59,99	7,2	51913,43	100,65	0,014	0,036	0,949	0,082
330	120,19	59,98	7,2	51904,77	100,59	0,013	0,029	0,949	0,083
360	120,19	59,97	7,2	51896,12	100,55	0,013	0,025	0,949	0,083

$M_{eq} = 0,010473$ (Teor de umidade de equilíbrio em base seca)

TABELA A12 – Condições experimentais para amostra CPC360

ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA – T = 60 °C – UR = 10,00%									
t(min)	C(mm)	L(mm)	H(mm)	V(mm ³)	m(g)	M(b.s)	M* (adm)	V/Vo	Mo-M
0	120.8	60.37	7	51048.87	109.81	0,095	1	1	0
10	120.63	60.26	7	50884.15	108.5	0,082	0,846	0,997	0,013
20	120.52	60.26	7	50837.75	107.42	0,071	0,72	0,996	0,024
30	120.49	60.25	6.98	50671.47	106.63	0,064	0,627	0,993	0,032
60	120.44	60.21	6.98	50616.81	104.96	0,047	0,431	0,992	0,048
90	120.41	60.2	6.96	50450.83	103.68	0,034	0,281	0,988	0,061
120	120.41	60.15	6.94	50264.07	102.95	0,027	0,196	0,985	0,068
150	120.33	60.14	6.94	50222.32	102.55	0,023	0,149	0,984	0,072
180	120.33	60.14	6.94	50222.32	102.08	0,018	0,094	0,984	0,077
210	120.28	60.13	6.93	50120.78	101.89	0,016	0,072	0,982	0,079
240	120.27	60.12	6.92	50035.98	101.75	0,015	0,055	0,98	0,08
270	120,26	60,12	6,89	49814,91	101,62	0,014	0,04	0,976	0,082
300	120,26	60,12	6,89	49814,91	101,59	0,013	0,036	0,976	0,082
330	120,26	60,1	6,89	49798,34	101,54	0,013	0,03	0,976	0,082
360	120,26	60,1	6,89	49798,34	101,5	0,012	0,026	0,976	0,083

$M_{eq} = 0,010174$ (Teor de umidade de equilíbrio em base seca)

TABELA A13 – Condições experimentais para amostra CPC460

ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA – T = 60 °C – UR = 10,00%									
t(min)	C(mm)	L(mm)	H(mm)	V(mm ³)	m(g)	M(b.s)	M* (adm)	V/Vo	Mo-M
0	120.79	60.24	7.18	52244.48	112.75	0,094	1	1	0
10	120.63	60.16	7.18	52105.98	111.44	0,081	0,848	0,997	0,013
20	120.59	60.13	7.16	51917.71	110.5	0,072	0,739	0,994	0,022
30	120.5	60.1	7.16	51853.08	109.72	0,065	0,649	0,993	0,029
60	120.49	60.07	7.15	51750.52	108.1	0,049	0,461	0,991	0,045
90	120.43	60.07	7.14	51652.4	106.68	0,035	0,297	0,989	0,059
120	120.39	60.04	7.13	51537.18	105.98	0,028	0,216	0,986	0,066
150	120.35	60.02	7.11	51358.42	105.47	0,023	0,156	0,983	0,071
180	120.35	60.02	7.1	51286.19	104.98	0,019	0,1	0,982	0,075
210	120.28	59.99	7.05	50869.96	104.78	0,017	0,076	0,974	0,077
240	120.27	59.99	7.03	50721.43	104.69	0,016	0,066	0,971	0,078
270	120,27	59,99	7,03	50721,43	104,55	0,014	0,05	0,971	0,08
300	120,26	59,99	7,03	50717,21	104,53	0,014	0,048	0,971	0,08
330	120,26	59,99	7,03	50717,21	104,42	0,013	0,035	0,971	0,081
360	120,26	59,99	7,03	50717,21	104,42	0,013	0,035	0,971	0,081

$M_{eq} = 0,010285$ (Teor de umidade de equilíbrio em base seca)

TABELA A14 – Condições experimentais para amostra CPJ180

ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA – T = 80 °C – UR = 6,00%									
t(min)	C(mm)	L(mm)	H(mm)	V(mm ³)	m(g)	M(b.s)	M* (adm)	V/Vo	Mo-M
0	120.12	60.09	6.75	48721.57	104.39	0,087	1	1	0
10	120.01	60.02	6.72	48404.16	102.88	0,071	0,817	0,993	0,016
20	119.94	59.99	6.71	48279.8	101.49	0,057	0,648	0,991	0,03
30	119.93	59.99	6.7	48203.82	100.48	0,046	0,526	0,989	0,041
60	119.84	59.9	6.67	47880.03	98.48	0,026	0,284	0,983	0,062
90	119.78	59.9	6.67	47856.06	97.57	0,016	0,173	0,982	0,071
120	119.75	59.9	6.66	47772.35	96.99	0,01	0,103	0,981	0,077
150	119.74	59.9	6.66	47768.36	96.75	0,007	0,074	0,98	0,08
180	119.72	59.89	6.66	47752.41	96.64	0,006	0,061	0,98	0,081
210	119.72	59.89	6.66	47752.41	96.54	0,005	0,048	0,98	0,082
240	119.71	59.88	6.65	47668.76	96.46	0,004	0,039	0,978	0,083
270	119.71	59,87	6,65	47660,8	96,39	0,004	0,03	0,978	0,083
300	119,71	59,87	6,65	47660,8	96,37	0,004	0,028	0,978	0,084
330	119,71	59,86	6,65	47652,84	96,35	0,003	0,025	0,978	0,084

$M_{eq} = 0,001145$ (Teor de umidade de equilíbrio em base seca)

TABELA A15 – Condições experimentais para amostra CPJ280

ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA – T = 80 °C – UR = 6,00%									
t(min)	C(mm)	L(mm)	H(mm)	V(mm ³)	m(g)	M(b.s)	M* (adm)	V/Vo	Mo-M
0	120.24	60.12	7.17	51830.7	104.28	0,093	1	1	0
10	120.08	60.04	7.16	51620.76	102.94	0,079	0,848	0,996	0,014
20	120.05	60	7.14	51429.42	101.53	0,064	0,687	0,992	0,029
30	119.96	59.98	7.14	51373.73	100.41	0,053	0,56	0,991	0,041
60	119.89	59.92	7.13	51220.56	98.33	0,031	0,323	0,988	0,062
90	119.78	59.91	7.12	51093.26	97.16	0,019	0,19	0,986	0,075
120	119.75	59.9	7.12	51071.94	96.5	0,012	0,115	0,985	0,082
150	119.78	59.9	7.12	51084.73	96.2	0,009	0,081	0,986	0,085
180	119.75	59.89	7.12	51063.41	96.02	0,007	0,06	0,985	0,087
210	119.74	59.89	7.11	50987.44	95.93	0,006	0,05	0,984	0,088
240	119.74	59.87	7.1	50898.72	95.82	0,005	0,038	0,982	0,089
270	119,73	59,87	7,1	50894,47	95,78	0,004	0,033	0,982	0,089
300	119,73	59,86	7,1	50885,97	95,74	0,004	0,028	0,982	0,09
330	119,73	59,86	7,1	50885,97	95,71	0,003	0,025	0,982	0,09

$M_{eq} = 0,001153$ (Teor de umidade de equilíbrio em base seca)

TABELA A16 – Condições experimentais para amostra CPJ380

ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA – T = 80 °C – UR = 6,00%									
t(min)	C(mm)	L(mm)	H(mm)	V(mm ³)	m(g)	M(b.s)	M* (adm)	V/Vo	Mo-M
0	120.26	60.13	7.29	52715.69	112.18	0,095	1	1	0
10	120.18	60.04	7.27	52457.46	110.05	0,074	0,78	0,995	0,021
20	120.05	59.99	7.26	52285.06	109.58	0,069	0,731	0,992	0,025
30	120.02	59.96	7.25	52173.89	108.38	0,058	0,607	0,99	0,037
60	119.91	59.92	7.23	51947.6	106.01	0,035	0,362	0,985	0,06
90	119.78	59.88	7.22	51784.92	104.59	0,021	0,215	0,982	0,074
120	119.75	59.87	7.22	51763.3	103.75	0,013	0,128	0,982	0,082
150	119.77	59.87	7.22	51771.95	103.44	0,01	0,096	0,982	0,085
180	119.76	59.86	7.22	51758.98	103.19	0,007	0,07	0,982	0,088
210	119.73	59.86	7.22	51746.01	103.14	0,007	0,065	0,982	0,088
240	119.73	59.85	7.22	51737.37	102.96	0,005	0,047	0,981	0,09
270	119.73	59,84	7,21	51657,08	102,9	0,004	0,04	0,98	0,091
300	119,72	59,83	7,21	51644,13	102,86	0,004	0,036	0,98	0,091
330	119,72	59,83	7,21	51644,13	102,79	0,003	0,029	0,98	0,092

