

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E  
SISTEMAS

6887 100

REGISTRO  
CATALOGAÇÃO

**FABRICAÇÃO DE MATERIAL CERÂMICO COM ARGILA E  
CINZAS DE CARVÃO MINERAL**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA



**FRANCISCO TADEU NEGREIROS**



UFSC-BU

Florianópolis, abril de 1994.

**FABRICAÇÃO DE MATERIAL CERÂMICO COM ARGILA E  
CINZAS DE CARVÃO MINERAL**

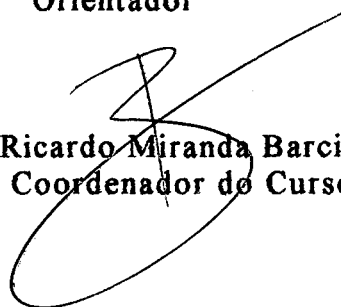
**FRANCISCO TADEU NEGREIROS**

*ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO  
TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA*

*ESPECIALIDADE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS E APROVADA  
EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO*



**Prof. Humberto Ramos Roman, Ph.D.  
Orientador**

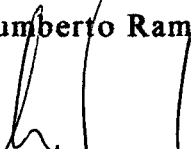


**Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph.D.  
Coordenador do Curso**

**BANCA EXAMINADORA:**



**Prof. Humberto Ramos Roman, Ph.D.**



**Prof. Luiz Fernando Mahlmann Heineck, Ph. D.**



**Prof. Armando Borges de Castilhos Júnior, Dr.**

## **SUMÁRIO**

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	iii
LISTA DE TABELAS .....	iv
RESUMO .....	vi
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	6
2.1. Introdução .....	6
2.2. Processos de fabricação .....	7
2.3. Produção de cerâmica em Santa Catarina .....	8
2.4. A argila e as cinzas .....	10
2.5. Problemas ambientais com cinzas .....	12
2.6. Utilização de cinza no produto cerâmico .....	13
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL .....	16
3.1. Materiais utilizados .....	16
3.2. Secagem da argila e da cinza de carvão .....	17
3.3. Análise química .....	17
3.4. Determinação dos limites de liquidez e plasticidade da argila .....	18
3.5. Destorroamento da argila .....	19
3.6. Desenvolvimento do processo de fabricação utilizado .....	19
3.6.1. Determinação do teor de umidade de moldagem .....	22
3.6.2. Preparação das misturas .....	23
3.6.3. Moldagem dos corpos de prova .....	24

3.6.4. Secagem dos corpos de prova .....	24
3.6.5. Queima dos corpos de prova .....	25
3.7. Determinação das características físicas e mecânicas .....	26
3.7.1. Umidade de moldagem (U) .....	26
3.7.2. Retração linear de secagem (Rs) .....	27
3.7.3. Perda ao fogo (PF).....	28
3.7.4. Retração à queima (Rq).....	28
3.7.5. Taxa de sucção inicial (TSi).....	29
3.7.6. Absorção de água (AA) .....	30
3.7.7. Massa específica aparente (MEa) e porosidade aparente (Pa) .....	30
3.7.8. Resistência à compressão após a queima (RCq).....	31
<b>4. ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS .....</b>	<b>33</b>
4.1. Retração linear de secagem .....	33
4.2. Taxa de secagem .....	33
4.3. Perda ao fogo.....	37
4.4. Retração à queima.....	38
4.5. Resistência à compressão.....	39
4.6. Taxa de sucção inicial.....	43
4.7. Absorção de água.....	44
4.8. Porosidade aparente .....	45
4.9. Massa específica aparente.....	46
4.10. Influência do tipo de cinza na fabricação do material cerâmico .....	47
<b>5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>57</b>

## **LISTA DE FIGURAS**

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 3.1 Ciclo de queima para temperatura de 950°C .....	25
Figura 3.2 Corpos de prova utilizados no experimento após a queima .....	32
Figura 4.1 Influência do tipo e teor de cinza na retração linear de secagem.....	36
Figura 4.2 Relação entre a taxa de secagem e o teor de cinza .....	36
Figura 4.3 Influência da temperatura de queima e do teor de cinza na perda ao fogo .....	37
Figura 4.4 Influência da temperatura de queima e do teor de cinza na retração após queima .....	38
Figura 4.5 Influência da temperatura de queima e do teor de cinza na resistência à compressão .....	39
Figura 4.6 Influência da temperatura de queima e do teor de cinza na taxa de sucção inicial.....	43
Figura 4.7 Influência da temperatura de queima e do teor de cinza na absorção de água.....	44
Figura 4.8 Influência da temperatura de queima e do teor de cinza na porosidade aparente .....	45
Figura 4.9 Influência da temperatura de queima e do teor de cinza na massa específica aparente.....	46
Figura 4.10 Influência do tipo e teor de cinza na resistência à compressão .....	47

## **LISTA DE TABELAS**



## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Composição química da argila e das cinzas de carvão utilizadas .....	18
Tabela 3.2 Valores médios de resistência à compressão obtidos para diferentes tensões de prensagem .....	21
Tabela 3.3 Valores de F calculado e tabelado para um nível de probabilidade de 95% para as diferentes tensões de prensagem .....	21
Tabela 3.4 Valores médios de resistência à compressão e absorção de água para teores de umidade de moldagem de 8 e 10% .....	22
Tabela 3.5 Valores de F calculado para teores de umidade de moldagem de 8 e 10% .....	23
Tabela 4.1 Resultados para ciclo de queima de 10 horas .....	34
Tabela 4.2 Resultados para ciclo de queima de 22 horas .....	35
Tabela 4.3 Valores de resistência à compressão e análise estatística básica para os diferentes ciclos e temperaturas de queima .....	40
Tabela 4.4 Valores de F calculado e tabelado para um nível de probabilidade de 95% para os diferentes ciclos de queima .....	41
Tabela 4.5 Valores de F calculado e tabelado para as diferentes	

temperaturas de queima .....	41
Tabela 4.6 Valores médios de resistência à compressão obtidos para as cinzas volante e pesada.....	48
Tabela 4.7 Valores de F calculado e tabelado para as cinzas volante e pesada .....	48
Tabela 4.8 Valores de absorção de água e análise estatística básica para as cinzas volante e pesada.....	49
Tabela 4.9 Valores de F calculado e tabelado para as cinzas volante e pesada .....	49
Tabela 4.10 Valores de porosidade aparente e análise estatística básica para as cinzas volante e pesada.....	50
Tabela 4.11 Valores de F calculado e tabelado para as cinzas volante e pesada .....	50
Tabela 4.12 Valores de taxa de sucção inicial e análise estatística básica para as cinzas volante e pesada.....	51
Tabela 4.13 Valores de F calculado e tabelado para as cinzas volante e pesada .....	51

**RESUMO**

## RESUMO

O trabalho descreve pesquisa desenvolvida para a fabricação de material cerâmico com a adição de cinza volante ou cinza pesada à argila.

As cinzas são resíduos da queima de carvão mineral em termoelétricas no sul do Brasil. A argila foi obtida em uma olaria próxima a termoelétrica. Três tipos de amostras foram usadas: argila pura, argila e cinza pesada e argila com cinza volante.

A proporção de cinza na mistura variou de 0 à 50% em peso. O teor de umidade para moldagem, a temperatura e o ciclo de queima foram outras variáveis estudadas.

As características físicas e mecânicas observadas foram a retração linear de secagem, a retração à queima, a taxa de secagem, a resistência à compressão, a absorção de água, a taxa de sucção inicial, a porosidade e a massa específica aparente.

As principais conclusões foram: a retração linear de secagem e a retração à queima diminuem com a adição de cinza e podem ser importantes para se obter um melhor controle da forma e homogeneidade das dimensões; a secagem natural, normalmente usada nas olarias da região, pode ser feita em menor tempo e com menos fissuras com a adição de cinza; as resistências à compressão obtidas estão dentro das especificações das normas brasileiras; a diminuição da massa específica permite a produção de tijolos mais leves.

Os resultados mostraram que não houve praticamente diferença entre as amostras fabricadas com cinza volante e aquelas com cinza pesada. A adição de cinza volante ou cinza pesada pode ser útil para prevenir a poluição ambiental das cinzas de carvão e também para obter tijolos de boa qualidade.

## **CAPÍTULO I**

## 1. INTRODUÇÃO

A necessidade de utilização dos resíduos industriais como forma de evitar impactos ambientais torna-se em nossos dias tão prioritária quanto a busca de novas tecnologias. A deposição de rejeitos a céu aberto ou jogados em lagos, rios e mares faz com que ocorram não apenas prejuízos ao equilíbrio da natureza como também perdas econômicas pelo não aproveitamento de materiais perfeitamente passíveis de novas utilizações.

Dentre estes resíduos aparecem as cinzas resultantes da queima do carvão mineral pulverizado nas usinas termelétricas.

O complexo termelétrico Jorge Lacerda, em Tubarão, no sul do Estado de Santa Catarina, produz anualmente cerca de 800 mil toneladas de cinza.<sup>1</sup>

Cerca de 50% destas cinzas geradas são coletadas através de precipitadores eletrostáticos e conduzidas para silos especiais. Esta parcela das cinzas, denominadas cinzas leves ou volantes, são

---

<sup>1</sup> GOTHE, C. A. *Sistemas de controle e disposição final das cinzas do complexo termelétrico Jorge Lacerda - SC e da usina termelétrica de Jacuí - RS*. Anais do I e II Seminário de Aplicação dos Resíduos de Combustão do Carvão Mineral. Florianópolis, 1989.

comercializadas, sendo utilizadas principalmente na indústria cimenteira.

O grande percentual remanescente de cinzas são cinzas pesadas que caem no fundo da fornalha e após resfriamento com água são transportadas para bacias de sedimentação. Parte destas cinzas depositadas nas bacias de sedimentação são retiradas e conduzidas para aterros. Porém, o restante fica nas bacias que servem como depósito final.

Nos locais de deposição final, as cinzas em suspensão decantam com velocidades bastante baixas, acarretando a necessidade de grandes bacias para obtenção de um efluente clarificado. Além disso, as cinzas são classificadas como material não inerte e, além das medidas de contenção física nas áreas de deposição final, deve ser feita uma avaliação da poluição química que determinadas cinzas possam produzir. Através de chuvas e ventos, estes resíduos escoam para rios e terras próximos à bacia de sedimentação causando morte da flora e fauna da região e problemas de saúde à população da área.

Próximo ao complexo termelétrico Jorge Lacerda existem muitas olarias de pequeno porte, funcionando com estrutura artesanal. Estas olarias, devido as suas características de administração familiar, apresentam precária programação de produção e não fazem nenhum investimento em pesquisas que levem à melhoria de qualidade do produto e redução de custos.

Como consequência desta situação, as olarias da região normalmente apresentam grande desperdício energético pelo uso incorreto do processo de fabricação. Ao mesmo tempo, produzem tijolos e blocos cerâmicos de baixa qualidade, especialmente

considerando a resistência à compressão, a taxa de sucção inicial e a estabilidade dimensional do material e, para poder colocar seu produto no mercado, praticam preços muito baixos que muitas vezes não cobrem os custos de produção.

A má qualidade do produto cerâmico gera um desperdício em cadeia por todo o setor produtivo da construção civil. Como exemplos pode-se citar as quebras que ocorrem no transporte e movimentação do produto, a dificuldade de fazer-se um assentamento de paredes com prumadas verticais, a conseqüente necessidade de maior espessura dos rebocos para a correção e muitos outros casos de desperdício.

Pesquisas realizadas anteriormente mostram a completa desestruturação do setor da cerâmica vermelha<sup>2</sup>. As empresas tem estrutura familiar, mostram controle de qualidade precário, utilizam mão-de-obra não qualificada, desconhecem a existência de normas técnicas para os produtos cerâmicos e operam com grande desperdício de energia.

OLIVEIRA<sup>3</sup>, mostra que a conseqüência desta estrutura precária é a fabricação de produtos de qualidade bastante baixa. Em ensaios dimensionais e de resistência à compressão realizados com 1110 produtos de 28 olarias, não encontrou-se nenhuma amostra que estivesse inteiramente de acordo com as especificações das normas técnicas de cerâmica vermelha da ABNT.

---

<sup>2</sup> VILLAR, V. S. *Perfil e perspectivas da indústria de cerâmica vermelha do sul de Santa Catarina*. Dissertação de Mestrado, PPGE/UFSC, Florianópolis, 1988.

<sup>3</sup> OLIVEIRA, S. M. *Avaliação dos blocos e tijolos cerâmicos do Estado de Santa Catarina*. Dissertação de Mestrado, PPGE/UFSC, Florianópolis, 1993.



