

# A Utilização do Rejeito Industrial Cerâmico - Chamote - como Fator de Qualidade na Fabricação de Elementos Cerâmicos: um Estudo Experimental

## (The Use of Industrial Ceramic Waste - Brick Powder - to Improve Product Quality in Ceramic Elements Manufacture: an Experimental Study)

*Francisco Ripoli Filho*

*Laboratório de Materiais de Construção Civil*

*Campus UFSM - Camobi - 97105-900 - Santa Maria - RS*

*Universidade Federal de Santa Maria*

### *Resumo*

Este trabalho descreve pesquisa desenvolvida sobre a fabricação de elementos cerâmicos, através da utilização de chamote adicionado à argila. Chamote pode ser definido como um subproduto proveniente de rejeitos de material cerâmico. O experimento envolveu a utilização de sete tipos de amostras obtidas em olaria próxima à UFSM, as quais serviram para estudar as seguintes variáveis: teor de umidade de moldagem, proporção das misturas, argila-base e temperatura de queima. As principais características físicas e mecânicas observadas foram: retração linear de queima, absorção de água, porosidade, massa específica aparente e sucção inicial. A partir dessas observações chegou-se às seguintes conclusões: a) possibilidade de utilizar o chamote homogeneizado na fabricação de elementos cerâmicos, desde que em proporção ideal e queimado a temperatura adequada; b) as tensões de ruptura e absorção de água obtidas estão de acordo com aquelas previstas pelas normas brasileiras; c) a adição de chamote à argila contribui potencialmente para o controle da retração. Por fim, verifica-se que a adição de chamote à argila permite o aproveitamento desse tipo de resíduo na fabricação de produtos de boa qualidade e contribui para reduzir a poluição ambiental.

### *Abstract*

This work describes a research carried out on the manufacture of ceramic elements through the addition of brick powder to clay. Brick powder can be defined as a waste resulted from processing of ceramic materials. That experiment was developed using seven different clay samples from pottery located in the surroundings of UFSM. This material was used to study the following variables: basic clay, proportion of each component of the mixture, moisture drift to the moulding and burning temperature. The main physical and mechanical characteristics observed were: drying linear retraction, rupture tension, fire damage, burning linear contraction, water absorption, porosity, apparent specific mass and starting suction. Results indicate that it is possible to add homogeneized brick powder to clay in order to manufacture ceramic elements in an ideal proportion and burnt at a suitable temperature. The rupture tension and water absorption results satisfy the requirements established by Brazilian rules, as well as brick powder addition controlled the retraction of the elements. Also, it can be concluded that the addition of brick powder to clay allows for a useful final destination to ceramic waste obtaining good quality products and avoiding environment pollution.

## **INTRODUÇÃO**

É chamada indústria de cerâmica vermelha, a indústria de blocos, tijolos, telhas, tubos, ladrilhos, elementos vazados e outros. As matérias-primas são constituídas por argilas plásticas (caulinito-ilíticas) cujos componentes principais são os argilominerais (silicatos hidratados de alumínio), matéria orgânica, óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio. São retiradas, geralmente, de margens de rios, lagos ou de várzeas [1].

No Brasil, a indústria oleira usa processos manuais ou mecânicos de moldagem que podem ser por prensagem ou

extrusão. As temperaturas de queima oscilam entre 850 °C e 1000 °C, dependendo do tipo de argila e do forno utilizado [2,3].

Na região sul do país, existem inúmeras indústrias de transformação. Verifica-se, na área de cerâmica, a fabricação de um grande volume de tijolos, blocos e telhas, e ao mesmo tempo percebe-se que há fabricação de produtos de pouca qualidade. Há escassez de pesquisas que possam identificar os problemas que aparecem tanto no desenvolvimento do processo de fabricação do material cerâmico, quase sempre artesanal, quanto no uso do mesmo [4,5].