$M_{eq} = 0,000488$ (Teor de umidade de equilíbrio em base seca)

TABELA A17 – Condições experimentais para amostra CPJ480

ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA – T = 80 °C – UR = 6,00%									
t(min)	C(mm)	L(mm)	H(mm)	V(mm ³)	m(g)	M(b.s)	M* (adm)	V/Vo	Mo-M
0	120.33	60.12	7.44	53822.74	110.36	0,095	1	1	0
10	120.2	60.06	7.43	53638.75	109.04	0,082	0,861	0,997	0,013
20	120.07	60.03	7.42	53481.89	107.59	0,067	0,709	0,994	0,027
30	120.02	60	7.4	53288.88	106.44	0,056	0,588	0,99	0,039
60	119.81	59.95	7.34	52720.35	104.14	0,033	0,347	0,98	0,062
90	119.78	59.9	7.37	52878.44	102.96	0,021	0,223	0,982	0,073
120	119.75	59.9	7.37	52865.19	102.16	0,013	0,139	0,982	0,081
150	119.81	59.9	7.37	52891.68	101.74	0,009	0,095	0,983	0,086
180	119.79	59.9	7.37	52882.85	101.49	0,007	0,068	0,983	0,088
210	119.79	59.89	7.37	52874.02	101.44	0,006	0,063	0,982	0,088
240	119.77	59.88	7.36	52784.65	101.33	0,005	0,051	0,981	0,09
270	119,76	59,86	7,36	52762,62	101,22	0,004	0,04	0,98	0,091
300	119,75	59,86	7,36	52758,21	101,2	0,004	0,038	0,98	0,091
330	119,75	59,86	7,35	52686,53	101,15	0,003	0,033	0,979	0,091

$M_{eq} = 0,000397$ (Teor de umidade de equilíbrio em base seca)

TABELA A18 – Condições experimentais para amostra CPJ580

ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA – T = 80 °C – UR = 6,00%									
t(min)	C(mm)	L(mm)	H(mm)	V(mm ³)	m(g)	M(b.s)	M* (adm)	V/Vo	Mo-M
0	120,43	60,27	7,69	55816,45	117,05	0,094	1	1	0
10	120,23	60,18	7,67	55495,84	115,34	0,078	0,829	0,994	0,016
20	120,17	60,15	7,66	55368,21	113,91	0,065	0,686	0,992	0,029
30	120,1	60,13	7,64	55173,12	112,73	0,054	0,568	0,988	0,04
60	119,99	60,06	7,63	54986,35	110,34	0,032	0,328	0,985	0,063
90	119,78	60,04	7,61	54728,01	109,17	0,021	0,211	0,98	0,074
120	119,75	60,04	7,61	54714,3	108,41	0,014	0,135	0,98	0,081
150	119,94	60,04	7,61	54801,11	108,05	0,01	0,099	0,982	0,084
180	119,88	59,99	7,6	54656,17	107,77	0,008	0,071	0,979	0,087
210	119,87	59,99	7,6	54651,61	107,71	0,007	0,065	0,979	0,087
240	119,96	59,99	7,6	54692,64	107,64	0,006	0,058	0,98	0,088
270	119,95	59,98	7,6	54678,97	107,53	0,005	0,047	0,98	0,089
300	119,85	59,98	7,6	54633,38	107,55	0,006	0,049	0,979	0,089
330	119,85	59,98	7,6	54633,38	107,48	0,005	0,042	0,979	0,089

$M_{eq} = 0,000935$ (Teor de umidade de equilíbrio em base seca)

TABELA A19 – Condições experimentais para amostra CPC1060

ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA – T = 60 °C – UR = 14,00%									
t(min)	C(mm)	L(mm)	H(mm)	V(mm ³)	m(g)	M(b.s)	M* (adm)	V/Vo	Mo-M
0	120,64	60,24	7,97	57920,81	117,89	0,078	1	1	0
10	120,57	60,13	7,96	57709	117,08	0,071	0,898	0,996	0,007
20	120,52	60,11	7,93	57448,55	116,15	0,062	0,781	0,992	0,016
30	120,5	60,09	7,92	57347,49	115,49	0,056	0,698	0,99	0,022
60	120,43	60,08	7,92	57304,64	113,99	0,042	0,509	0,989	0,036
90	120,41	60,05	7,91	57194,21	113,26	0,036	0,417	0,987	0,042
120	120,4	60,03	7,9	57098,13	112,39	0,028	0,307	0,986	0,05
150	120,39	60,03	7,9	57093,39	112	0,024	0,258	0,986	0,054
180	120,37	60,02	7,89	57002,15	111,56	0,02	0,203	0,984	0,058
210	120,36	60,01	7,89	56987,92	111,24	0,017	0,162	0,984	0,061
240	120,33	60	7,88	56892,02	111,07	0,016	0,141	0,982	0,062
270	120,32	59,99	7,88	56877,81	110,87	0,014	0,116	0,982	0,064
300	120,31	59,99	7,88	56873,09	110,62	0,012	0,084	0,982	0,066
330	120,3	59,99	7,88	56868,36	110,57	0,011	0,078	0,982	0,067

$M_{eq} = 0,005395$ (Teor de umidade de equilíbrio em base seca)

TABELA A20 – Condições experimentais para amostra CPC1160

ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA – T = 60 °C – UR = 14,00%									
t(min)	C(mm)	L(mm)	H(mm)	V(mm ³)	m(g)	M(b.s)	M* (adm)	V/Vo	Mo-M
0	120.79	60.22	7.16	52081.65	114.81	0,087	1	1	0
10	120.66	60.16	7.15	51901.18	113.75	0,077	0,876	0,997	0,01
20	120.57	60.11	7.13	51674.41	112.78	0,068	0,763	0,992	0,019
30	120.53	60.09	7.13	51640.08	112.03	0,061	0,676	0,992	0,026
60	120.47	60.09	7.12	51541.98	110.37	0,045	0,483	0,99	0,042
90	120.47	60.06	7.11	51443.89	109.49	0,037	0,38	0,988	0,05
120	120.42	60.04	7.1	51333.12	108.59	0,028	0,275	0,986	0,059
150	120.4	60.04	7.1	51324.59	108.15	0,024	0,224	0,985	0,063
180	120.37	60.04	7.1	51311.81	107.75	0,02	0,177	0,985	0,067
210	120.36	60.02	7.09	51218.21	107.41	0,017	0,138	0,983	0,07
240	120.34	60.01	7.09	51201.17	107.25	0,016	0,119	0,983	0,072
270	120,33	60	7,09	51188,38	107,07	0,014	0,098	0,983	0,073
300	120,32	59,99	7,09	51175,6	106,81	0,012	0,068	0,983	0,076
330	120,3	59,99	7,08	51094,92	106,76	0,011	0,062	0,981	0,076

$M_{eq} = 0,006061$ (Teor de umidade de equilíbrio em base seca)

TABELA A21 – Condições experimentais para amostra CPC1260

ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA – T = 60 °C – UR = 14,00%									
t(min)	C(mm)	L(mm)	H(mm)	V(mm ³)	m(g)	M(b.s)	M* (adm)	V/Vo	Mo-M
0	120.8	60.2	7.43	54032.15	116.76	0,084	1	1	0
10	120.69	60.17	7.42	53883.43	115.67	0,074	0,87	0,997	0,01
20	120.62	60.11	7.4	53653.46	114.87	0,066	0,774	0,993	0,018
30	120.6	60.09	7.4	53626.72	114.18	0,06	0,692	0,992	0,024
60	120.52	60.06	7.39	53492.01	112.56	0,045	0,499	0,99	0,039
90	120.5	60.05	7.39	53474.22	111.75	0,038	0,402	0,99	0,047
120	120.47	60.04	7.38	53379.68	110.84	0,029	0,294	0,988	0,055
150	120.45	60.04	7.38	53370.82	110.38	0,025	0,239	0,988	0,059
180	120.43	60.03	7.38	53353.07	109.98	0,021	0,191	0,987	0,063
210	120.41	60.01	7.37	53254.18	109.58	0,017	0,143	0,986	0,067
240	120.4	60.01	7.37	53249.75	109.44	0,016	0,126	0,986	0,068
270	120,39	60	7,36	53164,22	109,23	0,014	0,101	0,984	0,07
300	120,38	60	7,36	53159,81	108,98	0,012	0,072	0,984	0,072
330	120,37	60	7,36	53155,39	108,9	0,011	0,062	0,984	0,073