Considerando os problemas de poluição causados pela cinza de carvão e a situação das olarias com conseqüências na construção civil, decidiu-se investigar a possibilidade de usá-la para produzir tijolos.

A história dos resíduos das termelétricas tem mostrado a cinza volante como um material perfeitamente utilizável, e quase todo consumido pela indústria cimenteira. A literatura indica também trabalhos de pesquisa sobre o uso deste tipo de cinza na fabricação de tijolos. Não encontrou-se, no entanto, notícia de qualquer trabalho de pesquisa desenvolvido para fabricação de tijolos e blocos cerâmicos com cinza pesada.

Contudo, considerando que o problema crítico das termelétricas está relacionado com a necessidade de se criar utilização para as cinzas pesadas, utilizou-se esta última como a principal matéria de adição à argila estudada neste trabalho. Porém, algumas misturas com cinza volante também foram feitas para comparação.

O objetivo geral desta dissertação foi a busca de soluções para a utilização dos resíduos gerados pelas termelétricas e para os problemas de qualidade do produto cerâmico das regiões próximas da usina.

Os objetivos específicos são:

Contribuição para a solução dos problemas ambientais causados pela não utilização das cinzas das termelétricas e pelo consumo de argila, ou seja, estudar uma alternativa para a utilização das cinzas depositadas nas bacias de sedimentação;

. A otimização da queima do produto com conseqüente economia de recursos energéticos;

. A melhoria de qualidade do produto cerâmico em relação às suas características físicas e mecânicas.

A dissertação segue a seguinte estrutura:

No capítulo 2 apresenta-se uma revisão bibliográfica com os principais resultados encontrados a nível nacional e internacional.

No capítulo 3 descreve-se o programa experimental, indicando os materiais utilizados, o processo de fabricação das amostras e os ensaios realizados.

A análise dos resultados obtidos em relação às seguintes variáveis é apresentada no capítulo 4: retração linear de secagem, taxa de secagem, perda ao fogo, retração à queima, resistência à compressão, absorção, porosidade aparente, massa específica aparente e taxa de sucção inicial.

Finalmente no capítulo 5 são mostradas as principais conclusões e faz-se recomendações para trabalhos futuros.

## **CAPÍTULO II**

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Introdução

No Brasil, notadamente na Região Sul, verifica-se a fabricação de um grande volume de tijolos e telhas. Ao mesmo tempo, percebe-se que a regra é a fabricação de produto de má qualidade e a escassez de pesquisas que possam minimizar os problemas que aparecem tanto no desenvolvimento do processo de fabricação do material cerâmico, na maior parte das vezes quase artesanal, quanto no uso do material fabricado.

O produto cerâmico apresenta grandes qualidades que fazem seu uso na construção civil muito disseminado. Entre estas pode-se citar: a possibilidade de ser utilizado em grande variedade de usos funcionais; a maior economia que geralmente oferece quando comparado com outros materiais de construção; a durabilidade; a incombustibilidade; a exigência de pequena ou nenhuma manutenção; não oferecer dificuldades para a obtenção e treinamento de mão-de-obra qualificada; a rapidez de execução e a flexibilidade que oferece<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> *The potential structural brickwork*. Brick development association, Berkshine, 1984.

Os tijolos cerâmicos atingiram tamanho nível de qualidade em países desenvolvidos tais como, Inglaterra, Canadá, Austrália e outros, que possibilitaram a evolução da técnica construtiva em alvenaria estrutural para até 13 pavimentos<sup>5</sup>.

Para que todas estas vantagens sejam obtidas, é indispensável que o material cerâmico seja produzido com as suas qualidades físicas e mecânicas bastante controladas e atendendo as exigências da normalização existente.

## 2.2. Processos de Fabricação

As operações básicas na fabricação de produtos de cerâmica vermelha são<sup>6</sup>:

- a) Formação da pasta de moldagem pela mistura de um ou mais tipos de argilas com água (Homogeneização);
- b) Moldagem da peça, geralmente por extrusão, sendo, em alguns casos, como para as telhas, seguida de prensagem;
- c) Secagem, para eliminação de água de moldagem e água absorvida;

---

<sup>5</sup> HENDRY, A. W., SINHA, B. P. & DAVIES, S. R. *An introduction to load bearing brickwork design*. Ellis Harwood Ltd, Chichester, 1981.

<sup>6</sup> CIENTEC. *Cerâmica estrutural, fundamentos tecnológicos e industriais*. Fundação de Ciência e Tecnologia, vol. 1, Porto Alegre, s/d.

d) Queima, durante o qual o material, por efeito de uma série de reações químicas e por um processo de sinterização das partículas finas e dos colóides, adquire resistência às intempéries.

Em todas estas fases, a literatura enfatiza a importância do uso de procedimentos técnicos corretos, para que o produto acabado mostre melhores características de desempenho.

### **2.3. Produção de Cerâmica em Santa Catarina**

Em Santa Catarina a indústria de materiais de cerâmica vermelha constitui um setor importante sob o ponto de vista sócio-econômico para o estado. A grande maioria das habitações do estado são construídas com tijolos e telhas, material este que é suprido por 742 olarias, geralmente de pequeno porte, funcionando com estrutura artesanal. Estas empresas geram cerca de 11.000 empregos diretos e 30.000 empregos indiretos<sup>7</sup>.

Entre os principais problemas de produção do material cerâmico do Estado deve-se ressaltar os seguintes:

.não são realizadas análises químicas ou físicas das argilas utilizadas;

---

<sup>7</sup> SECTE. *Diagnóstico do setor de cerâmica vermelha em Santa Catarina*. Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia das Minas e Energia do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, 1990.

.não há controle na formação da pasta de moldagem. A argila é colocada próxima à máquina de moldagem sem sofrer peneiramento para a homogeneização dos grãos. A água é adicionada sem um controle rígido da dosagem. Quando são usados dois ou mais tipos diferentes de argilas, a mistura é realizada empiricamente sem a determinação das quantias exatas de cada uma;

.a moldagem geralmente é feita em marombas horizontais por extrusão. Estas são geralmente de modelos obsoletos;

.após a moldagem, os tijolos crus são colocados para secar em galpões cobertos, mas totalmente abertos, sem paredes. Este fato determina a impossibilidade de controle sobre a secagem, pois esta fica sujeita às variações do clima, ventos, temperatura e umidade relativa do ar. Na secagem pode-se verificar nitidamente a falta de controle e de planejamento do processo de fabricação. Em olarias situadas na mesma região e, portanto, utilizando o mesmo tipo de solo e sujeitas ao mesmo clima, o tempo entre a moldagem do tijolo e a colocação no forno para a queima, varia de um mínimo de 2 dias para uma até 30 dias para a outra. A mesma olaria que algumas vezes permite apenas dois dias para a secagem, também admite que há ocasiões em que o tempo empregado para secar o material atinge 60 dias.

.geralmente a queima é realizada em fornos periódicos de tijolo, circulares e abobadados, com pequenas aberturas laterais onde é feito fogo, geralmente com lenha. Pode-se encontrar olarias que efetuam o cozimento em 48 horas e outras que utilizam 180 horas, sendo a média do tempo de queima de 100 horas.

Como consequência desta falhas e inadequações do sistema produtivo se verificam os seguintes problemas no setor:

- . irregularidades na atividade extrativa da lenha e argila usadas para a produção do material;
- . uso inadequado da matéria prima;
- . desperdício de energia;
- . contribuição para o agravamento da degradação do meio-ambiente;
- . a qualidade do produto geralmente não satisfaz os padrões mínimos aconselháveis;
- . a quantidade fabricada não é a mesma durante todo o ano, havendo uma maior produção no verão do que no inverno e ocasionando deficiência no abastecimento do mercado;
- . as normas brasileiras, mesmo sendo muito brandas quando comparadas com normas de outros países, não são observadas, especialmente no que se refere as dimensões do produto.

#### **2.4. A Argila e as Cinzas**

A argila é uma rocha finamente dividida, constituída essencialmente de argilominerais, podendo conter outros minerais e



matéria orgânica<sup>8</sup>. Possui elevado teor de partículas de granulometria abaixo de 2 micrômetros, é plástica quando pulverizada e rígida e dura após secagem e queima.

Segundo SANTOS<sup>9</sup>, as características essenciais das argilas para serem usadas na fabricação de produtos de cerâmica vermelha são: poder ser moldadas facilmente, ter valor médio ou elevado para a tensão de ruptura à flexão, antes e após queimar; apresentar mínimo de trincas e empenamento. Estas características são determinadas pela plasticidade, pela capacidade de absorção e cessão de água, e pelo seu comportamento ao calor (alteração de volume durante a secagem e a queima).

A plasticidade, a água de moldagem, o comportamento na secagem e na queima dependem da granulometria e dos diversos minerais presentes.

A composição química da argila pura é de 47% de sílica, 39% de alumina e 14% de água; ela constitui o aglutinante dos demais elementos que compõem a argila industrial.

Quimicamente, as cinzas de carvão não diferem muito da argila e muitas cinzas e argilas têm composições muito similares. Essas similaridades são mais evidentes quando ambos os materiais provêm da mesma região.

---

<sup>8</sup> IPT. *Manual de procedimentos para a indústria de cerâmica vermelha*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 1986. (Relatório nº 24.422).

<sup>9</sup> SANTOS, P. S. *Ciência e Tecnologia de Argilas*. vol. 1, Ed. Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1989.

Fisicamente, entretanto, a cinza e a argila são diferentes. As cinzas são compostas de material vítreo, partículas esféricas e partículas angulares, e a argila é composta de camadas plásticas de silicatos-aluminosos, contendo água superficial. A granulometria média das cinzas está acima de 2 micrômetros.

Segundo FABER e SLONAKER<sup>10</sup>, esse maior tamanho e esfericidade das partículas da cinza age de maneira à reduzir a área superficial interna quando misturada com a argila e aumenta o volume de vazios quando misturada com agregados. O maior tamanho e a estrutura vítrea tanto da cinza volante como da cinza pesada, podem reduzir forças de ligação internas. Os efeitos destas diferenças são a redução da umidade total, maior facilidade e mais rapidez na perda de umidade, melhor trabalhabilidade, menor densidade de massa, sem perda de outras características desejáveis.

## 2.5. Problemas Ambientais com Cinza

Normalmente, a forma das cinzas é esférica com estrutura vítrea. Devido a sua forma e tamanho, a cinza apresenta uma grande superfície específica. Normalmente a composição da parte esférica é quase imune a dissolução, devido a estrutura vítrea, sendo relativamente inerte.

---

<sup>10</sup> FABER, J. H. e SLONAKER, J. F. *An overview of the fly ash brick process using bituminous and lignite coal ashes*. In.: Council for Scientific and industrial research. Ash, a value resource, CSIR conference centre, v. 3, Pretoria, 2-6 February, 1987.

No entanto, segundo GOTHE<sup>11</sup>, na superfície das partículas esféricas encontram-se moléculas que foram adsorvidas durante o resfriamento. Estas moléculas em presença de água se dissolvem. Este é o mecanismo que produz o lixiviado, que pode conter ainda algumas partículas menores.

Devido tanto ao pH de sua drenagem, quanto à solubilização dos elementos presentes na sua composição química, as cinzas são elementos potencialmente poluidores.

Nas bacias de sedimentação, alguns elementos dissolvidos podem ter acesso ao lençol freático, contaminando as fontes de abastecimento de água para a população. Destes elementos, alguns são diretamente tóxicos para as plantas. Outros, fixam-se nas plantas e intoxicam aos homens ou animais que dela se alimentam.

## **2.6. Utilização de Cinza no Produto Cerâmico**

A revisão da literatura<sup>12</sup> mostra que a queima da argila com cinza para fabricação de tijolos não é nova. Isto tem sido feito desde o século XVII. As principais razões para fazê-la são a redução da retração da argila que se obtém com a adição de cinzas e para fazer uso do valor calorífico do carvão não queimado nas cinzas.

---

<sup>11</sup> GOTHE, C. A. *Op. cit.*

<sup>12</sup> BARBER, E. G., JONES, G. T., KNIGHT, P. G. K. & MILES, M. H. *PFA Utilization*. Central Electricity Generating Board, 1976.

BROOKS et alli<sup>13</sup> investigaram a utilização da cinza volante com argila. Os resultados mostraram que o uso de cinza volante poderia conduzir a economias na fabricação de tijolos. Além disto, as resistências à compressão foram pouco afetadas pelo decréscimo de densidade e aumento na porosidade causados pela adição de cinza volante.