Na região de Santa Maria (RS), as indústrias de materiais

de cerâmica vermelha, constituem um setor importante sob o ponto de vista sócio-econômico. A maioria das habitações da região é construída com tijolos e telhas, material este suprido, em grande parte, por olarias de pequeno porte funcionando com estrutura semi-artesanal [6].

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

- não são realizadas análises químicas ou físicas das argilas utilizadas;
  - não há controle na moldagem. A argila é colocada próxima à máquina de moldagem sem peneiramento para homogeneização dos grãos. A água é adicionada sem controle rígido de 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 por extrusão é feita, geralmente, em manobras horizontais de modelos obsoletos;
  - após a moldagem, os tijolos crus são colocados para secar em galpões cobertos, na maioria abertos, sem paredes. Este fato determina a impossibilidade de controle sobre a secagem pois esta fica sujeita a variações do clima, ventos, temperatura, umidade, etc.;
  - na secagem pode-se verificar nitidamente a falta de controle e de planejamento do processo de fabricação;
  - geralmente a queima é realizada em fornos intermitentes de tijolos, circulares e abobadados, com pequenas aberturas laterais onde é feito fogo. O esquentado é feito com lenha e para manter o fogo muitas olarias utilizam a casca de arroz.
- Como conseqüência dessas falhas e inadequação do sistema produtivo se verificam os seguintes problemas no setor:
- contribuição para o agravamento da degradação do meio ambiente;
  - irregularidades na atividade extrativa da lenha e argila usadas para a produção cerâmica;
  - uso inadequado da matéria-prima;
  - desperdício de energia;
  - má conformação do produto;
  - a qualidade do produto, muitas vezes, não satisfaz os padrões mínimos recomendáveis;
  - geralmente a qualidade fabricada não é a mesma durante todo o ano, havendo uma maior produção no verão do que no

inverno, ocasionando deficiência no abastecimento;

- as normas brasileiras, sobre cerâmica vermelha, mesmo muito brandas, quando comparadas com outros países, não são observadas, especialmente no que se refere às dimensões do produto [7a-7f, 8-10].

## EXPERIMENTAL

### 2.1 Materiais utilizados

Foram coletados para o programa experimental um tipo de argila BASE com a codificação de amostra "O" laminada e "OB" não laminada, quatro tipos de argila de ADIÇÃO codificadas de amostras "1", "2", "3" e "4" respectivamente, e REJEITOS de elementos cerâmicos moídos (denominado Chamote) codificados de amostra "5".

Foram estudadas dez misturas. Cinco misturas com a amostra-base A em proporções, em volume de 1/2 (I), 3/5 (II), 2/3 (III), 3/4 (IV) e 4/5 (V), com amostras de adição renumeradas de 1, 2, 3, 4 e 5, perfazendo um equivalente de vinte e cinco composições com esta amostra-base. Mais cinco misturas com a amostra base B pesquisada com as mesmas composições que a primeira, totalizando, no final, dez misturas com cinquenta tipos de composições.

A tabela I apresenta as argilas-base (A, B) e as argilas de adição (1, 2, 3, 4, 5) nas situações possíveis de composição.

### 2.2 - Queima dos corpos de prova

No procedimento de moldagem utilizou-se um molde com dimensões de (6,0x2,0x0,5) cm<sup>3</sup>, sob pressão de moldagem de 20 MPa.

Os corpos de prova secados a 110±5 °C foram queimados a 705 °C, 950 °C e 1050 °C. As queimas foram feitas em forno elétrico, com velocidade controlada de temperatura, tendo permanecido na temperatura máxima durante três horas, completando todo um ciclo de dez horas de queima: o resfriamento se deu naturalmente a noite até a temperatura ambiente [11,12].

Após o resfriamento, quando os corpos de prova já estavam na temperatura ambiente, foram pesados e medidos, sendo então guardados no dessecador. Com os valores obtidos determinou-se a retração de queima e a perda ao fogo [3].

Tabela I: Argilas e suas proporções volumétricas nas misturas.