$M_{eq} = 0,00622$ (Teor de umidade de equilíbrio em base seca)

TABELA A22 – Condições experimentais para amostra CPC1360

ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA – T = 60 °C – UR = 14,00%									
t(min)	C(mm)	L(mm)	H(mm)	V(mm ³)	m(g)	M(b.s)	M* (adm)	V/Vo	Mo-M
0	120.8	60.3	7.57	55141.7	110.64	0,087	1	1	0
10	120.68	60.24	7.56	54959.41	109.62	0,077	0,875	0,997	0,01
20	120.6	60.2	7.53	54668.7	108.71	0,068	0,764	0,991	0,019
30	120.56	60.19	7.52	54568.93	108.02	0,061	0,679	0,99	0,026
60	120.55	60.16	7.52	54537.21	106.41	0,045	0,482	0,989	0,042
90	120.46	60.13	7.51	54396.88	105.58	0,037	0,381	0,986	0,05
120	120.43	60.12	7.51	54374.29	104.72	0,028	0,275	0,986	0,058
150	120.41	60.1	7.5	54274.81	104.25	0,024	0,218	0,984	0,063
180	120.36	60.08	7.48	54089.59	103.88	0,02	0,173	0,981	0,066
210	120.34	60.06	7.47	53990.32	103.56	0,017	0,133	0,979	0,07
240	120.33	60.06	7.47	53985.84	103.42	0,016	0,116	0,979	0,071
270	120,32	60,06	7,47	53981,35	103,19	0,013	0,088	0,979	0,073
300	120,31	60,06	7,46	53904,61	102,98	0,011	0,062	0,978	0,075
330	120,31	60,06	7,46	53904,61	102,93	0,011	0,056	0,978	0,076

M_{eq}= 0,006384 (Teor de umidade de equilíbrio em base seca)

TABELA A23 – Condições experimentais para amostra CPC1460

ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA – T = 60 °C – UR = 14,00%									
t(min)	C(mm)	L(mm)	H(mm)	V(mm ³)	m(g)	M(b.s)	M* (adm)	V/Vo	Mo-M
0	120.73	60.33	6.9	50257.12	107.89	0,089	1	1	0
10	120.6	60.26	6.87	49926.74	106.7	0,077	0,854	0,993	0,012
20	120.53	60.23	6.86	49800.32	105.84	0,068	0,748	0,991	0,021
30	120.48	60.22	6.85	49698.84	105.16	0,062	0,665	0,989	0,028
60	120.42	60.2	6.84	49585.1	103.49	0,045	0,459	0,987	0,044
90	120.38	60.18	6.84	49552.16	102.65	0,036	0,356	0,986	0,053
120	120.35	60.14	6.83	49434.51	101.93	0,029	0,268	0,984	0,06
150	120.33	60.13	6.82	49345.72	101.47	0,024	0,211	0,982	0,065
180	120.32	60.12	6.81	49261.08	101.06	0,02	0,161	0,98	0,069
210	120.3	60.11	6.81	49244.7	100.74	0,017	0,122	0,98	0,072
240	120.28	60.09	6.81	49220.13	100.64	0,016	0,109	0,979	0,073
270	120,27	60,09	6,81	49216,04	100,44	0,014	0,085	0,979	0,075
300	120,26	60,08	6,81	49203,75	100,24	0,012	0,06	0,979	0,077
330	120,25	60,07	6,8	49119,24	100,18	0,011	0,053	0,977	0,078

M_{eq}= 0,006995 (Teor de umidade de equilíbrio em base seca)

A N E X O S B

Resultados Experimentais dos Ensaios de Secagem para as Amostras com Bordas Retas

Segunda Etapa do Trabalho

ANEXO B

Corpos de prova Prensados e com bordas Retas

Amostras	Úmido - Area = 7.200 mm ²						Após Secagem a 110 °C com DT=1°C/mim					
	Comprim.	Largura	Espessura	Volume	Peso B1	S/V	Comprim.	Largura	Espessura	Volume	Peso	
A1	120,58	60,24	7,14	51863,10	106,61	0,1388	Média	119,95	59,92	7,03	50527,45	96,90
A2	120,82	60,32	7,48	54513,21	111,03	0,1321		120,08	59,98	7,43	53513,82	100,73
A3	120,77	60,29	7,44	54172,30	111,17	0,1329		0,1396	120,07	59,92	7,23	52016,92
A4	120,76	60,29	7,32	53294,14	110,87	0,1351		120,07	59,93	7,24	52097,56	100,67
A5	120,77	60,33	7,14	52022,43	116,53	0,1384	Desvio Padrão	120,11	60,01	7,02	50558,51	106,39
A6	120,86	60,31	6,77	49346,98	106,45	0,1459		120,17	59,98	6,72	48400,35	97,07
A7	120,83	60,29	6,50	47351,46	102,05	0,1521	0,0061	120,19	59,99	6,40	46145,27	93,26
A8	120,86	60,29	6,99	50897,25	112,11	0,1415		120,20	60,03	6,92	49895,92	102,49
A9	120,79	60,31	6,97	50775,37	109,20	0,1418		120,14	60,04	6,87	49550,60	100,07
A10	120,80	60,31	7,20	52455,23	115,75	0,1373		120,18	60,00	7,04	50759,80	106,08

Comp, Larg, Espess em mm ; Volume em mm³ ; Peso em g

Área = 7.200

Foram Descartados

ANEXO B

Corpos de prova Prensados e com bordas Retas

Amostras	TR	OBS	MRF(MPa)		RS (%)	
A1	57	Descartado	2,887	Média	0,525	Média
A2	98		4,439		0,616	
A3	101		4,837	5,9982	0,583	
A4	95		4,536		0,575	0,5561
A5	160		8,128	Desvio Padrão	0,549	Desvio Padrão
A6	99		5,491		0,574	
A7	79		4,823	1,5052	0,532	
A8	121		6,323		0,549	0,0307
A9	150		7,941		0,541	
A10	148		7,466		0,516	

TR(Tensão de Ruptura) em gf, com distância 10cm e velocidade 0,5 ; MRF (Modulo de Ruptura a Flexão)
 Foram Descartados RS (Variação Linear Após Secagem)

ANEXO B

Corpos de prova Prensados e com bordas Retas

Amostras	Úmido - Area = 7.200 mm ²						Após Secagem a 110 °C com DT=6°C/mim					
	Comprim.	Largura	Espessura	Volume	Peso B1	S/V	Comprim.	Largura	Espessura	Volume	Peso	
B1	120,88	60,41	7,33	53485,37	116,90	0,1346	Média	120,30	60,12	7,12	51454,50	108,62
B2	120,91	60,41	7,29	53243,01	112,96	0,1352		120,32	60,07	7,20	52038,88	104,81
B3	120,89	60,41	7,76	56629,81	122,47	0,1271		0,1380	120,28	60,10	7,53	54396,93
B4	120,74	60,37	6,56	47812,36	102,96	0,1506	Desvio Padrão	120,18	60,02	6,53	47062,23	94,09
B5	120,80	60,31	7,54	54895,85	118,27	0,1312		120,23	60,00	7,41	53454,26	108,28
B6	120,78	60,34	7,29	53128,54	109,18	0,1355		0,0078	120,11	60,07	7,17	51695,53
B7	120,88	60,35	6,51	47487,22	101,61	0,1516		120,35	60,09	6,34	45809,84	94,34
B8	120,92	60,28	7,02	51132,74	110,22	0,1408		120,33	60,06	6,92	49970,68	102,42
B9	120,93	60,29	7,25	52854,42	111,83	0,1362		120,32	60,04	7,07	51073,77	103,83
B10	120,90	60,35	7,22	52638,55	114,25	0,1368		120,34	60,08	7,10	51328,92	106,10

Comp, Larg, Espess em mm ; Volume em mm³ ; Peso em g

Área = 7.200

Foram Descartados

ANEXO B

Corpos de prova Prensados e com bordas Retas

Amostras	TR	OBS	MRF(MPa)		RS (%)	
B1	96		4,732	Média	0,482	Média
B2	83		3,998		0,490	
B3	127		5,598	5,0105	0,507	
B4	142		8,336		0,466	0,4881
B5	128		5,828	Desvio Padrão	0,474	Desvio Padrão
B6	168		8,172		0,558	
B7	62		3,857	1,9966	0,440	
B8	56		2,925		0,490	0,0318
B9	50		2,499		0,507	
B10	84		4,161		0,465	