DAY e BERGMAN<sup>14</sup> usaram diferentes tamanhos de partículas de cinza volante com vidro, areia e argila para produzir tijolos. Os resultados mostraram que era importante adicionar quantidades substanciais de vidro para reduzir a absorção, o tamanho da cinza não era significativa para melhoria das propriedades e a taxa de sucção inicial dos tijolos foi alta.

USAI<sup>15</sup> estudou a possibilidade do uso de cinza volante na produção de tijolos leves. Uma mistura de 80% de argila e 20% de cinza foi feita. Duas temperaturas de queima, 1000°C e 1100°C, foram usadas. A primeira produziu uma resistência à compressão de 9.0 N/mm<sup>2</sup> e densidade de 1.1, enquanto a segunda deu uma resistência à compressão de 11.5 N/mm<sup>2</sup> e densidade de 1.65.

---

<sup>13</sup> BROOKS, J. J., CABRERA, J. G. E EL-BADRI, M. *Properties of Clay/PFA bricks*. Proceedings of 8th International Brick/Block Masonry Conference, Dublin, Irlanda, setembro de 1988, pp. 64-74.

<sup>14</sup> DAY, R. L. E BERGMAN, J. W. *Fly Ash as a Substitute for Clay in Brick Manufacture*. Proceedings of 8th International Brick/Block Masonry Conference, Dublin, Irlanda, setembro de 1988, pp. 14-25.

<sup>15</sup> USAI, G. *Laterizi Leggeri Contenenti Ceneri Volanti*. Proceedings of 9th International Brick/Block Masonry Conference, Berlim, Alemanha, outubro de 1991, pp. 48-52.

SULTAN et alli<sup>16</sup> estudaram a utilização de resíduos de fábricas de cobre e cinza volante para fabricação de tijolos. Os resultados mostram que uma mistura de 50% de cinza volante e 50% de resíduo de cobre, em peso, com adição de 6% de cimento portland dão resultados de resistência à compressão de 1300 psi.

CABRERA e STENTIFORD<sup>17</sup> estudaram as propriedades dos tijolos fabricados com cinza volante e adições de lama de esgoto, areia e argila. Dos resultados obtidos, concluiu-se que os tijolos feitos com cinza volante e adição de qualquer dos três materiais podem ser queimados usando um ciclo de queima mais curto do que o ciclo requerido para queima dos tijolos de argila convencional.

---

<sup>16</sup> SULTAN, H. A., QAQISH, S.S. E FATANI, M. N. *Stabilized copper mill tailing and fly ash for brick manufacture*. In.: HALLOW, J. S. & COVEY, J. N. *The challenge of change; sixth International Ash Utilization Symposium Proceedings*, v. 2, Nevada, Março de 1982.

<sup>17</sup> CABRERA, J. G. e STENTIFORD, E. I. *Le proprietà dei mattoni fabbricati con ceneri di combustibile solido polverizzato e depositi di fognatura*. *Refrattari e Laterezi*, set./out., n° 71, 1984, pp. 227-34.

## **CAPÍTULO III**

### **3. PROGRAMA EXPERIMENTAL**

#### **3.1. Materiais Utilizados**

Dois tipos de amostras de cinza, cinza volante e cinza pesada, e uma amostra de argila, foram coletadas para o programa experimental.

Na termoelétrica Jorge Lacerda, parte das cinzas volantes são coletadas por precipitadores eletrostáticos e conduzidas a um silo de armazenamento. A amostra de cinza volante foi coletada neste silo.

As bacias de sedimentação, onde as demais cinzas são depositadas, localizam-se em frente à termoelétrica. Os resíduos conduzidos às bacias de sedimentação contém cinza volante, cinza pesada e escória. No processo de sedimentação as partículas mais pesadas vão se depositando mais rapidamente. Além disso, como o fluxo do líquido efluente é no sentido de chegada da termoelétrica para os rios, no começo das bacias há um depósito maior de partículas pesadas, enquanto que na saída do efluente há um depósito maior de partículas leves. Levando em consideração este fato, e buscando uma amostra representativa de toda a bacia, fez-se a coleta da amostra em três pontos da bacia: no começo, no meio e no fim.

Para o preparo dos corpos de prova foi utilizada uma mistura destas três amostras.

Nas olarias, a argila sofre um processo de maceração antes de ser utilizada. Na olaria visitada, para fins de coleta da amostra, havia dois tipos de argila em maceração: uma argila amarela e uma argila vermelha, esta em menor quantidade. Antes de passarem para o processo de homogeneização, ambas eram misturadas. A coleta da amostra de argila foi feita dessa mistura das argilas.

### **3.2. Secagem da Argila e da Cinza de Carvão**

As demais etapas do programa experimental foram realizadas no Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina).

Para tirar a umidade natural, a argila e a cinza foram colocadas em uma estufa de secagem e esterilização a uma temperatura de 70°C durante 24 horas.

Esta temperatura de 70°C foi escolhida porque acima desta ocorrem polimerizações irreversíveis na matéria orgânica natural presente nas amostras.

### **3.3. Análise Química**

As análises químicas da argila e da cinza de carvão utilizadas foram realizadas no laboratório do CENTEC (Centro



Tecnológico) da UNISUL (Fundação Universidade do Sul de Santa Catarina).

A composição química da mistura das argilas e das cinzas utilizadas pode ser observada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Composição química da argila e das cinzas de carvão utilizadas.

Componentes (%)	Símbolo	Argila	Cinza Volante	Cinza Pesada
Sílica	SiO <sub>2</sub>	70.50	55.00	53.80
Alumina	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.50	29.30	25.60
Óxido de cálcio	CaO	0.03	1.50	0.67
Óxido de magnésio	MgO	0.38	0.80	0.65
Sulfatos		0.06	0.20	0.08
Perda ao fogo		5.40	--	--

#### 3.4. Determinação dos Limites de Liquidez e Plasticidade da Argila

Quanto mais plástica é uma argila maior é o limite de plasticidade, isto é, maior a quantidade de água necessária para formar uma massa plástica. Esta característica é válida para qualquer tipo de moldagem. Quando a moldagem é por extrusão, a quantidade de água necessária é igual ou superior ao limite de plasticidade, porém inferior ao limite de liquidez. Na conformação semi-seca, operando com pressões na faixa de 20 a 30 MPa, a umidade de

têmpera, ou teor de umidade de moldagem, é da ordem de 1/3 a 1/2 do valor do limite de plasticidade da argila<sup>18</sup>.

Estes limites são indicações da moldabilidade do material e do seu comportamento à secagem, e foram determinados através do método NBR 7180 da ABNT<sup>19</sup>.

### **3.5. Destorroamento da Argila**

Com auxílio de um almofariz e uma mão-de-gral a argila foi destorroada. Este destorroamento faz-se necessário para o posterior peneiramento e eliminação das partículas mais grossas para que haja, assim, uma melhor homogeneização dos materiais antes de serem moldados.

Após o destorroamento passou-se a argila e em seguida a cinza na peneira #30(0.6mm).

### **3.6. Desenvolvimento do Processo de Fabricação Utilizado**

Os corpos de prova moldados em laboratório, manualmente ou por extrusão, em massas plásticas, são de uma resistência mecânica muito baixa. O método de moldagem por prensagem de

---

<sup>18</sup> IPT. *Manual de procedimentos para a indústria de cerâmica vermelha*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 1986. (Relatório nº 24.422).

<sup>19</sup> ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Solo - determinação do limite de plasticidade. NBR 7180 (MB-31). Rio de Janeiro, 1984.

massas semi-secas permite a obtenção de corpos de prova que, após a secagem, são manuseáveis sem se esfarelar<sup>20</sup>.

Para a moldagem dos corpos de prova no LMCC (Laboratório de Materiais de Construção Civil), foi utilizada uma prensa manual, já que não havia uma extrusora de laboratório para moldagem de massas plásticas por extrusão.

Por este motivo, o método de conformação das misturas utilizado foi o de prensagem de massas semi-secas.

Três diferentes níveis de compressão foram inicialmente experimentados, ou seja, 15 MPa, 20 MPa e 25 MPa. A Tabela 3.2 mostra os resultados de resistência à compressão, com análises estatísticas básicas obtidos para cada uma das diferentes tensões de prensagem acima.

Realizou-se análise de variância para comparação destas médias. Os resultados para os valores de F calculados e os valores de F tabelados podem ser vistos na Tabela 3.3. Verifica-se que na comparação das 3 amostras diferentes (15, 20 e 25 MPa) houve diferenças estatisticamente significativas para as três diferentes composições da mistura (0, 30 e 50% de cinza), uma vez que os valores de F calculados são maiores que os valores de F tabelados. Na comparação apenas entre as tensões de prensagem de 20 MPa e 25 MPa observa-se que, estatisticamente, existe diferença apenas para as amostras com argila pura. Por esta razão, decidiu-se utilizar na continuação do trabalho, a tensão de prensagem de 20 MPa.

---

<sup>20</sup> SANTOS, P. S. Op. cit.

Deve-se ressaltar ainda, que sendo a prensagem feita manualmente, a conformação a 25 MPa, tornava-se bastante difícil.

Tabela 3.2 - Valores médios de resistência à compressão obtidos para diferentes tensões de prensagem.

tensão de prensagem	teor de cinza (%)	resistência à compressão (MPa)		
		média (MPa)	desvio padrão (MPa)	coeficiente de variação (%)
15 MPa	0	10.85	2.34	21.57
	30	5.88	0.46	7.82
	50	3.41	0.34	9.97
20 MPa	0	18.22	1.09	5.98
	30	10.27	1.07	10.42
	50	5.70	0.35	6.14
25 MPa	0	22.31	1.54	6.90
	30	10.57	0.62	5.87
	50	6.03	0.53	8.79

Tabela 3.3 - Valores de F calculado e tabelado para um nível de probabilidade de 95% para as diferentes tensões de prensagem.

tensões comparadas	teor de cinza (%)	Fcalc	Ftab
15 MPa	0	55.96	3.89
20 MPa	30	59.22	
25 MPa	50	59.05	
20 MPa	0	23.48	5.32
25 MPa	30	0.29	
	50	1.33	

### 3.6.1. Determinação do Teor de Umidade de Moldagem

A umidade de prensagem é acertada por tentativa, até se obter um corpo de prova que possa ser extraído facilmente do molde e seja manuseável sem se esfarelar.

Para a argila em uso, o valor do limite de plasticidade encontrado foi de 24.91%. Após testes preliminares, com teores de umidade em torno de 1/3 do limite de plasticidade, decidiu-se inicialmente utilizar dois diferentes teores de umidade de moldagem: 8% e 10%. As Tabelas 3.4 e 3.5. mostram respectivamente, as médias obtidas e os resultados da análise de variância realizados para a resistência à compressão e a absorção de água.

Tabela 3.4 - Valores médios de resistência à compressão e absorção de água para teores de umidade de moldagem de 8 e 10%.

teor de umidade	teor de cinza(%)	resist. à compr. (MPa)			absorção de água (%)		
		média	desvio padrão	coef. de variação	média	desvio padrão	coef. de variação(%)
8%	0	14.54	2.67	18.36	15.93	0.42	2.64
	30	5.46	0.83	15.20	21.08	1.11	5.27
	50	4.22	0.19	4.50	25.90	0.34	1.31
10%	0	18.31	2.74	14.96	14.82	0.52	3.51
	30	9.50	0.70	7.37	18.71	0.26	1.39
	50	6.22	0.43	6.91	24.23	0.65	2.68

Observou-se que os corpos de prova com argila pura não apresentaram diferenças significativas em relação à resistência à

compressão. Já os ensaios com 30 % e 50 % de cinza mostraram diferenças significativas estatisticamente, obtendo-se maiores resistências de compressão e menores valores de absorção de água para um teor de umidade de moldagem de 10 %. Por esta razão, optou-se pelo uso de teores de umidade de moldagem de 10 %.

Tabela 3.5 - Valores de F calculado e tabelado para teores de umidade de moldagem de 8 e 10%.

teor de cinza (%)	resistência à compressão (MPa)		absorção de água (%)	
	F <sub>calc</sub>	F <sub>tab</sub>	F <sub>calc</sub>	F <sub>tab</sub>
0	4.86	5.32	13.65	5.32
30	68.93	5.32	21.65	5.32
50	89.54	5.32	26.02	5.32

### 3.6.2. Preparação das Misturas

Foram estudadas seis misturas: uma mistura de controle com 100% de argila e cinco misturas de argila com cinza, variando-se a quantidade de cinza adicionada de 10% a 50% em massa.