Amostras Proporções	Argila-Base A ou B	Argilas de Adição				
		1	2	3	4	5
I	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
II	3/5	2/5	2/5	2/5	2/5	2/5
III	2/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3
IV	3/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4
V	4/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5

### 2.3 - Determinação das características físicas e mecânicas

Para todas as etapas da pesquisa analisou-se as seguintes características físicas e mecânicas: umidade de prensagem, contração linear de secagem, perda ao fogo, contração linear de queima, absorção de água, massa específica aparente, porosidade, sucção inicial, tensão de ruptura e contração linear total [7e-7f, 9, 10].

### 2.4 - Teste de Tukey

Serve para contrastar a diferença entre duas médias, entre

tratamentos.

Essa diferença é dada por:

$$\Delta = q \cdot \sqrt{\frac{s^2}{n}}$$

$\Delta$  = diferença entre duas médias

q = amplitude studentizada

s = desvio padrão

n = número de observações

Tabela II: Valores médios obtidos nos ensaios de contração linear total (CLT).

Base	Temperatura (°C)	Teor da argila base (%) em volume	Valores médios de contração linear total (%)				
			Mist. 1	Mist. 2	Mist. 3	Mist. 4	Mist. 5
<b>A</b>	750	50	4,5	9,4	3,7	7,3	3,0
		60	6,0	6,92	3,9	9,5	2,0
		67	5,9	7,0	7,3	9,8	5,1
		75	6,5	3,8	6,2	9,8	4,3
		80	6,0	9,8	6,3	10,4	6,4
	950	50	2,2	4,5	5,8	7,1	1,0
		60	6,1	3,4	3,4	4,6	1,6
		67	4,3	4,6	7,8	9,3	5,8
		75	4,8	5,5	5,0	7,0	6,5
		80	4,5	5,1	3,6	4,4	4,8
	1050	50	1,5	3,6	1,3	3,2	3,0
		60	3,2	2,3	3,0	4,3	0,3
		67	3,1	3,3	5,0	5,2	1,0
		75	3,7	4,7	4,2	3,6	4,9
		80	4,5	4,6	3,4	4,3	3,0
<b>B</b>	750	50	3,8	2,0	2,8	2,7	0,2
		60	2,2	2,9	3,4	2,5	0,5
		67	2,7	2,6	3,7	3,4	2,3
		75	3,3	2,5	3,1	4,5	1,3
		80	2,2	3,0	4,0	3,6	2,1
	950	50	3,8	3,6	4,6	5,5	1,1
		60	3,7	4,9	5,3	4,7	1,4
		67	4,8	4,3	5,3	5,9	2,6
		75	5,7	4,5	5,1	7,1	2,4
		80	3,2	5,0	5,7	5,8	3,6
	1050	50	7,4	8,1	7,4	6,6	2,6
		60	7,4	8,0	7,3	6,3	3,1
		67	6,8	7,5	7,3	7,1	4,8
		75	7,2	7,4	7,0	8,0	3,9
		80	6,3	6,9	7,7	6,8	3,7

Tabela III: Valores médios das variáveis avaliadas, coeficientes de variação (C.V.), teste de comparação e níveis de significância das amostras preparadas com argila base B e empregando-se temperatura de queima de 950°C.

Variável	Amostra	Médias	Teste Tukey	C.V. (%)	Nível Signif. $\alpha=5\%$
TR (Pa)	1	7,2234	A	10,965	0,00007
	4	7,1642	A		
	3	6,9200	A		
	2	6,1874	A		
	5	4,7126	B		
AA (%)	5	7,2234	A	7,774	0,000001
	4	7,1642	B		
	3	6,9200	B C		
	1	6,1874	C D		
	2	4,7126	D		
PP (%)	5	30,940	A	5,531	0,000001
	4	26,760	B		
	3	25,680	B		
	1	22,760	C		
	2	22,020	C		
MEA (kN/m <sup>3</sup> )	2	20,03	A	2,318	0,00944
	4	19,496	A		
	3	19,462	A		
	1	19,44	A		
	5	19,194	A		
CLT (%)	4	5,800	A	18,328	0,00001
	3	5,200	A B		
	2	4,460	A B		
	1	4,240	B		
	5	2,220	C		
SI (kN/m <sup>3</sup> )	5	16,760	A	9,941	0,00003
	4	13,912	B		
	3	12,844	B C		
	1	12,216	B C		
	2	11,208	C		