TR(Tensão de Ruptura) em gf, com distância 10cm e velocidade 0,5 ; MRF (Modulo de Ruptura a Flexão)
 Foram Descartados RS (Variação Linear Após Secagem)

ANEXO B

Corpos de prova Prensados e com bordas Retas

Amostras	Úmido - Area = 7.200 mm ²						Após Secagem a 110 °C com DT=11°C/mim					
	Comprim.	Largura	Espessura	Volume	Peso B1	S/V	Comprim.	Largura	Espessura	Volume	Peso	
C1	120,90	60,40	6,86	50053,53	109,09	0,1438	Média	120,37	60,13	6,72	48638,34	101,43
C2	120,97	60,40	6,95	50780,79	110,02	0,1418		120,39	60,12	6,82	49325,93	101,26
C3	120,80	60,34	6,90	50290,43	113,97	0,1432	0,1420	120,15	60,02	6,79	48925,29	104,31
C4	120,79	60,29	6,72	48937,92	111,35	0,1471		120,17	59,98	6,61	47639,56	102,03
C5	120,80	60,34	7,01	51096,39	109,45	0,1409	Desvio Padrão	120,18	60,05	6,95	50116,57	100,33
C6	120,77	60,34	7,13	51953,87	114,14	0,1386		120,12	60,04	6,98	50335,60	104,80
C7	120,74	60,33	6,98	50839,81	109,89	0,1416	0,0046	120,18	60,10	6,85	49476,30	102,10
C8	120,76	60,36	7,19	52367,66	113,63	0,1375		120,22	60,11	7,05	50946,29	105,52
C9	120,83	60,31	7,32	53342,72	115,80	0,1350		120,33	60,09	7,24	52345,40	107,68
C10	120,87	60,33	6,56	47795,67	102,91	0,1506		120,30	60,05	6,51	46992,22	95,56

Comp, Larg, Espess em mm ; Volume em mm³ ; Peso em g

Área = 7.200

Foram Descartados

ANEXO B

Corpos de prova Prensados e com bordas Retas

Amostras	TR	OBS	MRF(MPa)		RS (%)	
C1	69		3,812	Média	0,440	Média
C2	73		3,922		0,482	
C3	171		9,284	5,7943	0,541	
C4	131		7,499		0,516	0,4841
C5	157		8,131	Desvio Padrão	0,516	Desvio Padrão
C6	129		6,616		0,541	
C7	72		3,830	2,1166	0,466	
C8	95		4,770		0,449	0,0432
C9	90		4,286		0,416	
C10	42	Descartado	2,479		0,474	

TR(Tensão de Ruptura) em gf, com distância 10cm e velocidade 0,5 ; MRF (Modulo de Ruptura a Flexão)
 Foram Descartados RS (Variação Linear Após Secagem)

A N E X O S C

Resultados Experimentais dos Ensaios de Secagem para as Amostras com Bordas Arredondadas

Segunda Etapa do Trabalho

ANEXO C

Corpos de prova Prensados e com bordas Arredondadas a 15°

Amostras	Úmido - Área = 7.006,86 mm ²						Após Secagem a 110 °C com DT=1°C/mim					
	Comprim.	Largura	Espessura	Volume	Peso B1	S/V	Comprim.	Largura	Espessura	Volume	Peso	
G1	120,39	60,21	7,29	52842,89	111,21	0,1326	Média	118,83	59,03	7,21	50539,72	101,75
G2	120,42	60,24	7,73	56069,54	117,76	0,1250		119,66	59,87	7,67	54912,40	107,50
G3	120,47	60,23	7,31	53000,01	111,17	0,1322	0,1317	119,63	59,86	7,24	51810,21	101,45
G4	120,41	60,23	7,28	52760,44	109,20	0,1328		119,61	59,86	7,15	51152,89	99,86
G5	120,33	60,15	7,15	51714,43	107,65	0,1355	Desvio Padrão	119,44	59,77	7,04	50258,06	98,29
G6	120,40	60,20	7,36	53341,44	113,11	0,1314		119,63	59,85	7,28	52123,75	103,30
G7	120,39	60,21	7,13	51642,57	109,50	0,1357	0,0052	119,53	59,80	7,07	50499,87	99,64
G8	120,41	60,20	7,93	57477,27	120,07	0,1219		119,69	59,85	7,84	56161,42	110,09
G9	120,46	60,23	6,98	50637,83	106,05	0,1384		119,67	59,86	6,92	49531,09	96,91

Comp, Larg, Espess em mm ; Volume em mm³ ; Peso em g

Área = 7006,86

Foram Descartados

ANEXO C

Corpos de prova Prensados e com bordas Arredondadas a 15°

Amostras	TR	OBS	MRF(MPa)	RS (%)	
G1	113		5,531	Média	1,313
G2	45	Descartado	1,919		0,635
G3	44	Descartado	2,106	5,874	Média
G4	112		5,498		0,669
G5	119		6,026	Desvio Padrão	0,745
G6	132		6,242		0,644
G7	123		6,181	0,3451	Desvio Padrão
G8	135		5,505		0,602
G9	117		6,132		0,660

TR(Tensão de Ruptura) em gf, com distância 10cm e velocidade 0,5 ; MRF (Modulo de Ruptura a Flexão)
 Foram Descartados RS (Variação Linear Após Secagem)

ANEXO C

Corpos de prova Prensados e com bordas Arredondadas a 15°

Amostras	Úmido - Área = 7.006,86 mm ²						Após Secagem a 110 °C com DT=6°C/mim					
	Comprim.	Largura	Espessura	Volume	Peso B1	S/V	Comprim.	Largura	Espessura	Volume	Peso	
H1	120,41	60,24	7,18	52043,85	108,64	0,1346	Média	119,66	59,96	7,13	51156,42	100,14
H2	120,28	60,26	7,44	53889,42	113,55	0,1300		119,54	59,93	7,36	52722,88	104,62
H3	120,28	60,28	7,21	52271,61	109,23	0,1340	0,1320	119,58	59,98	7,10	50884,00	100,42
H4	120,44	60,27	6,99	50699,34	107,24	0,1382		119,70	59,96	6,92	49666,31	99,17
H5	120,41	60,27	7,30	52940,62	111,34	0,1324	Desvio Padrão	119,75	59,96	7,24	51948,82	102,96
H6	120,41	60,27	7,42	53843,29	113,78	0,1301		119,68	59,97	7,34	52676,33	104,93
H7	120,25	60,26	7,51	54378,71	115,95	0,1289	0,0035	119,59	60,02	7,46	53505,98	107,03
H8	120,42	60,35	7,54	54795,80	114,82	0,1279		119,70	60,00	7,49	53788,70	106,13
H9												

Comp, Larg, Espess em mm ; Volume em mm³ ; Peso em g

Área = 7006,86

Foram Descartados

ANEXO C

Corpos de prova Prensados e com bordas Arredondadas a 15°

Amostras	TR	OBS	MRF(MPa)	RS (%)	
H1	46	Descartado	2,264	Média	0,627
H2	87		4,020		0,619
H3	82		4,074	4,1727	Média
H4	74		3,866		0,5955
H5	68		3,250	Desvio Padrão	0,551
H6	96		4,457		0,610
H7	121		5,442	0,6677	Desvio Padrão
H8	92		4,100		0,0299
H9					

TR(Tensão de Ruptura) em gf, com distância 10cm e velocidade 0,5 ; MRF (Modulo de Ruptura a Flexão)
 Foram Descartados RS (Variação Linear Após Secagem)

ANEXO C

Corpos de prova Prensados e com bordas Arredondadas a 15°

Amostras	Úmido - Área = 7.006,86 mm ²						Após Secagem a 110 °C com DT=11°C/mim					
	Comprim.	Largura	Espessura	Volume	Peso B1	S/V		Comprim.	Largura	Espessura	Volume	Peso
I1	120,43	60,30	7,12	51704,93	109,39	0,1355	Média	119,64	59,93	7,07	50692,08	99,83
I2	120,42	60,29	7,02	50966,06	107,30	0,1375		119,54	60,01	6,97	49964,09	97,66
I3	120,42	60,30	7,45	54056,09	112,80	0,1296	0,1326	119,62	59,91	7,37	52816,62	103,01
I4	120,47	60,32	7,32	53192,61	111,87	0,1317		119,63	59,92	7,26	52005,51	102,24
I5	120,42	60,29	7,39	53647,85	112,04	0,1306	Desvio Padrão	119,66	59,90	7,30	52283,53	102,37
I6	120,42	60,29	7,34	53284,87	111,68	0,1315		119,68	59,87	7,25	51912,18	101,92
I7	120,44	60,31	7,34	53275,09	111,02	0,1315	0,0028	119,58	59,88	7,26	51944,73	101,22
I8												
I9												