As misturas foram feitas manualmente, utilizando-se uma quantidade de água equivalente a 10% da massa seca. As misturas foram guardadas em sacos plásticos por 24 horas. Este armazenamento é feito para que ocorra a absorção de água e inchamento por parte das amostras, evitando que isto ocorra com o material no molde, quando da prensagem, prevenindo possíveis trincas e fissuras na secagem dos corpos de prova.

### **3.6.3. Moldagem dos Corpos de Prova**

O material foi colocado em um molde cilíndrico de 34,50mm de diâmetro e consolidado por prensagem em uma prensa manual. A carga foi aplicada lentamente até se obter uma tensão de 20 MPa, a qual foi mantida por 1 minuto.

Em seguida, retirou-se a amostra invertendo-se o molde e aplicando uma carga contínua até a retirada total do corpo de prova. Foram moldados 5 corpos de prova para cada mistura.

Fez-se, então, a pesagem numa balança eletrônica de precisão 0,01 g. Depois, o diâmetro dos corpos de prova foi medido com um paquímetro de precisão 0,02 mm. Em seguida, os corpos de prova foram armazenados à temperatura ambiente durante 24 horas.

### **3.6.4. Secagem dos Corpos de Prova**

Os corpos de prova foram secados em estufa à uma temperatura de 110°C, por 24 horas. Após retirados da estufa, foram pesados e medidas suas dimensões. Foram determinadas as umidades de prensagem e retrações lineares de secagem.

Uma série com três corpos de prova foi moldada visando monitorar a taxa de secagem por sete horas, através de pesagem a cada hora.

### 3.6.5. Queima dos Corpos de Prova

Em seguida, os corpos de prova foram colocados em um forno elétrico de laboratório para a realização da queima. Dois ciclos de queima foram usados; um de 22 horas, sendo 12 horas de aquecimento e 10 horas de permanência na temperatura máxima e outro de 10 horas, sendo 7 horas de aquecimento e 3 horas na temperatura máxima. O processo de resfriamento foi natural com duração em torno de 12 horas. Como o forno não tinha controle automático de aquecimento, a mudança de temperatura foi feita manualmente. Para a temperatura de 950°C, o ciclo de queima de 10 horas está mostrado na Figura 3.1. Foram realizados ciclos com temperaturas máximas de 750°C, 950°C e 1050°C.

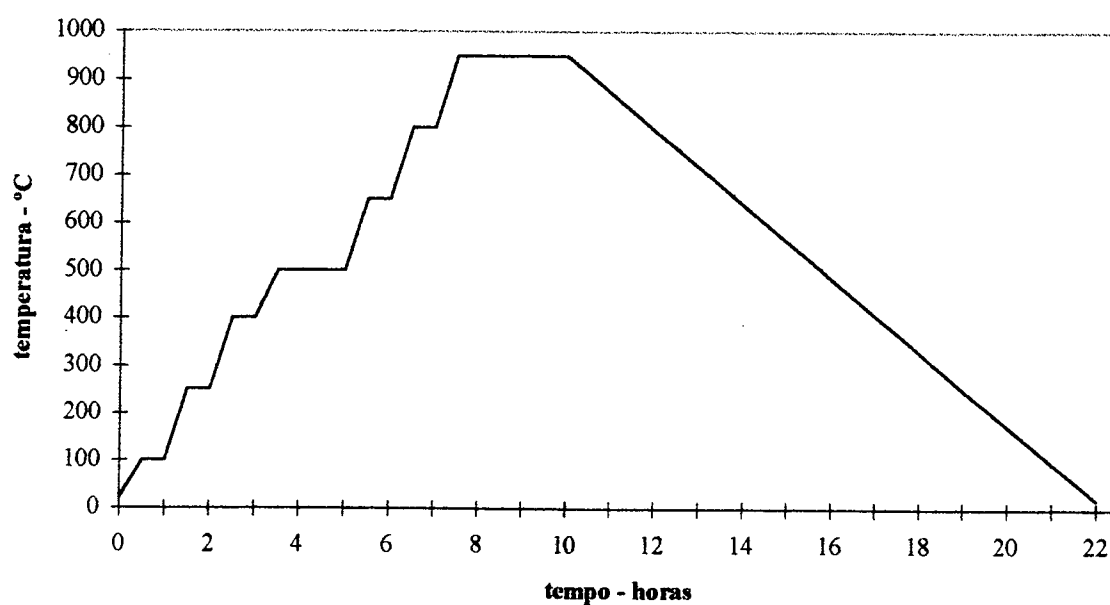


Figura 3.1 - Ciclo de queima de 10 horas e temperatura de 950°C.



Após o resfriamento, quando os corpos de prova já estavam na temperatura ambiente foram pesados e medidos, sendo então determinadas a retração a queima e a perda ao fogo.

Em seguida foi feito o ensaio para determinar a taxa de sucção inicial, conforme a norma BS 3921<sup>21</sup>. Depois disto, os corpos de prova foram imersos por 24 horas em uma bandeja com água.

Após, as amostras foram retiradas da água e determinou-se o seu peso saturado conforme a norma ASTM C 127<sup>22</sup> e o seu peso imerso.

Foram então calculadas a absorção de água, a massa específica aparente e porosidade aparente. Finalmente, os corpos de prova foram rompidos por compressão e se determinou a resistência à compressão.

### **3.7. Determinação das Características Físicas e Mecânicas**

#### **3.7.1. Umidade de Moldagem (U)**

Após a moldagem, com os resultados das diferentes pesagens, foi determinada a umidade de moldagem dada pela seguinte equação:

---

<sup>21</sup> British Standard Institution. Specifications for clay bricks. BS 3921, London, 1985.

<sup>22</sup> American Society for Testing and Materials. Test for specific gravity and absorption of fine aggregate. ASTM C 127-77.

$$U = \frac{M_p - M_s}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

onde,

U = Umidade de moldagem(%);

M<sub>p</sub> = Massa do corpo de corpo de prova após a prensagem(g);

M<sub>s</sub> = Massa do corpo de corpo de prova após a secagem(g).

### 3.7.2. Retração Linear de Secagem (R<sub>s</sub>)

Também após a moldagem, com os resultados das diferentes medições, foi determinada a retração linear de secagem dada pela seguinte equação:

$$R_s = \frac{D_p - D_s}{D_s} \times 100 \quad (2)$$

R<sub>s</sub> = Retração linear de secagem(%);

D<sub>p</sub> = Diâmetro do corpo de corpo de prova após a prensagem(mm);

D<sub>s</sub> = Diâmetro do corpo de corpo de prova após a secagem(mm).

### 3.7.3. Perda ao Fogo (PF)

Após a queima, com os resultados das diferentes pesagens, foi determinada a perda ao fogo, que indica a perda de massa do material durante o cozimento. Esta é dada pela seguinte equação:

$$PF = \frac{Ms - Mq}{Mq} \times 100 \quad (3)$$

PF = Perda ao fogo(%);

Ms = Massa do corpo de corpo de prova após a secagem(g);

Mq = Massa do corpo de corpo de prova após a queima(g).

### 3.7.4. Retração à Queima (Rq)

A retração à queima foi determinada pela seguinte equação:

$$Rq = \frac{Ds - Dq}{Dq} \times 100 \quad (4)$$

Rq = Retração à queima(%);

Ds = Diâmetro do corpo de corpo de prova após a secagem(mm);

Dq = Diâmetro do corpo de corpo de prova após a queima(mm).

### 3.7.5. Taxa de Sucção Inicial (TSI)

A taxa de sucção inicial indica a velocidade de absorção de água pelo material logo após estar em contato com a mesma. É uma característica importante uma vez que influirá na qualidade da parede acabada. Um material com alta taxa de sucção inicial necessita procedimentos corretivos por molhagem antes do assentamento.

Para este ensaio foi utilizada a norma BS 3921<sup>23</sup>. Após a queima e pesagem, os corpos de prova foram colocados parcialmente imersos em água (aproximadamente 3 mm) em uma bandeja, aí permanecendo durante 1 minuto. Em seguida, foram retirados da água e pesados. A taxa de sucção inicial foi determinada pela seguinte equação:

$$TSI = \frac{Mm - Mq}{3\pi Dq + (\pi Dq^2) / 4} \times 100 \quad (5)$$

TSI = Taxa de sucção inicial(Kg/mm<sup>2</sup>.min);

Mm = Massa do corpo de corpo de prova após 1 min. de imersão(g);

Mq = Massa do corpo de corpo de prova após a queima(g);

Dq = Diâmetro do corpo de corpo de prova após a queima(mm).

---

<sup>23</sup> British Standard Institution. *Specifications for clay bricks and blocks*. BS 3921, London, 1985.

### 3.7.6. Absorção de Água (AA)

Para este ensaio foi utilizada a norma ASTM C 67<sup>24</sup>. Após ficarem 24 horas imersos em água, os corpos de prova foram pesados para determinar-se a massa saturada. A absorção de água foi determinada pela seguinte equação:

$$AA = \frac{Mt - Mq}{Mq} \times 100 \quad (6)$$

AA = Absorção de água(%);

Mt = Massa do corpo de corpo de prova saturado(g);

Mq = Massa do corpo de corpo de prova após a queima(g).

### 3.7.7. Massa Específica Aparente (MEa) e Porosidade Aparente(Pa)

Neste ensaio utilizou-se a norma ASTM C 127<sup>25</sup>. Após a determinação da massa saturada, os corpos de prova foram pesados submersos em água através de uma balança hidrostática.

---

<sup>24</sup> American Society for Testing and Materials. *Standart methods of sampling and testing brick and strutural clay tile*. ASTM C 67-83.

<sup>25</sup> American Society for Testing and Materials. *Test for specific gravity and absortion of fine aggregate*. ASTM C 127-77.

A massa específica aparente e a porosidade aparente são determinadas pelas seguintes equações:

$$MEa = \frac{Mt - Mq}{Mt - Mi} \times 100 \quad (7)$$

$$Pa = \frac{Mq}{Mt - Mi} \times 100 \quad (8)$$

MEa = Massa específica aparente(g/cm<sup>3</sup>);

Pa = Porosidade aparente(%);

Mt = Massa do corpo de corpo de prova saturado(g);

Mq = Massa do corpo de corpo de prova após a queima(g);

Mi = Massa do corpo de corpo de prova imerso(g).

### 3.7.8. Resistência à Compressão após Queima (RCq)

Terminadas as pesagens, os corpos de prova foram secos com um pano e rompidos na mesma prensa utilizada para a moldagem. Determinada a carga de ruptura, a resistência à compressão foi calculada pela equação:

$$RCq = \frac{CR}{\pi Dq^2 / 4} \quad (9)$$

RCq = Resistência à compressão após a queima(MPa);

CR = Carga de ruptura dos corpos de prova(N);

Dq = Diâmetro do corpo de prova após a queima(mm).

A foto abaixo mostra os corpos de prova após a queima.

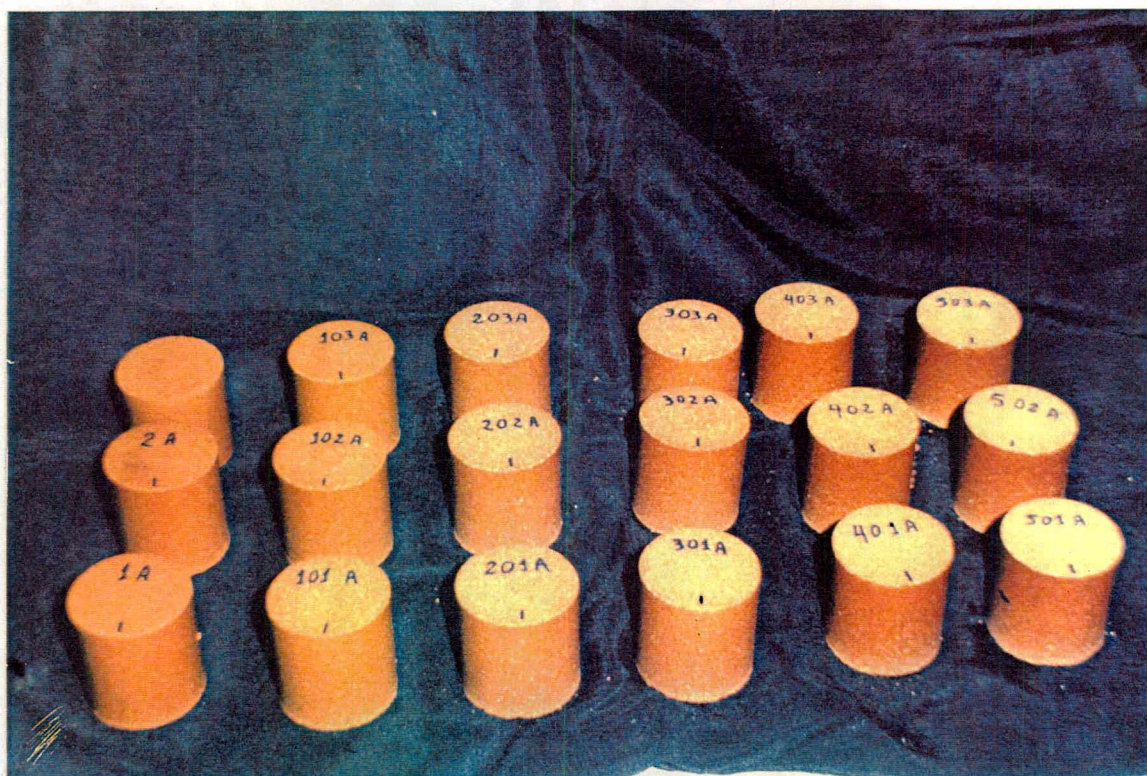


Figura 3.2 - Corpos de prova utilizados no experimento após a queima.