Todo e qualquer contraste entre as duas médias, que exceda o valor de  $\Delta$  é porque ocorreu uma diferença significativa ao nível de significância  $\alpha$ .

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 3.1 - Amostras e proporções

Inicialmente procurou-se identificar quais das argilas-base, se A ou B, e das temperaturas de queima, se 750 °C, 950 °C ou 1050 °C, apresentaram melhores resultados em relação às características físico-mecânicas ensaiadas. Verificou-se, por análise de variância que os resultados apresentam diferenças significativas e comparou-se as médias (variáveis avaliadas: tensão de ruptura, absorção, porosidade, massa específica aparente, contração linear total, sucção inicial) através do teste de Tukey com  $\alpha=0,05$ . Constatou-se que não houve interação entre temperatura e o tipo de argila.

Identificados e definidos os parâmetros argila-base e tempe-

Tabela IV: Análise de regressão linear para ajustes da mistura cinco - Equação ajustada  $y = a + bx$ .

CARACTERÍSTICA	TR	AA	PP	MEA	CLT	SI
DADOS	(Pa)	(%)	(%)	(kN/m <sup>3</sup> )	(%)	(g/cm <sup>2</sup> .min)
Parâmetro a	-1,17122	27,2356	44,8663	14,9265	-2,9314	29,2327
Parâmetro b	0,8861	-0,1661	-0,2097	6,4269	0,0775	-0,1878
R <sup>2</sup>	0,9118	0,9789	0,9775	0,9394	0,8548	0,8885
Signif.	0,0057	0,0007	0,0007	0,0032	0,0123	0,0082
Análise de Variância						
F	31,02	139,69	130,84	46,58	17,66	23,91
Signif.	0,0114	0,0015	0,0014	0,0064	0,0246	0,0164

TR - Tensão de ruptura

AA - Absorção de água

PP - Porosidade

MEA - Massa específica aparente

CLT - Contração linear total

SI - Sucção inicial

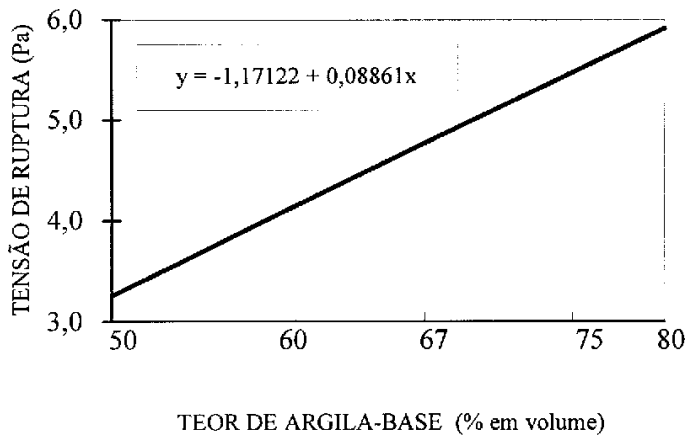


Figura 1: Evolução da resistência em função do teor de argila base B na mistura com o chamote.