Comp, Larg, Espess em mm ; Volume em mm³ ; Peso em g

Área = 7006,86

Foram Descartados

ANEXO C

Corpos de prova Prensados e com bordas Arredondadas a 15°

Amostras	TR	OBS	MRF(MPa)	RS (%)	
I1	82		4,106	Média	0,660
I2	94		4,843		0,736
I3	31	Descartado	1,429	4,8012	Média
I4	95		4,518		0,6772
I5	93		4,377	Desvio Padrão	0,635
I6	119		5,680		0,618
I7	111		5,283	0,5916	Desvio Padrão
I8					0,0437
I9					

TR(Tensão de Ruptura) em gf, com distância 10cm e velocidade 0,5 ; MRF (Modulo de Ruptura a Flexão)
 Foram Descartados RS (Variação Linear Após Secagem)

A N E X O S D

Resultados Experimentais de Secagem para os Corpos de Provas Ensaiaados Durante o Processo de Secagem

Terceira Etapa do Trabalho

ANEXO D

Corpos de prova Prensados e com bordas Retas

Amostras	Úmido - Area = 7.200 mm ²					Após Secagem com DT=1°C/mim						
	Comprim.	Largura	Espessura	Volume	Peso B1	Comprim.	Largura	Espessura	Volume	Tempo	Temperatura	Peso
AS1	121,01	60,31	7,12	51921,77	111,77	120,74	60,20	7,08	51457,05	0	52	110,44
AS2	120,99	60,35	7,26	53010,68	114,72	120,74	60,20	7,21	52406,67	10	61	113,56
AS3	120,96	60,32	7,01	51110,63	110,16	120,64	60,15	6,97	50541,49	20	72	108,56
AS4	121,01	60,33	7,03	51282,00	109,65	120,62	60,15	6,97	50569,39	30	80	107,95
AS5	120,99	60,31	7,03	51256,52	112,92	120,57	60,16	6,99	50697,69	40	90	110,05
AS6	121,05	60,32	6,77	49432,75	107,23	120,40	60,07	6,73	48674,24	50	102	102,67
AS7	121,03	60,34	7,15	52179,58	113,65	120,39	60,09	7,10	51358,80	60	110	107,95
AS8	121,03	60,33	7,13	52024,90	112,92	120,43	60,10	7,06	51094,92	70	110	107,79
AS9	121,00	60,35	7,17	52317,00	112,71	120,43	60,07	7,07	51146,01	80	110	107,50
AS10	121,03	60,32	7,14	52121,46	113,70	120,34	60,04	7,07	51078,01	1440	110	105,37
AS11	121,06	60,39	6,46	47187,39	101,64	120,27	59,93	6,38	45949,60	2880	110	92,12
AS12	120,93	60,33	6,86	50044,40	108,92	120,77	60,23	6,84	49717,63	0	53	108,20
AS13	120,97	60,31	7,03	51296,07	111,42	120,80	60,21	7,02	51022,68	10	63	110,99
AS14	121,00	60,33	6,94	50661,51	110,49	120,69	60,18	6,93	50329,27	20	74	109,28
AS15	120,97	60,36	6,72	49027,18	104,98	120,62	60,19	6,69	48529,86	30	81	103,76
AS16	121,00	60,35	7,07	51591,10	111,66	120,54	60,16	7,01	50793,84	40	92	109,73
AS17	120,96	60,36	6,98	50921,27	110,37	120,35	60,06	6,94	50127,71	50	101	106,66
AS18	121,01	60,32	6,90	50324,66	109,70	120,35	60,04	6,85	49456,58	60	110	104,70
AS19	121,03	60,31	7,11	51857,36	112,14	120,42	60,04	7,03	50827,02	70	110	107,85
AS20	121,05	60,32	6,89	50304,79	108,53	120,35	60,07	6,81	49232,38	80	110	103,57
AS21	120,98	60,31	7,07	51544,11	111,01	120,15	59,93	6,92	49828,08	1440	110	100,47
AS22	121,00	60,32	7,39	53933,07	117,73	120,06	59,93	7,30	52520,55	2880	110	106,40
AS23	120,91	60,34	7,39	53910,82	116,40	120,64	60,20	7,36	53447,77	0	47	115,15
AS24	120,95	60,33	7,10	51803,79	112,40	120,65	60,21	7,08	51395,18	10	57	111,54
AS25	120,98	60,32	7,30	53267,43	114,24	120,75	60,18	7,28	52861,10	20	68	113,12
AS26	120,92	60,61	7,15	52361,11	112,68	120,59	60,18	7,10	51525,45	30	76	111,26
AS27	120,97	60,31	7,34	53550,44	114,88	120,50	60,10	7,29	52794,54	40	88	112,78
AS28	121,02	60,32	7,64	55766,81	121,29	120,51	60,09	7,60	55034,99	50	94	118,14
AS29	121,07	60,43	7,34	53664,77	114,12	120,36	60,04	7,26	52459,40	60	106	109,38
AS30	121,01	60,32	7,15	52153,66	112,22	120,36	60,06	7,10	51284,22	70	110	108,20
AS31	120,92	60,41	7,33	53503,06	113,28	120,37	60,08	7,28	52607,18	80	110	108,62
AS32	121,00	60,36	6,52	47619,21	102,50	120,36	60,04	6,43	46461,98	1440	110	95,35
AS33	121,02	60,32	7,34	53577,02	117,05	120,22	59,96	7,23	52116,67	2880	110	106,04

Comp, Larg, Espess em mm ; Volume em mm³ ; Peso em g
 Área = 7.200

ANEXO D

Corpos de prova Prensados e com bordas Retas

Amostras	TR, Dist. 10cm e V=0,5	OBS	MRF(MPa) 3.P.L/2.b.h ²	Média	Desvio Padrão	RS (%)	Média	Desvio Padrão
						(Cverde - C110)/C110 *100		
AS1	33		1,641	1,547	0,2709	0,224	0,193	0,0527
AS2	36		1,726	1,762	0,1149	0,206	0,199	0,0544
AS3	43		2,210	1,711	0,4429	0,265	0,238	0,0410
AS4	45		2,310	2,160	0,2293	0,323	0,296	0,0253
AS5	59		3,011	2,420	0,5123	0,348	0,373	0,0220
AS6	46		2,536	2,411	0,1804	0,540	0,490	0,0601
AS7	65		3,219	2,783	0,3904	0,532	0,557	0,0300
AS8	49		2,454	2,205	0,2906	0,498	0,515	0,0221
AS9	47		2,348	2,383	0,1960	0,473	0,504	0,0678
AS10	121		6,048	6,574	0,5771	0,573	0,599	0,0825
AS11	117		7,206	7,542	0,6825	0,657	0,702	0,0704
AS12	33		1,759			0,132		
AS13	33		1,671			0,141		
AS14	30		1,557			0,257		
AS15	34		1,896			0,290		
AS16	42		2,134			0,382		
AS17	48		2,493			0,507		
AS18	50		2,666			0,548		
AS19	45		2,275			0,507		
AS20	41		2,208			0,582		
AS21	124		6,481			0,691		
AS22	151		7,093			0,783		
AS23	27		1,242			0,224		
AS24	38		1,891			0,249		
AS25	29		1,366			0,190		
AS26	46		2,274			0,274		
AS27	45		2,113			0,390		
AS28	51		2,204			0,423		
AS29	52		2,465			0,590		
AS30	38		1,885			0,540		
AS31	55		2,595			0,457		
AS32	119		7,191			0,532		
AS33	174		8,327			0,665		

TR(Tensão de Ruptura) em gf ; MRF (Modulo de Ruptura a Flexão) ; RS (Variação Linear após Secagem)