0.292.639-2

Biblioteca Universitária  
UFSC

## **CAPÍTULO IV**



#### **4. ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS**

Foi desenvolvida uma análise sobre as seguintes características físicas e mecânicas testadas: perda ao fogo, retração à queima, resistência à compressão, absorção de água, massa específica aparente, porosidade aparente e taxa de sucção inicial. Os valores médios para estas características podem ser vistos nas Tabelas 4.1 e 4.2.

##### **4.1. Retração Linear de Secagem**

Na Figura 4.1, pode-se ver que para ambas, cinza pesada e cinza volante, a retração diminui consistentemente com a adição de cinza até a quantidade de 40% em peso. A partir deste nível, permanece praticamente constante. Esta diminuição de retração é benéfica pois diminui a possibilidade de ocorrência de trincas e defeitos durante a secagem.

##### **4.2. Taxa de Secagem**

Os resultados obtidos para a taxa de secagem estão mostrados na Figura 4.2. Verifica-se que a velocidade inicial de

Tabela 4.1. Resultados para ciclo de queima de 10 horas.

temperatura de queima	tipo de teste	teor de cinza na mistura (% em peso)					
		0	10	20	30	40	50
750°C	PF(%)	4.87	5.12	5.21	5.09	5.03	4.86
	Rq(%)	-0.38	-0.30	-0.43	-0.29	0.00	-0.09
	RCq	19.26	15.56	13.36	9.75	6.46	4.45
	AA(%)	15.45	16.93	18.34	20.39	23.26	24.92
	MEa	1.851	1.749	1.664	1.568	1.465	1.405
	Pa(%)	28.59	29.59	30.52	31.98	34.08	35.01
	TSi	1.79	2.47	3.06	3.85	4.81	5.38
950°C	PF(%)	5.53	5.41	5.45	5.42	5.21	4.73
	Rq(%)	0.15	0.20	0.52	0.71	0.52	0.23
	RCq	18.22	15.60	10.99	10.28	6.92	5.70
	AA(%)	14.96	16.45	17.47	18.35	22.34	24.34
	MEa	1.862	1.768	1.691	1.626	1.486	1.419
	Pa(%)	27.84	29.07	29.54	29.81	33.20	34.53
	TSi	3.42	4.09	5.22	5.60	6.40	6.36
1050°C	PF(%)	5.56	5.49	5.39	5.24	5.09	5.00
	Rq(%)	0.34	0.76	0.98	1.75	1.68	2.63
	RCq	14.47	12.59	13.06	12.53	7.83	7.38
	AA(%)	13.80	14.36	14.96	15.11	19.93	19.71
	MEa	1.887	1.810	1.738	1.681	1.535	1.530
	Pa(%)	26.03	25.98	25.99	25.36	30.58	30.08
	TSi	4.34	5.47	5.77	6.03	7.54	7.28
*950°C	PF(%)	5.47	5.03	4.63	4.23	3.66	3.23
	Rq(%)	0.00	0.14	0.63	0.93	0.74	0.23
	RCq	17.37	17.77	13.64	11.06	7.86	5.59
	AA(%)	15.55	16.11	16.65	18.01	22.53	24.92
	MEa	1.840	1.778	1.714	1.637	1.498	1.409
	Pa(%)	28.60	28.64	28.53	29.48	33.74	35.11
	TSi	3.63	3.78	4.80	5.52	5.32	6.12

\* cinza volante

Nota: Rq - retração após queima

RCq - resistência à compressão após queima(MPa)

AA - absorção de água

MEa - massa específica aparente(g/cm<sup>3</sup>)

Pa - porosidade aparente

TSi - taxa de sucção inicial(Kg/mm<sup>2</sup>.min)

Tabela 4.2. Resultados para ciclo de queima de 22 horas.

temperatura de queima	tipo de teste	Teor de cinza na mistura (% em peso)					
		0	10	20	30	40	50
750°C	PF(%)	4.96	4.93	4.86	4.81	4.66	4.29
	Rq(%)	-0.40	-0.29	-0.29	-0.024	-0.24	-0.17
	RCq	18.64	16.29	12.02	8.96	6.26	3.81
	AA(%)	15.91	16.99	18.63	20.70	22.79	24.95
	MEa	1.837	1.751	1.660	1.568	1.490	1.412
	Pa(%)	29.23	29.75	30.92	32.46	33.97	35.23
	TSi	2.28	2.73	3.20	4.06	4.52	5.35
950°C	PF(%)	6.12	6.02	5.91	5.82	5.64	5.51
	Rq(%)	0.07	0.27	0.58	0.81	0.55	0.24
	RCq	18.31	15.53	11.03	9.50	7.65	6.22
	AA(%)	14.82	15.93	17.23	18.71	21.90	24.23
	MEa	1.870	1.788	1.703	1.625	1.501	1.430
	Pa(%)	27.72	28.45	29.33	30.41	32.86	34.64
	TSi	3.40	4.01	5.13	5.76	5.93	6.10
1050°C	PF(%)	5.82	5.66	5.57	5.42	5.24	5.04
	Rq(%)	0.77	0.90	1.42	1.89	1.75	1.59
	RCq	15.82	12.77	11.18	10.29	6.82	5.84
	AA(%)	12.72	14.83	15.55	16.44	20.31	22.49
	MEa	1.909	1.804	1.729	1.673	1.531	1.461
	Pa(%)	24.27	26.75	26.87	27.48	31.08	32.84
	TSi	5.00	5.64	6.40	6.57	7.68	7.40
*950°C	PF(%)	5.79	5.49	5.09	4.60	4.17	3.61
	Rq(%)	0.27	0.80	1.05	0.78	0.60	0.23
	RCq	29.32	20.76	16.72	12.11	7.51	4.43
	AA(%)	14.40	14.42	15.81	18.32	21.49	24.71
	MEa	1.914	1.860	1.771	1.654	1.528	1.422
	Pa(%)	27.57	26.82	28.00	30.29	32.84	35.14
**950°C	PF(%)	5.77	5.65	5.56	5.51	5.26	5.12
	Rq(%)	0.33	0.58	0.55	0.85	0.59	0.24
	RCq	14.54	10.55	7.49	5.47	4.66	4.22
	AA(%)	15.93	17.86	19.55	21.08	23.42	25.90
	MEa	1.822	1.710	1.639	1.561	1.481	1.397
	Pa(%)	29.02	30.55	32.04	32.88	34.67	36.18
	TSi	4.71	5.87	6.52	7.22	7.28	6.99

\*cinza volante

\*\*teor de umidade = 8%

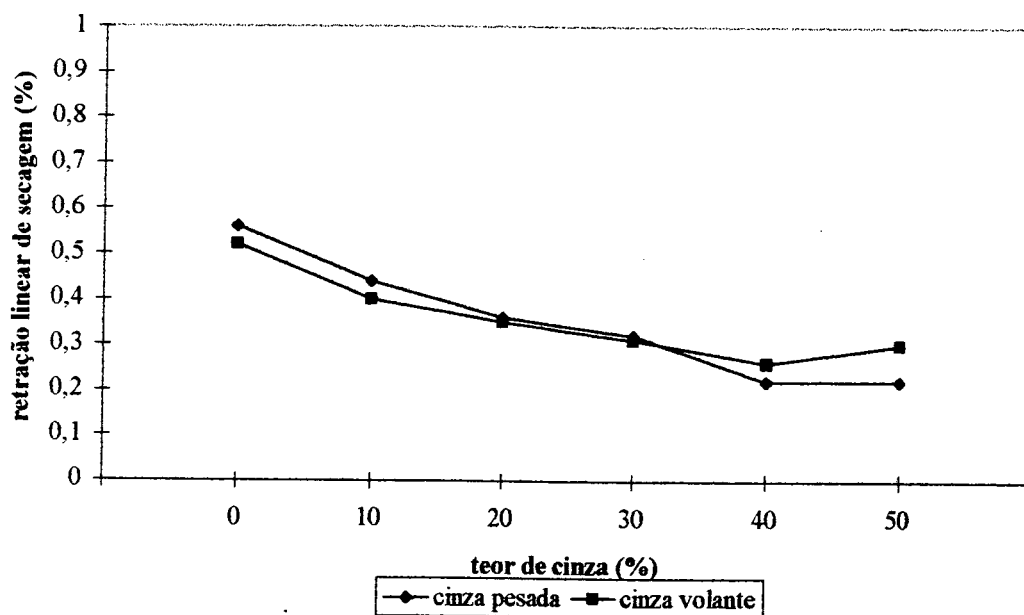


Figura 4.1 - Influência do tipo e teor de cinza na retração linear de secagem.

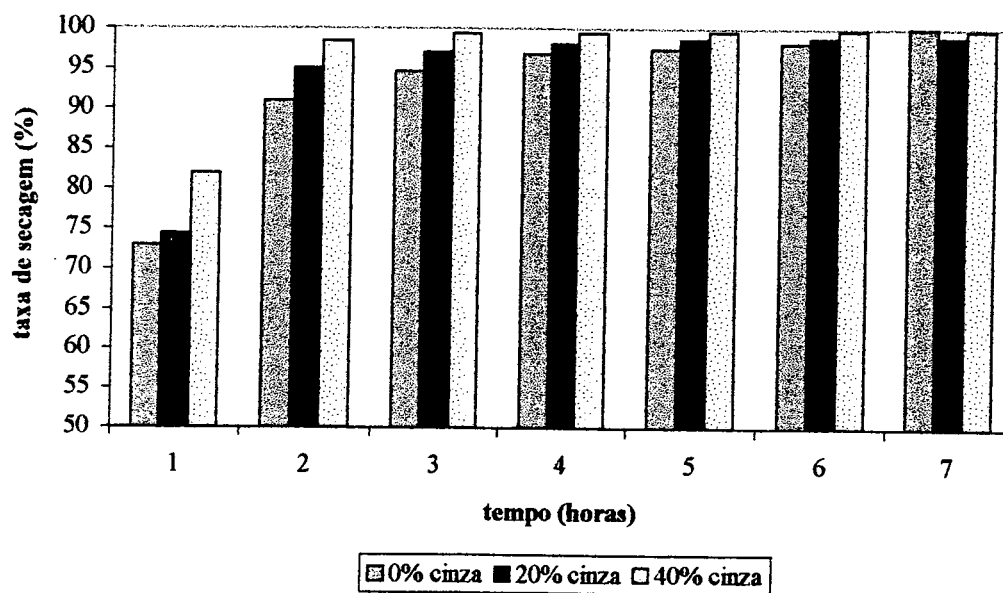


Figura 4.2 - Relação entre a taxa de secagem e o teor de cinza.

secagem é muito mais rápida para as amostras com maior teor de cinza. A amostra com 40% de cinza atingiu quase 98% da secagem em apenas 4 horas, enquanto para as amostras de argila pura o tempo para a secagem total foi de cerca de 7 horas.

#### 4.3. Perda ao Fogo

A perda ao fogo, conforme Figura 4.3, diminui com o acréscimo do teor de cinza. Os menores valores de perda ao fogo foram obtidos para a temperatura de queima de 750°C, aumentando para as temperaturas de queima de 950°C e 1050°C.