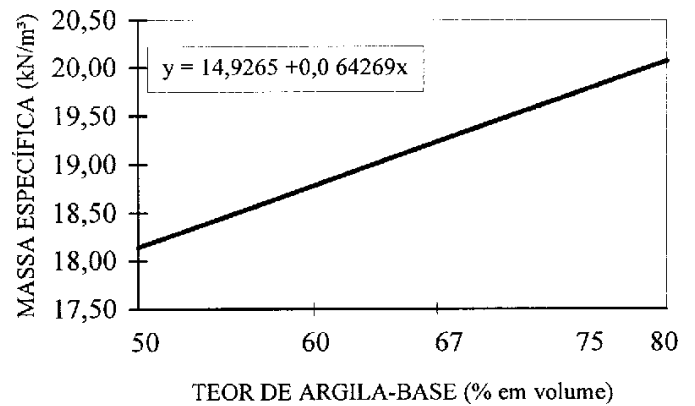


Figura 4: Evolução de massa específica aparente em função do teor de argila base B na mistura com chamote.

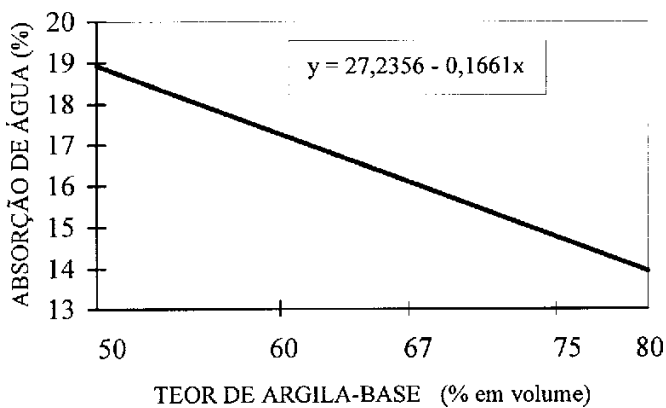


Figura 2: Evolução da absorção de água em função do teor de argila base B na mistura com chamote.

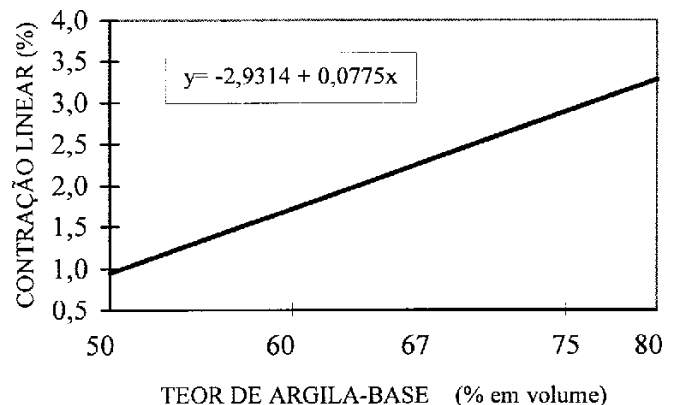


Figura 5: Evolução da contração linear em função do teor de argila base B na mistura com chamote.

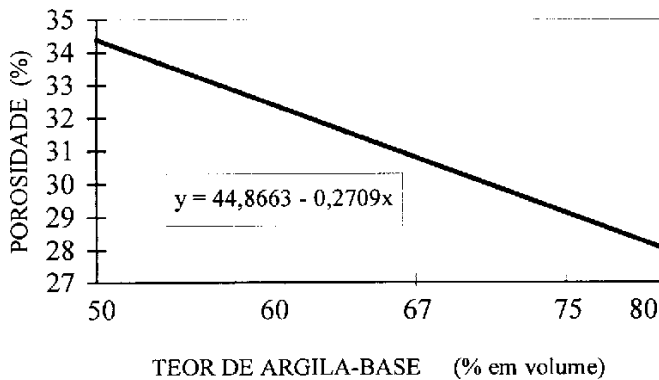


Figura 3: Evolução da porosidade em função do teor de argila base B na mistura com chamote.