ANEXO D

Corpos de prova Prensados e com bordas Retas

Amostras	Úmido - Area = 7.200 mm ²					Após Secagem com DT=6°C/mim						
	Comprim.	Largura	Espessura	Volume	Peso B1	Comprim.	Largura	Espessura	Volume	Tempo	Temperatura	Peso
BS1	120,96	60,30	7,05	51421,91	111,88	120,82	60,25	7,01	50988,00	0	55	111,26
BS2	121,00	60,34	6,56	47895,48	103,75	120,66	60,19	6,52	47311,42	10	89	102,06
BS3	121,01	60,34	6,90	50345,52	107,96	120,46	60,08	6,83	49390,03	20	112	103,02
BS4	121,04	60,39	7,09	51788,56	112,04	120,63	60,11	7,03	50975,02	30	110	108,30
BS5	121,05	60,34	7,11	51928,25	111,37	120,45	60,08	7,06	51054,47	40	110	106,66
BS6	121,04	60,34	7,03	51343,98	110,31	120,30	60,01	6,96	50209,56	50	110	103,91
BS7	121,07	60,38	6,91	50513,53	108,28	120,31	60,02	6,85	49427,79	60	110	101,10
BS8	121,01	60,35	6,98	50933,88	109,56	120,30	60,04	6,87	49620,72	70	110	104,22
BS9	121,04	60,36	7,09	51799,36	111,40	120,35	60,05	7,02	50693,31	80	110	105,43
BS10	120,94	60,35	7,04	51346,56	111,87	120,00	59,97	6,96	50046,79	1440	110	100,88
BS11	121,01	60,38	7,38	53881,59	115,98	120,00	59,94	7,26	52179,41	2880	110	104,62
BS12	120,89	60,34	6,77	49343,22	107,15	120,70	60,26	6,73	48949,86	0	33	106,64
BS13	120,94	60,35	6,94	50612,49	109,99	120,66	60,19	6,89	50034,64	10	82	108,05
BS14	121,00	60,35	7,08	51664,13	112,54	120,37	60,04	7,03	50801,68	20	112	107,74
BS15	121,03	60,32	6,81	49680,10	107,86	120,35	60,05	6,76	48854,64	30	110	103,15
BS16	120,96	60,34	7,14	52076,41	114,25	120,32	60,07	7,10	51279,98	40	110	108,74
BS17	120,97	60,33	6,86	50024,47	109,00	120,28	60,01	6,79	48970,07	50	110	102,44
BS18	120,97	60,32	6,89	50275,71	109,30	120,15	59,98	6,81	49040,89	60	110	101,39
BS19	120,94	60,33	6,85	49943,24	108,93	120,25	60,03	6,78	48901,99	70	110	103,28
BS20	120,96	60,33	7,09	51739,39	112,79	120,26	60,06	6,99	50451,37	80	110	106,76
BS21	120,99	60,31	6,85	49979,67	109,30	120,03	59,90	6,75	48495,18	1440	110	98,64
BS22	121,15	60,31	6,95	50780,57	108,98	120,56	59,93	6,82	49235,36	2880	110	98,31
BS23	121,01	60,35	6,88	50244,32	107,84	120,69	60,27	6,87	49935,92	0	44	106,66
BS24	121,04	60,34	6,81	49733,08	106,77	120,57	60,18	6,77	49082,10	10	85	104,77
BS25	120,99	60,33	6,70	48901,44	105,24	120,22	60,02	6,65	47943,70	20	115	100,22
BS26	120,93	60,31	6,95	50688,35	109,80	120,36	60,07	6,90	49846,87	30	110	105,35
BS27	120,80	60,32	6,91	50350,79	109,75	120,15	60,02	6,83	49253,88	40	110	104,33
BS28	120,93	60,32	6,95	50692,56	109,93	120,18	59,99	6,87	49489,77	50	110	102,90
BS29	120,96	60,34	7,13	52003,43	112,04	120,19	60,01	7,02	50632,47	60	110	103,80
BS30	120,94	60,33	6,99	51001,21	110,53	120,29	60,04	6,93	50045,76	70	110	104,83
BS31	120,94	60,32	6,95	50696,75	109,33	120,22	60,02	6,87	49535,12	80	110	103,45
BS32	120,94	60,32	7,38	53833,38	116,43	120,01	59,92	7,26	52170,70	1440	110	105,04
BS33	120,97	60,37	7,23	52800,39	111,56	119,96	59,95	7,12	51163,98	2880	110	100,72

Comp, Larg, Espess em mm ; Volume em mm³ ; Peso em g
 Área = 7.200

ANEXO D

Corpos de prova Prensados e com bordas Retas

Amostras	TR, Dist. 10cm e V=0,5	OBS	MRF(MPa) 3.P.L/2.b.h^2	Média	Desvio Padrão	RS (%)	Média	Desvio Padrão
						(Cverde - C110)/C110 *100		
BS1	37		1,877	1,722	0,1474	0,116	0,179	0,0770
BS2	39		2,290	2,223	0,1832	0,282	0,301	0,0807
BS3	53		2,841	2,744	0,0911	0,457	0,540	0,0931
BS4	49		2,474	2,557	0,0769	0,340	0,459	0,1132
BS5	45		2,257	2,495	0,3911	0,498	0,524	0,0226
BS6	57		2,945	3,218	0,2366	0,615	0,604	0,0269
BS7	56		2,987	3,668	0,6239	0,632	0,652	0,0271
BS8	33		1,747	2,197	0,3906	0,590	0,568	0,0254
BS9	60		3,046	2,505	0,5419	0,573	0,585	0,0130
BS10	80		4,137	6,252	1,8403	0,783	0,786	0,0126
BS11	166		7,893	7,200	0,6115	0,842	0,724	0,2035
BS12	31		1,704			0,157		
BS13	45		2,363			0,232		
BS14	54		2,730			0,523		
BS15	47		2,569			0,565		
BS16	46		2,282			0,532		
BS17	62		3,367			0,574		
BS18	78		4,212			0,682		
BS19	45		2,450			0,574		
BS20	49		2,508			0,582		
BS21	136		7,486			0,800		
BS22	125		6,737			0,489		
BS23	30		1,584			0,265		
BS24	37		2,015			0,390		
BS25	47		2,660			0,640		
BS26	50		2,626			0,474		
BS27	55		2,947			0,541		
BS28	63		3,343			0,624		
BS29	75		3,804			0,641		
BS30	46		2,393			0,540		
BS31	37		1,962			0,599		
BS32	150		7,134			0,775		
BS33	141		6,970			0,842		

TR(Tensão de Ruptura) em gf ; MRF (Modulo de Ruptura a Flexão) ; RS (Variação Linear após Secagem)

ANEXO D

Corpos de prova Prensados e com bordas Retas

Amostras	Úmido - Area = 7.200 mm ²					Após Secagem com DT=11°C/mim						
	Comprim.	Largura	Espessura	Volume	Peso B1	Comprim.	Largura	Espessura	Volume	Tempo	Temperatura	Peso
CS1	120,88	60,32	6,74	49104,06	106,60	120,67	60,23	6,73	48913,33	0	42	106,30
CS2	120,94	60,34	6,87	50093,32	107,66	120,57	60,14	6,82	49412,00	10	94	106,15
CS3	120,87	60,37	7,20	52497,00	113,94	120,06	59,96	7,09	51039,47	20	115	108,66
CS4	120,98	60,31	7,10	51762,98	111,86	120,21	59,95	7,00	50446,13	30	110	107,46
CS5	120,89	60,30	6,78	49419,84	106,49	119,99	59,86	6,71	48195,26	40	110	100,90
CS6	121,03	60,33	7,08	51692,03	111,53	119,95	59,88	6,99	50166,31	50	110	103,86
CS7	120,82	60,28	6,59	47991,18	103,65	119,85	59,88	6,49	46536,48	60	110	95,16
CS8	120,98	60,32	7,36	53673,21	114,84	120,15	59,97	7,27	52342,83	70	110	109,32
CS9	120,93	60,36	7,08	51638,52	109,10	119,97	59,92	6,97	50064,44	80	110	103,03
CS10	120,94	60,34	7,16	52250,24	112,90	119,91	59,90	7,06	50669,08	1440	110	103,56
CS11	120,92	60,31	6,81	49663,19	107,97	119,85	59,82	6,70	47995,30	2880	110	96,84
CS12	121,00	60,37	6,61	48284,53	103,24	120,74	60,30	6,59	47975,32	0	36	103,10
CS13	120,91	60,31	6,80	49586,16	106,22	120,49	60,13	6,68	48393,00	10	98	104,40
CS14	121,02	60,34	7,36	53740,82	115,06	120,13	59,96	7,27	52329,76	20	116	109,84
CS15	120,94	60,33	6,89	50230,93	108,52	120,06	59,93	6,78	48779,36	30	110	103,44
CS16	121,00	60,37	7,24	52886,53	113,50	120,06	59,95	7,13	51314,59	40	110	107,67
CS17	120,84	60,33	7,13	51979,68	111,70	119,82	59,92	7,04	50508,59	50	110	104,31
CS18	120,98	60,33	6,76	49339,37	105,67	119,95	59,93	6,62	47588,56	60	110	97,05
CS19	120,99	60,34	6,93	50552,03	107,62	120,03	59,93	6,84	49198,74	70	110	101,34
CS20	121,01	60,36	6,94	50686,70	108,96	120,04	59,96	6,87	49407,39	80	110	102,84
CS21	120,95	60,34	6,71	48929,86	105,78	119,86	59,82	6,64	47573,12	1440	110	94,50
CS22	120,98	60,34	7,23	52737,65	113,21	119,75	59,82	7,11	50896,28	2880	110	101,40
CS23	120,95	60,35	6,62	48285,08	103,90	120,73	60,24	6,60	47963,95	0	41	103,63
CS24	120,97	60,38	6,97	50910,06	109,99	120,50	60,19	6,94	50294,65	10	101	108,02
CS25	121,03	60,36	7,04	51429,81	111,43	120,54	59,94	6,96	50287,17	20	116	106,71
CS26	120,95	60,37	7,18	52385,73	112,98	120,06	59,93	7,07	50829,82	30	110	108,29
CS27	121,00	60,36	7,00	51124,92	109,02	119,91	59,91	6,92	49711,95	40	110	103,37
CS28	120,94	60,38	7,35	53631,37	116,49	119,92	59,89	7,25	52069,56	50	110	109,18
CS29	121,02	60,36	7,11	51932,59	111,77	119,87	59,87	6,99	50160,36	60	110	103,12
CS30	121,03	60,37	7,05	51507,13	111,15	120,07	59,93	6,95	49970,63	70	110	105,35
CS31	121,02	60,37	6,84	49968,75	107,45	119,97	59,94	6,72	48283,55	80	110	101,99
CS32	121,01	60,40	7,06	51601,57	111,00	119,72	59,83	6,95	49777,63	1440	110	99,21
CS33	121,04	60,39	7,26	53067,74	114,24	119,70	59,83	7,16	51237,33	2880	110	102,13