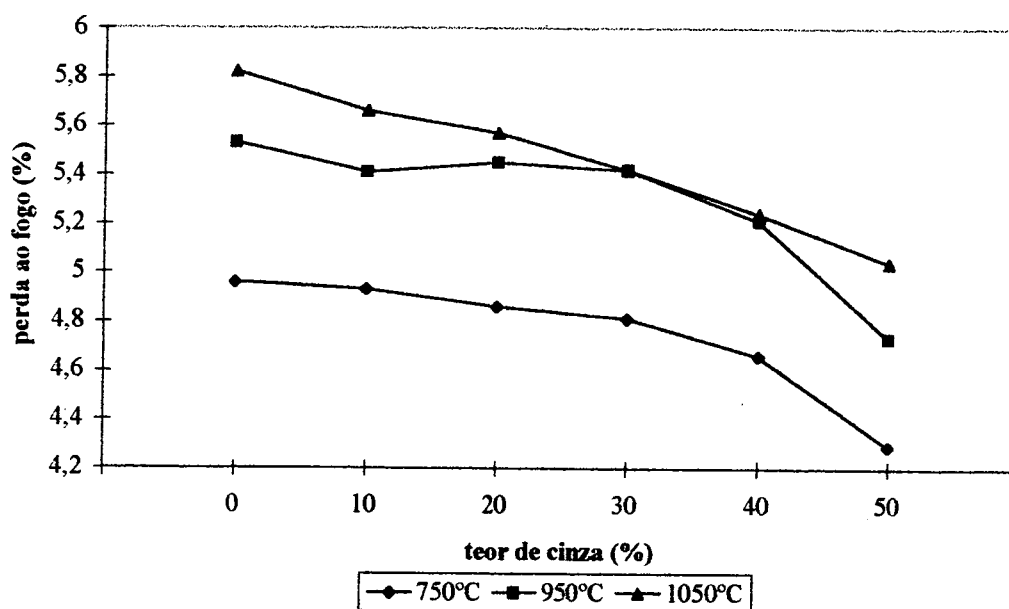


Figura 4.3 - Influência da temperatura de queima e do teor de cinza na perda ao fogo.

#### 4.4. Retração à Queima

O efeito da temperatura de queima foi significativo para a retração à queima do material. As amostras à menor temperatura deram consistentemente valores menores de retração (Figura 4.4). As amostras queimadas à 750°C mostraram pequena expansão ao invés de retraírem. Este comportamento é confirmado pela literatura que indica uma expansão da argila quando a temperatura de queima encontra-se entre 500°C e 800°C. Por outro lado, a figura mostra que, para a temperatura de queima de 1050°C a retração à queima aumenta com o acréscimo do teor de cinza, enquanto permanece relativamente constante para as temperaturas de queima de 750°C e 950°C.

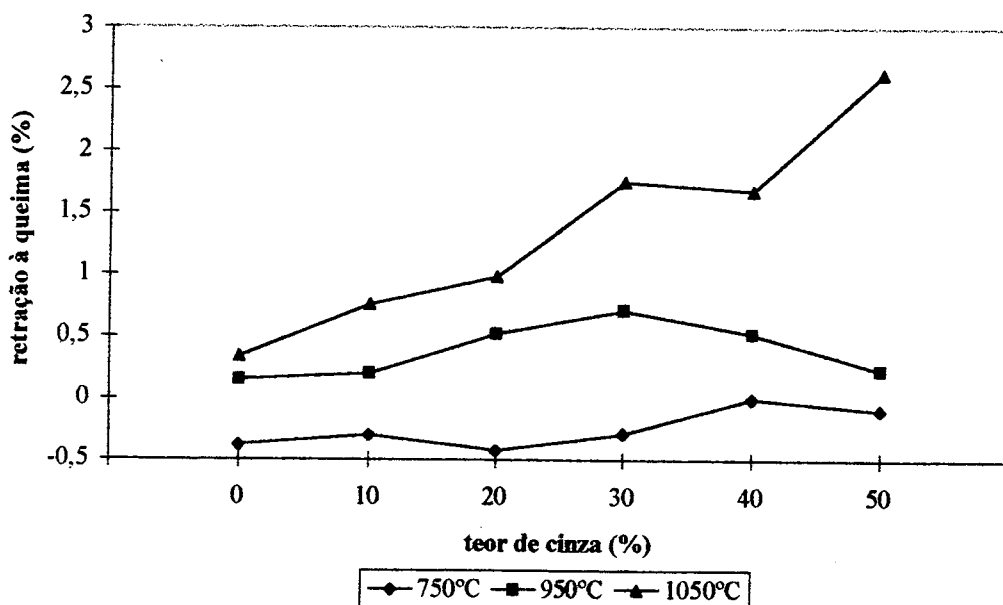


Figura 4.4 - Influência da temperatura de queima e do teor de cinza na retração após queima.

#### 4.5. Resistência à Compressão

O gráfico da Figura 4.5 mostra a variação da resistência à compressão para os diferentes teores de cinza e temperaturas máximas de queima. Observa-se que há redução da resistência à compressão com o aumento do teor de cinza. No entanto, todos os valores obtidos estão acima dos valores mínimos recomendados pela norma brasileira para tijolo maciço (NBR 7170/1983).

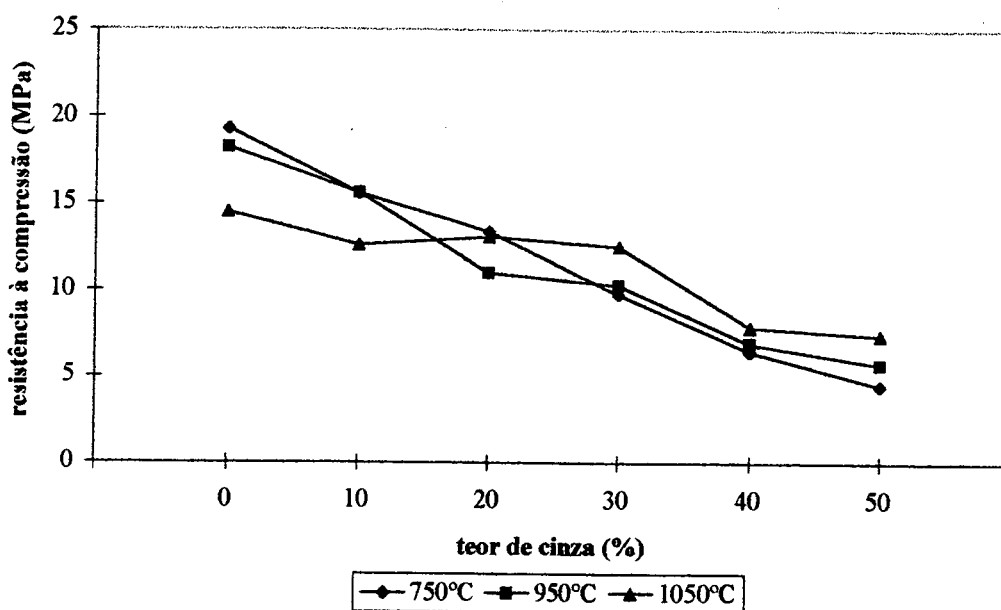


Figura 4.5 - Influência da temperatura de queima e do teor de cinza na resistência à compressão.

A Tabela 4.3 mostra os valores médios de resistência à compressão e a análise estatística básica para os diferentes ciclos e temperatura de queima. As Tabelas 4.4 e 4.5 mostram a análise de variância realizada para verificação da influência do ciclo e da temperatura de queima respectivamente na resistência à compressão.

Tabela 4.3 - Valores de resistência à compressão e análise estatística básica para os diferentes ciclos e temperaturas de queima.

temperatura de queima	ciclo de queima	teor de cinza	resistência à compressão (MPa)		
			média (MPa)	desvio padrão (MPa)	coeficiente de variação (%)
750°C	10 horas	0	19.26	1.41	7.32
		30	9.75	0.58	5.95
		50	4.45	0.45	10.11
	22 horas	0	18.64	1.01	5.42
		30	8.96	0.51	5.69
		50	3.81	0.11	2.89
950°C	10 horas	0	18.22	1.09	5.98
		30	10.27	1.07	10.42
		50	5.70	0.35	6.14
	22 horas	0	18.31	2.74	14.96
		30	9.50	0.70	7.37
		50	6.22	0.43	6.91
1050°C	10 horas	0	14.47	1.22	8.43
		30	12.53	4.18	33.36
		50	7.38	0.95	12.87
	22 horas	0	15.82	0.39	2.47
		30	10.29	1.27	12.34
		50	5.84	0.96	16.44

Observa-se que para 750°C as amostras são diferentes estatisticamente apenas para teor de cinza de 50%. Neste caso, obteve-se maior resistência à compressão para o ciclo de 10 horas. Isto pode ser explicado, pelo fato de que em ciclos maiores há um maior consumo das partículas de carvão não queimado existente na



mistura, com conseqüente aumento de porosidade que causa decréscimo da resistência.

Tabela 4.4 - Valores de F calculado e tabelado para um nível de probabilidade de 95% para os diferentes ciclos de queima.

temperatura de queima	teor de cinza (%)	Fcalc	Ftab
750°C	0	0.65	5.32
	30	5.13	
	50	9.27	
950°C	0	0.00	5.32
	30	1.84	
	50	4.34	
1050°C	0	5.59	5.32
	30	1.31	
	50	6.46	

Tabela 4.5 - Valores de F calculado e tabelado para as diferentes temperaturas de queima.

ciclo de queima	temperaturas comparadas	teor de cinza (%)	Fcalc	Ftab
10 horas	750°C	0	20/52	3.89
	950°C	30	1.73	
	1050°C	50	26.25	
	750 e 950°C	0	1.71	5.32
22 horas	750°C	0	4.11	3.89
	950°C	30	2.84	
	1050°C	50	22.66	
	950 e 1050°C	50	0.66	5.32

Para a temperatura de queima de 950°C não se observou diferenças significativas entre os dois ciclos de queima, não havendo ganho de resistência com o acréscimo das horas de queima.

Já para a temperatura de 1050°C observa-se variação nos resultados para diferentes ciclos de queima. No caso de argila pura houve um pequeno ganho de resistência com o ciclo de 22 horas, obtendo-se resultado inverso com as amostras onde adicionou-se 50% de cinza.

Em relação à temperatura de queima observa-se na Tabela 4.5 que para as amostras de argila pura ocorre uma diferença significativa estatisticamente para ambos os ciclos. Neste caso obteve-se maior resistência à compressão para as amostras queimadas à 750°C, seguida pela de 950°C e 1050°C. Já a comparação entre as temperaturas de 750°C e 950°C não mostrou diferença significativa. Este resultado pode ser explicado pelo fenômeno de requeima e pela qualidade da argila. Esta, não sendo apropriada para fabricação de material de alta resistência não apresentou ganho com o aumento da temperatura. Estes valores explicam-se pela ocorrência do fenômeno da superqueima, quando a temperatura excede a temperatura específica ótima de cozimento.

Para as amostras com adição de cinza, o aumento da temperatura não implicou em ganhos significativos na resistência do produto para 30% de cinza. Por outro lado, as amostras com adição de 50% mostraram maior resistência à compressão para a temperatura de 1050°C para o ciclo de 10 horas, não diferindo da temperatura de 950°C no ciclo de 22 horas. Neste, a resistência para a temperatura de 950°C aumentou em relação ao ciclo de 10 horas, enquanto a de 1050°C diminuiu.

#### 4.6. Taxa de Sucção Inicial

A Figura 4.6. mostra a influência do teor de cinza na taxa de sucção inicial do material. Observa-se que esta aumenta com o acréscimo de cinza na mistura. Além disto, os valores obtidos são bastante elevados, muito acima do valor máximo recomendado de  $1.5 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}$ .

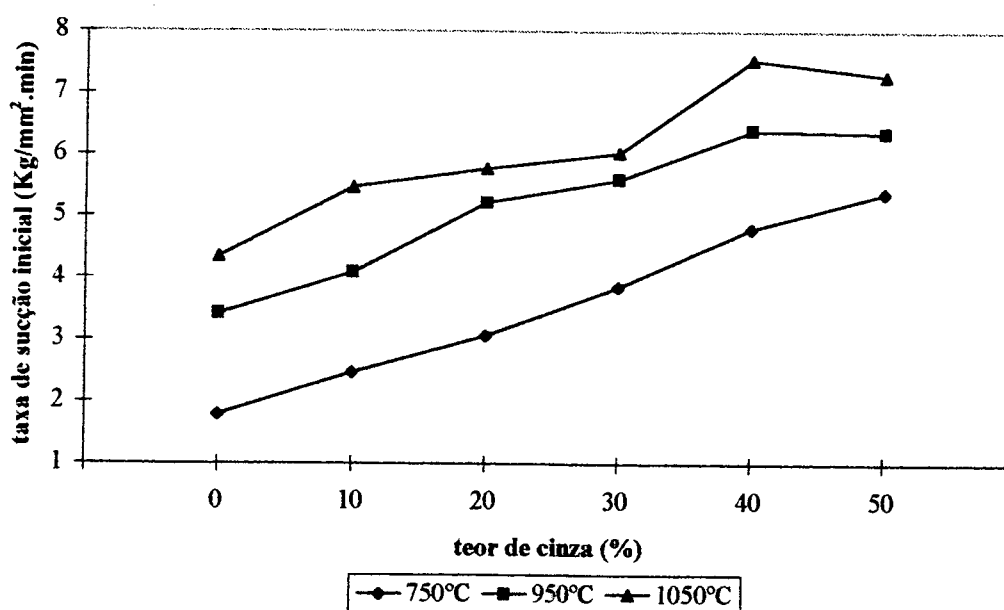


Figura 4.6 - Influência da temperatura de queima e do teor de cinza na taxa de sucção inicial.