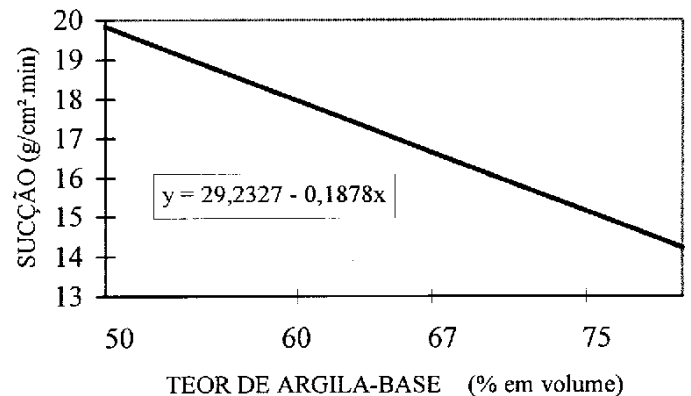


Figura 6: Evolução da sucção inicial em função do teor de argila base B na mistura com chamote.

ratura de queima, elaborou-se um estudo para análise das fontes de variação: proporção de misturas e amostras de adição.

Definiu-se as fontes de variação BASE B e TEMPERATURA 950 °C, concentrou-se o estudo na comparação entre as amostras e proporções.

Observou-se que existem diferenças significativas entre as

médias dos resultados dos ensaios das amostras para a maioria das variáveis em estudo. Os resultados relativos à contração linear total estão apresentados na tabela II, uma vez que esta característica é considerada a mais importante deste estudo.

A tabela III apresenta uma análise de variância dos resultados médios das características das misturas entre a base B com as

Tabela V: Composições de misturas para diferentes tipos de produtos de cerâmica vermelha.

Elemento Composição	Bloco de Vedação	Tijolo Maciço	Bloco Estrutural	Telha
Argila Base (% Volumétrica)	60	70	75	75
Chamote (% Volumétrica)	40	30	25	25

argilas de 1 a 5, todos relacionados à temperatura de queima de 950 °C.

Verificou-se que todos os valores obtidos, para tensão de ruptura e absorção ( $P < 0,05$ ) estão dentro dos valores recomendados pela norma brasileira, e valores fixados nos procedimentos do IPT e CIENTEC [11,12].

Especificamente para a mistura de base B contendo chamote observou-se que os resultados de tensão de ruptura e absorção são satisfatórios face às normas. Embora o material tenha apresentado elevada porosidade, o resultado pode ter sido afetado pelo tamanho e forma dos corpos de prova. Coerentemente para um mesmo volume de material menos denso, a amostra com teor de chamote apresentou menores valores de massa específica aparente. A mínima retração registrada é benéfica pois diminui a possibilidade de ocorrência de trincas e defeitos durante a secagem e queima. A sucção inicial apresentou-se a um nível adequado, próximo ao valor recomendado de 15 g/cm<sup>2</sup>.min.

### 3.2 - Mistura com chamote

Inicialmente submeteu-se os resultados a uma análise estatística básica. De posse dos resultados dos experimentos estudou-se a possibilidade de ajustar para as características físico-mecânicas a expressão:  $y = a + bx$ . Na tabela IV estão resumidos os resultados das análises estatísticas estudadas. Nas regressões estudadas foram obtidos resultados razoáveis de R<sup>2</sup>, sendo que o menor valor obtido foi 0,85 e o maior 0,98 indicando, assim, o ajuste adequado da regressão.

As regressões obtidas estão representadas nas figuras 1 a 6. Os intervalos de confiança foram verificados, porém não se encontram representados nos gráficos. Nessas figuras observou-se alterações de comportamento nas características das misturas, sendo que a adição de chamote mostrou-se favorável para algumas propriedades e menores desempenhos para outras.

Em relação à tensão de ruptura e absorção de água as figuras 1 e 2 mostram que a adição de chamote reduz o valor da primeira e aumenta a taxa de absorção. Esse comportamento reduz os parâmetros de desempenho do material, mas permanecem a valores mínimos de normas e recomendações.

Verificou-se também que a porosidade aumentou (figura 3) com a adição de chamote à mistura, podendo o resultado ter sido afetado pelo tamanho e forma do corpo de prova.