Comp, Larg, Espess em mm ; Volume em mm³ ; Peso em g

Área = 7.200

ANEXO D

Corpos de prova Prensados e com bordas Retas

Amostras	TR, Dist. 10cm e V=0,5	OBS	MRF(MPa) 3.P.L/2.b.h^2	Média	Desvio Padrão	RS (%)	Média	Desvio Padrão
						(Cverde - C110)/C110 *100		
CS1	30		1,650	1,562	0,0816	0,174	0,191	0,0219
CS2	32		1,719	1,975	0,2589	0,307	0,348	0,0416
CS3	46		2,289	2,314	0,0548	0,675	0,607	0,1771
CS4	43		2,196	2,266	0,1126	0,641	0,705	0,0559
CS5	45		2,505	2,270	0,2120	0,750	0,814	0,0839
CS6	57		2,927	2,876	0,1412	0,900	0,867	0,0286
CS7	63		3,753	3,305	0,6463	0,809	0,876	0,0765
CS8	44		2,085	2,069	0,3478	0,691	0,763	0,0629
CS9	50		2,580	2,467	0,2143	0,800	0,828	0,0412
CS10	72		3,623	6,093	2,1415	0,859	0,949	0,1144
CS11	119		6,658	6,509	0,2183	0,893	1,013	0,1140
CS12	27		1,547			0,215		
CS13	40		2,236			0,349		
CS14	48		2,275			0,741		
CS15	44		2,396			0,733		
CS16	45		2,215			0,783		
CS17	59		2,984			0,851		
CS18	63		3,598			0,859		
CS19	45		2,408			0,800		
CS20	49		2,601			0,808		
CS21	127		7,234			0,909		
CS22	126		6,259			1,027		
CS23	26		1,489			0,182		
CS24	38		1,969			0,390		
CS25	46		2,376			0,407		
CS26	44		2,207			0,741		
CS27	40		2,091			0,909		
CS28	57		2,716			0,851		
CS29	50		2,564			0,959		
CS30	33		1,713			0,800		
CS31	40		2,220			0,875		
CS32	143		7,423			1,078		
CS33	135		6,612			1,119		

TR(Tensão de Ruptura) em gf ; MRF (Modulo de Ruptura a Flexão) ; RS (Variação Linear após Secagem)

A N E X O S E

**Resultados Experimentais de Queima para os Corpos de Provas
Submetidos a Temperatura de 900 e 950 °C**

Quarta Etapa do Trabalho

ANEXO E

Corpos de prova Prensados e com bordas Retas

Amostras	Temp. Queima	TR	OBS	MRF(MPa)	RQ (%)	AA	PA	DA					
A11	900	197		10,230	Média	0,786		14,552		28,069		1,929	
A12	900	184		9,930		0,844	Média	14,900	Média	28,559	Média	1,917	Média
A13	900	147		7,717	9,7993	0,802		15,875		29,892		1,883	
A14	900	203		11,320		0,695	0,7819	14,673	15,0000	28,348	28,7171	1,932	1,9151
A15					Desvio Padrão								
A16						Desvio Padrão		Desvio Padrão		Desvio Padrão		Desvio Padrão	Desvio Padrão
A17					1,5110								
A18						0,0629		0,6007		0,8084		0,0224	
A19													
A20	950	293		16,380	Média	2,911		9,981		20,699		2,074	
A21	950	274		16,895		2,984	Média	9,892	Média	20,361	Média	2,058	Média
A22	950	291		16,155	16,6359	2,538		10,358		21,160		2,043	
A23	950	266		14,923		1,894	2,6524	13,068	10,0924	25,878	20,7585	1,980	2,0621
A24	950	318		18,784	Desvio Padrão	3,126		9,476		19,897		2,100	
A25	950	319		18,061		2,970	Desvio Padrão	7,719	Desvio Padrão	16,390	Desvio Padrão	2,123	Desvio Padrão
A26	950	288		15,380	1,2837	2,431		10,554		21,666		2,053	
A27	950	281		16,509		2,365	0,4178	9,692	1,4814	20,018	2,6113	2,065	0,0422
A28													
A29													
A30													

TR(Tensão de Ruptura) em gf , com Distânc. 10cm e Velocidade 0,5 ; MRF (Modulo de Ruptura a Flexão), RS (Variação Linear após Secagem).
RQ (Variação Linear após Queima), AA (Absorção de água), PA (Porosidade Aparente), DA (Densidade Aparente).

Foram Descartados

Taxa de Aquecimento na Etapa de Secagem 1°C/min e na de Queima 2°C/min

ANEXO E

Corpos de prova Prensados e com bordas Retas

Amostras	Temp. Queima	TR	OBS	MRF(MPa)	RQ (%)	AA	PA	DA						
B11	900	164		8,733	Média	1,679	12,781	25,379	1,986					
B12	900	210		10,774	Média	1,572	13,056	Média	25,861	Média	1,981			
B13	900	153		9,169	8,5251	1,349	14,059	Média	27,432	Média	1,951			
B14	900	171		9,047		1,174	1,1029	13,563	13,6474	26,604	26,6913	1,962	1,9567	
B15	900	84	Descartado	4,433	Desvio Padrão									
B16	900	102	Descartado	4,855	Desvio Padrão			Desvio Padrão		Desvio Padrão		Desvio Padrão	Desvio Padrão	
B17	900	114		6,117	1,6165	0,446	14,237	Desvio Padrão	27,476	Desvio Padrão		1,930	Desvio Padrão	
B18	900	146		7,310		0,397	0,5562	14,188	0,6193	27,396	0,9033	1,931	0,0239	
B19														
B20	950	424		24,480	Média	4,345		8,350		18,028		2,159		
B21	950	77	Trinca Apar	4,763	Média									
B22	950	179		10,195	16,0315	3,927		Média	8,587	Média	18,396	Média	2,142	Média
B23	950	185		10,660		3,067	3,9038	10,750	9,0556	22,347	19,2773	2,079	2,1319	
B24	950	178		11,032	Desvio Padrão	4,008		8,246		17,890		2,170		
B25	950	296		18,388	Desvio Padrão	3,768		9,792	Desvio Padrão	20,566	Desvio Padrão	2,100	Desvio Padrão	
B26	950	331		21,434	6,2293	4,308		8,610	Desvio Padrão	18,436	Desvio Padrão	2,141	Desvio Padrão	
B27	950	319	Descartado	25,458		3,910	0,4664		0,9984		1,7919		0,0351	
B28														
B29														
B30														

TR(Tensão de Ruptura) em gf , com Distânc. 10cm e Velocidade 0,5 ; MRF (Modulo de Ruptura a Flexão), RS (Variação Linear após Secagem).
RQ (Variação Linear após Queima), AA (Absorção de água), PA (Porosidade Aparente), DA (Densidade Aparente).