Observa-se também que a temperatura de queima influi consideravelmente na taxa de sucção inicial, com maior valor para a temperatura de queima de  $1050^\circ\text{C}$ .

Os elevados valores de taxa de sucção podem ser explicados, em parte, pelo formato e dimensões do corpo de prova,

que fizeram com que a superfície em contato com a água fosse, em porcentagem, bem maior do que a observada para um tijolo comum.

#### 4.7. Absorção de Água

Na Figura 4.7 observa-se que a absorção de água aumenta com a adição de cinza. Para teores de adição de cinza maiores que 20% a absorção de água atingiu valores acima de 15%. Para esta variável, observa-se ainda que a temperatura máxima de queima tem bastante influência, diminuindo a absorção com o aumento da temperatura de queima.

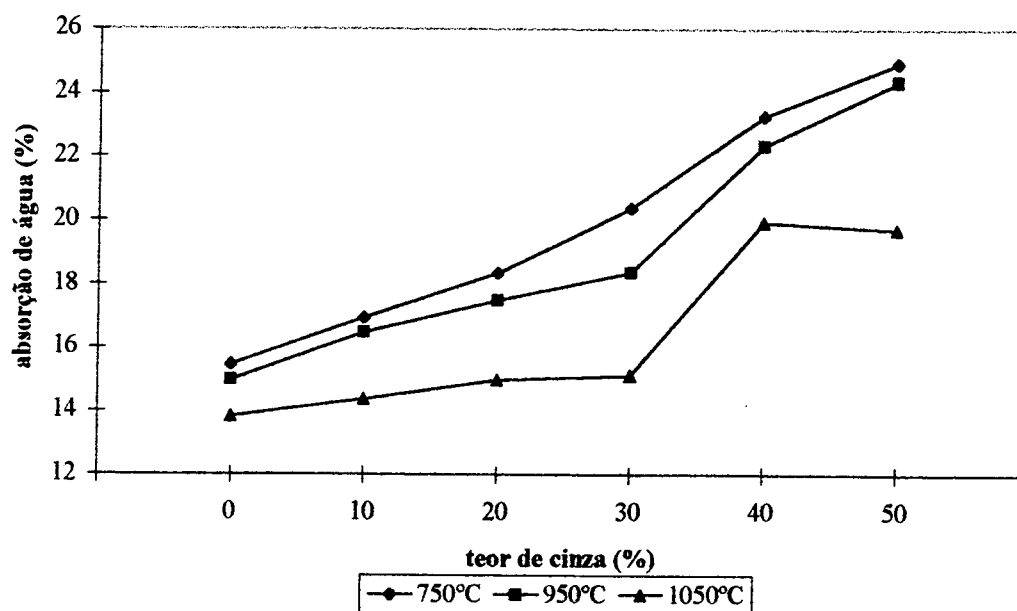


Figura 4.7 - Influência da temperatura de queima e do teor de cinza na absorção de água.

Este resultado, é aparentemente contraditório com o obtido para a taxa de sucção inicial que aumenta com o acréscimo da

temperatura. Neste caso, pode-se concluir que a diminuição da porosidade que ocorre com o aumento da temperatura de queima é acompanhado por um aumento da tensão de capilaridade superficial.

#### 4.8. Porosidade Aparente

O efeito da temperatura de queima foi significativo para a porosidade do material. As amostras à menor temperatura deram altos valores de porosidade (Figura 4.8). Contudo, embora o material tenha mostrado elevada porosidade, o resultado pode ter sido afetado pelo tamanho e forma dos corpos de prova utilizados.

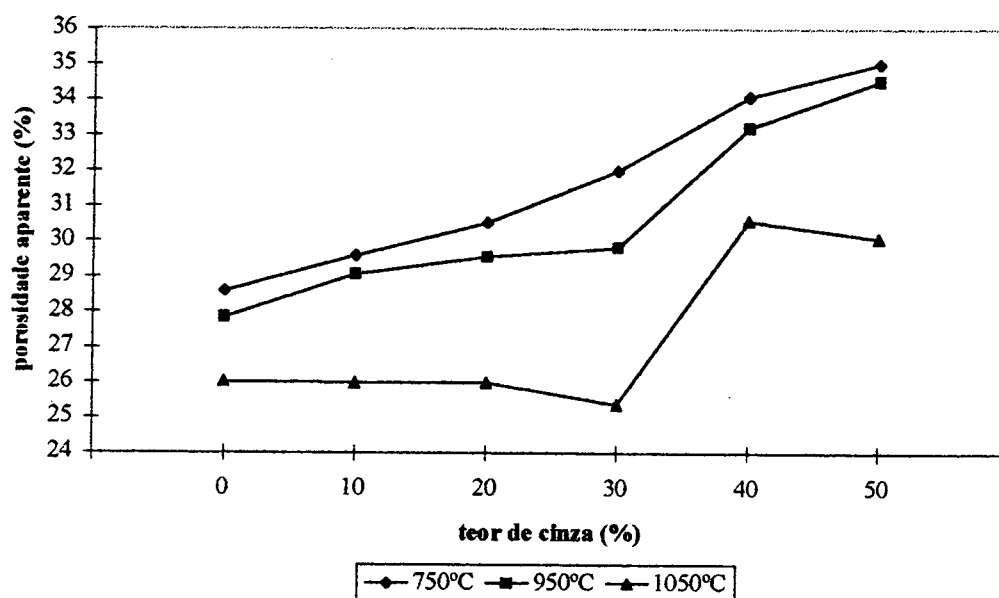


Figura 4.8 - Influência da temperatura de queima e do teor de cinza na porosidade aparente.

#### 4.9. Massa Específica Aparente

O efeito da adição de cinza na massa específica aparente pode ser observado na Figura 4.9. Coerentemente com a ampliação do volume de materiais menos densos, as amostras com maior teor de cinza apresentaram menores valores de massa específica aparente. Por outro lado, os valores de massa específica aparente não sofreram grandes alterações frente às modificações do teor de cinza para as diferentes temperaturas de queima.

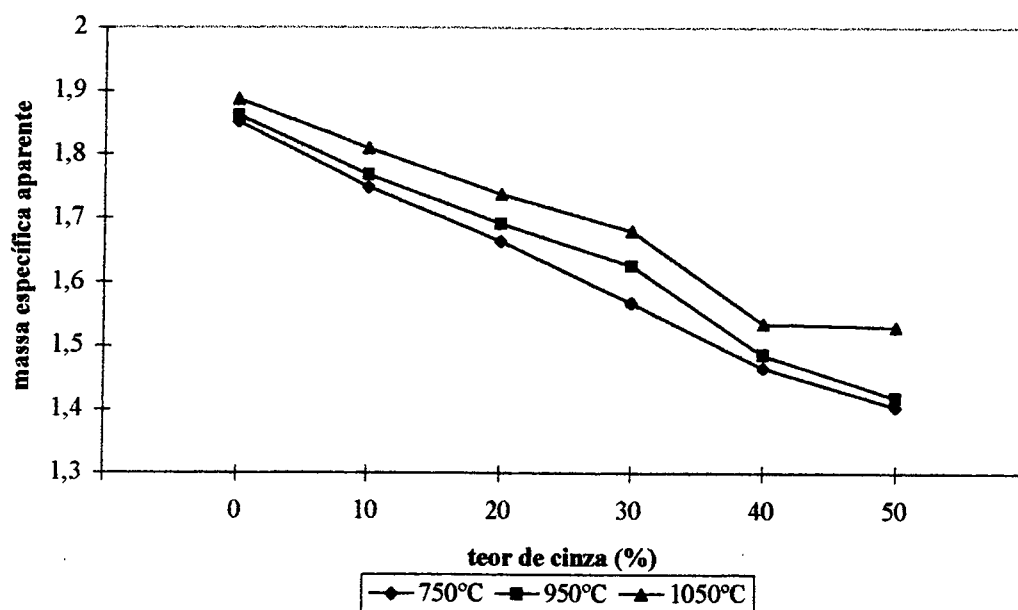


Figura 4.9 - Influência da temperatura de queima e do teor de cinza na massa específica aparente.

#### 4.10. Influência do Tipo de Cinza na Fabricação do Material Cerâmico

As Tabelas 4.6 e 4.7. mostram a influência do tipo de cinza, volante ou pesada, utilizado na resistência à compressão dos materiais fabricados. Observa-se que apenas para o teor de cinza de 20% ocorre diferença estatisticamente significativa, sendo que nos demais, o tipo de cinza não influenciou na resistência à compressão das amostras. A Figura 4.10 mostra esta pequena variação nos valores de resistência à compressão das amostras de cinza pesada e cinza volante queimadas a uma temperatura de 950°C. A resistência à compressão diminui com o aumento de adição de ambas as cinzas.

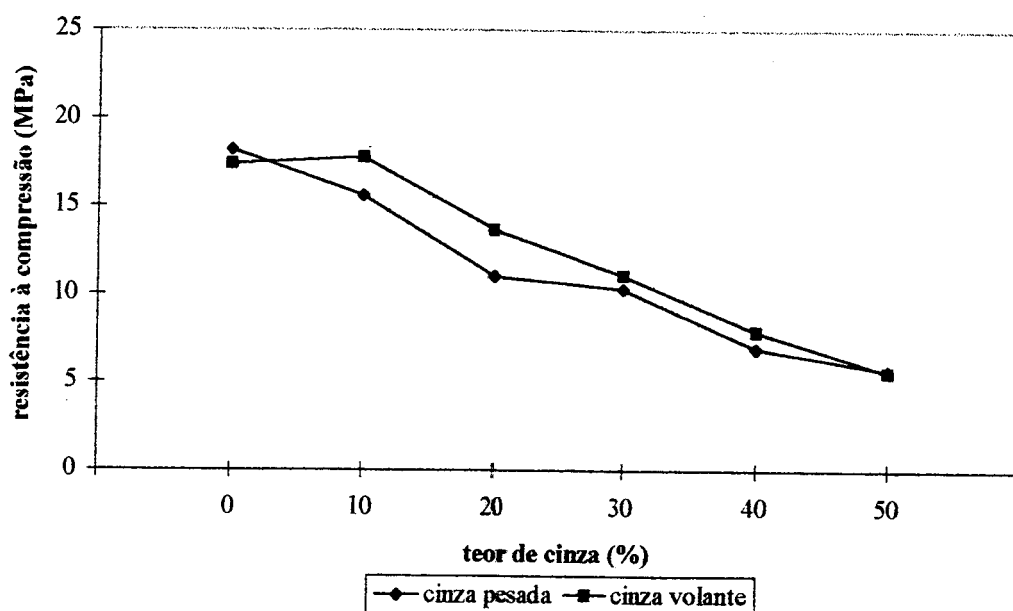


Figura 4.10 - Influência do tipo e teor de cinza na resistência à compressão.

Tabela 4.6 - Valores médios de resistência à compressão obtidos para as cinzas volante e pesada.

tipo de cinza	teor de cinza (%)	resistência à compressão (MPa)		
		média (MPa)	desvio padrão (MPa)	coeficiente de variação (%)
cinza volante	0	17.37	3.85	22.16
	20	13.64	1.37	10.04
	30	11.06	0.50	4.52
	50	5.59	0.29	5.19
cinza pesada	0	18.22	1.09	5.98
	20	10.98	1.11	10.11
	30	10.27	1.07	10.42
	50	5.68	0.34	5.99

Tabela 4.7 - Valores de F calculado e tabelado para a cinza volante e a cinza pesada.

teor de cinza (%)	F <sub>calc</sub>	F <sub>tab</sub>
0	0.23	5.32
20	11.30	
30	2.22	
50	0.23	

As Tabelas 4.8 e 4.9 mostram a influência do tipo de cinza na absorção de água. Observa-se que não há diferença estatisticamente.