Foram Descartados

Taxa de Aquecimento na Etapa de Secagem 6°C/min e na de Queima 2°C/min

ANEXO E

Corpos de prova Prensados e com bordas Retas

Amostras	Temp. Queima	TR	OBS	MRF(MPa)	RQ (%)	AA	PA	DA					
C11	900	185		9,659	Média	1,414	13,293	26,196	1,971				
C12	900	175		8,864	Média	1,390	13,347	26,279	1,969				
C13	900	164		9,050	8,5042	1,655	12,129	24,322	2,005				
C14	900	168		9,047		1,621	1,3792	12,226	12,9835	24,587	25,6641	2,011	1,9777
C15	900	157		8,177	Desvio Padrão	1,025		13,840		27,012		1,952	
C16	900	149		7,088	Desvio Padrão	1,191	Desvio Padrão	12,616	Desvio Padrão	25,009	Desvio Padrão	1,982	Desvio Padrão
C17	900	163		8,458	0,8309	1,339	Desvio Padrão	13,976	Desvio Padrão	27,273	Desvio Padrão	1,951	Desvio Padrão
C18	900	158		7,690		1,397	0,2065	12,441	0,7251	24,635	1,1659	1,980	0,0220
C19													
C20													
C21	950	189		11,725	Média	4,345	Média	9,162	Média	19,287	Média	2,105	Média
C22	950	132		7,824		4,477		8,838		18,781		2,125	
C23	950	353		20,014		4,180	4,2253	8,604	9,5634	18,323	19,9967	2,129	2,0980
C24	950	111	Trinca Apa	6,777	16,0876								
C25	950	367		22,130	Desvio Padrão	4,233	Desvio Padrão	8,653	Desvio Padrão	18,426	Desvio Padrão	2,129	Desvio Padrão
C26	950	376		21,272	Desvio Padrão	3,892	Desvio Padrão	9,351	Desvio Padrão	19,656	Desvio Padrão	2,102	Desvio Padrão
C27	950	80	Trinca Apa	4,475	5,8737		0,2185		1,5981		2,7474		0,0508
C28	950	237		13,561				12,771		25,508		1,997	
C29													
C30													

TR(Tensão de Ruptura) em gf , com Distânc. 10cm e Velocidade 0,5 ; MRF (Modulo de Ruptura a Flexão), RS (Variação Linear após Secagem).
RQ (Variação Linear após Queima), AA (Absorção de água), PA (Porosidade Aparente), DA (Densidade Aparente).

Foram Descartados

Taxa de Aquecimento na Etapa de Secagem 11°C/min e na de Queima 2°C/min

ANEXO E

Corpos de prova Prensados e com bordas Arredondadas a 15º

Amostras	Temp. Queima	TR	OBS	MRF(MPa)		RQ (%)		AA		PA		DA	
G10													
G11	900	161		8,213	Média	0,846		14,233		27,641		1,942	
G12	900	185		9,415		0,938	Média	13,778	Média	26,972	Média	1,958	Média
G13	900	203		11,909	9,084	0,814		14,279		27,767		1,945	
G14	900	182		8,733		0,913	0,7944	13,811	14,1967	26,983	27,5992	1,954	1,9443
G15	900	140	Trinca Apar	6,687	Desvio Padrão								
G16	900	146		7,062		0,664	Desvio Padrão	14,819	Desvio Padrão	28,499	Desvio Padrão	1,923	Desvio Padrão
G17	900	169		8,143	1,5809	0,647		14,394		27,886		1,937	Desvio Padrão
G18	900	214		10,110		0,739	0,1151	14,063	0,3596	27,447	0,5349	1,952	0,0117
G19													
G20	950	222		12,094	Média	3,511		8,302		17,557		2,115	
G21	950	174	Trinca Apar	9,592		3,395	Média		Média		Média		Média
G22	950	351		17,954	14,599	2,831		9,632		20,037		2,080	
G23	950	155	Trinca Apar	9,099		2,2641		11,2110		22,5669		2,0223	
G24	950	319		16,788	Desvio Padrão	2,939		10,248		21,215		2,070	
G25	950	279		14,312		1,469	Desvio Padrão	11,844	Desvio Padrão	23,499	Desvio Padrão	1,984	Desvio Padrão
G26	950	273		12,915	2,2472	0,980		13,970		27,222		1,949	Desvio Padrão
G27	950	254		12,567		0,954	1,0461	12,425	1,9185	24,312	3,1975	1,957	0,0656
G28	950	283		15,565		2,034		12,055		24,126		2,001	
G29													
G30													

TR(Tensão de Ruptura) em gf , com Distânc. 10cm e Velocidade 0,5 ; MRF (Modulo de Ruptura a Flexão), RS (Variação Linear após Secagem).

RQ (Variação Linear após Queima), AA (Absorção de água), PA (Porosidade Aparente), DA (Densidade Aparente).

Foram Descartados

Taxa de Aquecimento na Etapa de Secagem 1°C/min e na de Queima 2°C/min

ANEXO E

Corpos de prova Prensados e com bordas Arredondadas a 15º

Amostras	Temp. Queima	TR	OBS	MRF(MPa)	RQ (%)	AA	PA	DA
H10								
H11	900	139		7,200	1,345	14,146	27,381	1,936
H12	900	168		8,182	1,303	14,223	27,481	1,932
H13	900	164		8,100	0,440	14,283	27,536	1,928
H14	900	154		7,731	0,349	14,371	27,687	1,927
H15	900	201		9,607	1,387	14,264	27,522	1,930
H16	900	34		1,466				
H17				0,8949				
H18					0,5224		0,1107	0,0036
H19								
H20	950	288		14,674	3,492	13,938	26,956	1,934
H21	950	261		14,835	3,508	14,345	27,466	1,915
H22	950	241		13,624	3,332	14,100	27,131	1,924
H23	950	259		14,467	2,951	13,405	26,357	1,966
H24	950	287		16,774				
H25	950	276		14,657	3,324	14,565	27,959	1,920
H26	950	343		18,699	0,4808			
H27					0,2243		0,5957	0,0205
H28								
H29								
H30								

TR(Tensão de Ruptura) em gf , com Distânc. 10cm e Velocidade 0,5 ; MRF (Modulo de Ruptura a Flexão), RS (Variação Linear após Secagem).
RQ (Variação Linear após Queima), AA (Absorção de água), PA (Porosidade Aparente), DA (Densidade Aparente).

Foram Descartados

Taxa de Aquecimento na Etapa de Secagem 6°C/min e na de Queima 2°C/min

ANEXO E

Corpos de prova Prensados e com bordas Arredondadas a 15º

Amostras	Temp. Queima	TR	OBS	MRF(MPa)	RQ (%)	AA	PA	DA
I10	900	178		8,830	1,895	12,021	24,279	2,020
I11	900	290		14,636				
I12	900	144		6,950	1,992	12,713	25,280	1,988
I13	900	184		8,920	8,039	14,172	27,456	1,937
I14	900	148		8,212	2,051	14,294	27,665	1,935
I15	900	154		8,148	2,059	11,959	24,082	2,014
I16	900	145		7,175	1,727	12,178	24,469	2,009
I17				0,8218				
I18					0,2358		1,0748	1,6198
I19								
I20	950	157	Trinca Apar	8,078				
I21	950	228		12,854	3,364	12,554	25,086	1,998
I22	950	205	Trinca Apar	10,725	13,696			
I23	950	334		17,869	4,335	8,121	12,1177	17,524
I24	950	163	Trinca Apar	8,661				
I25	950	205		11,772	2,845	12,295	24,721	2,011
I26	950	306		14,311	2,0956	12,556	25,098	1,999
I27	950	276		11,837	3,146	13,945	27,180	3,1257
I28	950	275		13,033	2,997	12,215	24,595	2,013
I29	950	289		14,198		13,138	26,002	1,979
I30								

TR(Tensão de Ruptura) em gf , com Distânc. 10cm e Velocidade 0,5 ; MRF (Modulo de Ruptura a Flexão), RS (Variação Linear após Secagem).
RQ (Variação Linear após Queima), AA (Absorção de água), PA (Porosidade Aparente), DA (Densidade Aparente).

Foram Descartados

Taxa de Aquecimento na Etapa de Secagem 11°C/min e na de Queima 2°C/min