Tabela 4.8 - Valores de absorção de água e análise estatística básica para as cinzas volante e pesada.

tipo de cinza	teor de cinza (%)	absorção de água (%)		
		média (%)	desvio padrão (%)	coeficiente de variação (%)
cinza volante	0	15.55	0.34	2.19
	20	16.65	0.69	4.14
	30	18.01	0.64	3.55
	50	24.92	0.63	2.53
cinza pesada	0	14.96	0.54	3.61
	20	17.47	0.42	2.40
	30	18.35	0.73	3.98
	50	24.34	0.40	1.64

Tabela 4.9 - Valores de F calculado e tabelado para as cinzas volante e pesada.

teor de cinza (%)	F <sub>calc</sub>	F <sub>tab</sub>
0	4.23	5.32
20	5.15	
30	0.59	
50	3.02	

As Tabelas 4.10 à 4.13 mostram os valores e a análise estatística para a porosidade aparente e a taxa de sucção inicial respectivamente. Nestas, pode-se também verificar que não há diferença significativa entre as amostras fabricadas com diferentes tipos de cinza.

Tabela 4.10 - Valores de porosidade aparente e análise estatística básica para as cinzas volante e pesada.

tipo de cinza	teor de cinza (%)	porosidade aparente (%)		
		média (%)	desvio padrão (%)	coeficiente de variação (%)
cinza volante	0	28.61	0.65	2.27
	20	28.53	0.90	3.15
	30	29.49	0.72	2.44
	50	35.11	0.71	2.02
cinza pesada	0	27.85	0.83	2.98
	20	29.54	0.52	1.76
	30	29.81	0.91	3.05
	50	34.53	0.25	0.72

Tabela 4.11 - Valores de F calculado e tabelado para as cinzas volante e pesada.

teor de cinza (%)	Fcalc	Ftab
0	2.62	5.32
20	4.75	
30	0.39	
50	3.03	

Tabela 4.12 - Valores de taxa de sucção inicial e análise estatística básica para as cinzas volante e pesada.

tipo de cinza	teor de cinza(%)	taxa de sucção inicial (Kg/mm <sup>2</sup> .min)		
		média (Kg/mm <sup>2</sup> .min)	desvio padrão (Kg/mm <sup>2</sup> .min)	coeficiente de variação (%)
cinza volante	0	3.63	0.78	21.49
	20	4.80	0.45	9.38
	30	5.52	0.55	9.96
	50	6.12	0.80	13.07
cinza pesada	0	3.42	0.43	12.57
	20	5.22	0.61	11.69
	30	5.60	0.32	5.71
	50	6.36	0.57	8.96

Tabela 4.13 -Valores de F calculado e tabelado para as cinzas volante e pesada.

teor de cinza (%)	Fcalc	Ftab
0	0.26	5.32
20	1.53	
30	0.08	
50	0.29	

## **CAPÍTULO V**

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O trabalho buscou a verificação da possibilidade técnica do uso de cinza pesada de usinas termoelétricas misturada na argila para a fabricação de material cerâmico.

Para tal usou-se cinza pesada do complexo termelétrico Jorge Lacerda de Tubarão, Santa Catarina e argilas coletadas de olarias próximas à usina. Foram igualmente fabricados corpos de prova com argila e cinzas volantes para comparação.

Corpos de prova cilíndricos de 34,4 mm x 36,5 mm foram moldados por prensagem, secos em estufa no laboratório e queimados. Durante o processo experimental foram usados 2 ciclos diferentes de queima e 3 diferentes temperaturas máximas.

As amostras foram ensaiadas em relação às seguintes características físicas e mecânicas:

- . retração linear de secagem
- . taxa de secagem
- . perda ao fogo

- . retração à queima
- . massa específica aparente
- . porosidade aparente
- . taxa de sucção inicial
- . absorção de água em 24 horas a frio
- . resistência à compressão

Os resultados dos ensaios permitem as seguintes conclusões:

1. O uso de cinza mostrou a ocorrência de menor retração do corpo de prova durante a secagem. Considerando que nas cerâmicas da região, a secagem se dá geralmente de forma natural e, portanto, sem possibilidade de controle da velocidade de secagem, este resultado mostra-se bastante importante. O uso de cinza na argila possibilitará a diminuição de ocorrência de fissuras e deformações no produto acabado.
2. O uso de cinzas, além disso, causou uma aceleração do tempo de secagem com menor retração, o que igualmente aparece como vantagem nas condições operacionais de produção das olarias da região.
3. A adição de cinza fez com que o ciclo de queima e a temperatura de cozimento tivessem pequena diferença nas características mecânicas do material. A temperatura máxima de queima mostrou-se

significante apenas na retração à queima e para a porosidade do material. Corpos de prova queimados em temperaturas mais baixas produziram consistentemente menores valores de retração e maiores valores de porosidade. Espécimens cozidos a 750 °C apresentaram pequena expansão em vez de retração.

4. A possibilidade de se fazer a queima com menores temperaturas e ciclos mais curtos poderá proporcionar grande economia de material energético.
5. O tipo de moldagem pode ter influenciado os resultados. O uso de equipamentos de extrusão permitiria o uso de maiores teores de umidade com provável melhora dos resultados.
6. A adição de cinza ocasiona aumento na porosidade e absorção, com conseqüente redução da massa específica aparente do material cerâmico. Este resultado confere ao material ganho nas propriedades térmicas, além de ocasionar menor peso por metro linear de parede.
7. Por outro lado, esta maior porosidade ocasiona também o aparecimento de maiores taxas de sucção inicial e menores valores de resistência à compressão. Em relação à taxa de sucção inicial, os altos valores encontrados podem ter sido influenciados pela forma do corpo de prova usado. Quanto à resistência à compressão, embora a redução, os valores mantiveram-se dentro das especificações das normas da ABNT. Considerando que o tipo de material produzido na região é utilizado apenas para paredes de vedação, esta característica mecânica diminui de importância.
8. Os resultados de resistência à compressão não conferem com os observados na literatura. A explicação pode estar no fato de ter-se

usado uma argila não adequada a fabricação de material cerâmico de grande resistência.

9. Os resultados mostraram que não houve praticamente diferença entre as amostras fabricadas com cinza volante e aquelas com cinza pesada. Pode-se concluir que esta última também pode ser usada misturada na argila para a fabricação de produtos cerâmicos.

Levando-se em consideração as conclusões acima, pode-se concluir que o uso de cinza pesada misturada na argila para a fabricação de produtos cerâmicos é viável e aparece como uma boa alternativa para as indústrias das regiões carboníferas. Da mesma forma, aparece como uma alternativa econômica e eficiente para a diminuição dos problemas de poluição da região.

Para a efetiva utilização deste processo, no entanto, recomenda-se ainda o desenvolvimento dos seguintes trabalhos:

- . Desenvolvimento de testes de laboratório utilizando-se o processo de extrusão para a moldagem;
- . Análise mais detalhada da cinza para a verificação da existência ou não de componentes que possam ocasionar problemas patológicos na alvenaria, tais como sulfatos;
- . Fabricação de blocos cerâmicos em olaria da região para verificar a viabilidade do processo na prática;
- . Verificação da possibilidade da utilização de cinza na fabricação de telhas, devido ao aumento de porosidade que ocasiona;



. Estudo da viabilidade econômica da utilização de cinzas na fabricação de materiais cerâmicos. Alguns aspectos que deverão ser considerados são a redução dos gastos com energia, desgaste das marombas, aumento de velocidade de produção, distância da olaria ao ponto de coleta de cinza, custo da cinza, etc.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Solo - determinação do limite de plasticidade*. NBR 7180 (MB-31). Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Tijolo maciço cerâmico para*. NBR 7170. Rio de Janeiro, 1983a.
- American Society for Testing and Materials. *Test for specific gravity and absorption of fine aggregate*. ASTM C 127-77.
- American Society for Testing and Materials. *Standard methods of sampling and testing brick and structural clay tile*. ASTM C 67-83.
- BARBER, E. G., JONES, G. T., KNIGHT, P. G. K. & MILES, M. H. *PFA Utilization*. Central Electricity Generating Board, 1976.
- British Standards Institution. *Specifications for clay bricks and blocks*. BS 3921, London, 1985.
- BROOKS, J. J., CABRERA, J. G. E EL-BADRI, M. *Properties of Clay/PFA bricks*. Proceedings of 8th International Brick/Block Masonry Conference, Dublin, Ireland, september, 1988, pp. 64-74.

- CABRERA, J. G. e STENTIFORD, E. I. *Le proprietà dei mattoni fabbricati con ceneri di combustibile solido polverizzato e depositi di fognatura*. Refrattari e Laterezi, set./out., nº 71, 1984, pp. 227-34.
- CIENTEC. *Cerâmica estrutural, fundamentos tecnológicos e industriais*. Fundação de Ciência e Tecnologia, vol. 1, Porto Alegre, s/d.
- DAY, R. L. E BERGMAN, J. W. *Fly Ash as a Substitute for Clay in Brick Manufacture*. Proceedings of 8th International Brick/Block Masonry Conference, Dublin, Ireland, september, 1988, pp. 14-25.
- FABER, J. H. e SLONAKER, J. F. *An overview of the fly ash brick process using bituminous and lignite coal ashes*. In.: Council for Scientific and Industrial Research. Ash, a value resource, CSIR conference centre, v. 3, Pretoria, 2-6 February, 1987.
- GUEDERT, L. O. *Estudo da viabilidade técnica e econômica do aproveitamento da cinza de casca de arroz como material pozolâmico*. Dissertação de Mestrado, PPGEP/UFSC, Florianópolis, 1989.
- GOTHE, C. A. *Sistemas de controle e disposição final das cinzas do complexo termelétrico Jorge Lacerda - SC e da usina termelétrica de Jacuí - RS*. Anais do I e II Seminário de Aplicação dos Resíduos de Combustão do Carvão Mineral. Florianópolis, 1989.
- HENDRY, A. W. *Structural brickwork*. MacMillan, London, 1983.

- HENDRY, A. W., SINHA, B. P. & DAVIES, S. R. *An introduction to load bearing brickwork design*. Ellis Harwood Ltd, Chichester, 1981.
- IOSHIMOTO, E. e THOMAZ, E. *Materiais cerâmicos para construção civil*. Apostila do Departamento de Engenharia de Construção Civil, EPUSP, São Paulo, 1987.
- IPT. *Manual de procedimentos para a indústria de cerâmica vermelha*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 1986. (Relatório nº 24.422).
- MORGADO, A. F. *Caracterização cerâmica de algumas argilas e caulins de Santa Catarina*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1993.
- MOULTON, L. K. *Bottom ash and boiler slag*. Proceedings of third International Ash Utilization Symposium, Pittsburg, USA, 1973.
- NAVARRO, J. E., ALBARO, J. L. A. e FUSTER, M. M. *Tecnologia Cerâmica*. 2º volume, Universidade de Valência, Valência, 1985.
- OLIVEIRA, S. M. *Avaliação dos blocos e tijolos cerâmicos do Estado de Santa Catarina*. Dissertação de Mestrado, PPGEP/UFSC, Florianópolis, 1993.
- ROMAN, H. R. *Determinação das Características Físicas e Análise Estatística da Capacidade Resistente de Tijolos Cerâmicos*

- Maciços*. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS, Porto Alegre, 1983.
- SANTOS, P. S. *Ciência e Tecnologia de Argilas*. vol. 1, Ed. Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1989.
- SCHNEIDER, R. R., & DICKEY, W. L., 1980. *Reinforced Masonry Design*. Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1980.
- SECTE. *Diagnóstico do setor de cerâmica vermelha em Santa Catarina*. Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia das Minas e Energia do Estado de Santa Catarina. Florianópolis, 1990.
- SULTAN, H. A., QAQISH, S.S. E FATANI, M. N. *Stabilized copper mill tailing and fly ash for brick manufacture*. In.: HALOW, J. S. & COVEY, J. N. The challenge of change; sixth International Ash Utilization Symposium Proceedings, v. 2, Nevada, 7-10 March, 1982.
- TAYLER, G. V. A. & SNEDDON, P. *Aspects of CFA utilization for brick manufacture*. In.: Council for Scientific and Industrial Research. Ash; a value resource, CSIR conference centre, vol. 3, Pretoria, 2-6 February, 1987.
- The potential structural brickwork*. Brick development association, Berkshine, 1984.

USAI, G. *Laterizi Leggeri Contenenti Ceneri Volanti*. Proceedings of 9th International Brick/Block Masonry Conference, Berlim, october, 1991, pp. 48-52.

VILLAR, V. S. *Perfil e perspectivas da indústria da cerâmica vermelha do sul de Santa Catarina*. Dissertação de Mestrado, PPGEP/UFSC, Florianópolis, 1988.