Constatou-se através das figuras 4 e 6 que a massa específica decresce e a sucção inicial se eleva com a adição de chamote. Des-

sas tendências decorrem as seguintes vantagens: a) redução dos carregamentos devido ao peso próprio da alvenaria; b) melhoria da aderência na relação argamassa-elemento em função da elevação da taxa de sucção a patamares mais adequados.

Finalmente as misturas estudadas apresentaram uma tendência de redução na contração linear com acréscimo da porcentagem de chamote na mistura (figura 5). Esse comportamento é de extrema importância na produção de elementos cerâmicos, uma vez que potencializa o controle da retração, durante as etapas de secagem e queima.

### 3.3 Propostas de composição de misturas para produção de cerâmica vermelha

A análise e interpretação dos resultados dos ensaios, das diferentes misturas estudadas neste trabalho, possibilitam a apresentação de propostas de composição de misturas para produção de elementos de cerâmica vermelha.

A tabela V mostra estas composições de misturas para diferentes tipos de produtos. A validade dessas composições tentativas é restrita aos materiais estudados, nesta pesquisa, e para adoção em aplicações práticas são recomendadas análises complementares.

## CONCLUSÕES

A análise dos resultados dos ensaios levados a efeito, no trabalho, conduz às seguintes conclusões:

- Durante a secagem dos corpos de prova, o uso do chamote apresentou a menor taxa de retração. Essa constatação torna-se altamente importante na medida em que possibilitará a diminuição de ocorrência de deformações no produto acabado, uma vez que, na maioria das indústrias cerâmicas, a secagem se dá, geralmente, de forma natural com deficiência de controle.

- Pode-se verificar que o tempo de secagem dos corpos de prova com o chamote foi menor e que aliado à menor retração se destaca como importante vantagem nas condições operacionais de produção.

- Na adição de chamote, a mistura se mostrou potencialmente interessante uma vez que a contração linear média foi reduzida para valores entre 36% a 50% das contrações lineares totais médias das demais misturas. Desse modo, a adição de chamote reduz possíveis defeitos (trincas, fissuras, empenamentos, deformações, etc.), não somente na etapa de secagem, como também na queima.

• Nas temperaturas mínimas e máximas de queima, os níveis de significância mostraram-se favoráveis. Corpos de prova queimados em temperaturas mais baixa produzem menores valores de retração e maiores valores de porosidade. A possibilidade de se fazer a queima com menores temperaturas e menores ciclos poderá apresentar considerável economia de energia.

• Na composição de argila-base com adição de chamote, verificou-se que a mistura teve um significativo ganho de trabalhabilidade. Esta característica é muito importante, porque na prática ter-se-á grandes benefícios de moldagem na confecção de objetos cerâmicos.

• Com o aumento da porosidade verificou-se que a sucção inicial também se elevou, porém a níveis aceitáveis de valor recomendado. Constatou-se que os valores satisfatórios encontrados são verificados com ressalva, visto que a superfície de contato do corpo de prova com a água em porcentagem é bem mais que a observada para um tijolo comum.

• Na característica resistência à tração na flexão, observou-se uma tendência de redução crescente com o teor de chamote, embora para as proporções estudadas os valores tenham se mantido dentro das especificações normativas. Os resultados de resistência à tração na flexão conferem com os observados em ensaios de laboratório, executados quando de trabalhos de dosagens de misturas de argilas. Há uma redução da resistência à tração na flexão com o aumento do teor de chamote.

• A adição de chamote proporciona redução da massa específica do material cerâmico. Com isso o material confere ganho nas propriedades térmicas, além de apresentar menor peso por metro quadrado de telhas, por metro linear de paredes, etc.

• Verificando-se as finalizações citadas pode-se concluir que o uso do chamote misturado à argila para fabricação de produtos cerâmicos é viável, em técnica dosada e controlada, demonstrando também ser uma alternativa econômica e eficiente para a diminuição de problemas de poluição.

## REFERÊNCIAS

[1] P. S. Santos, *Ciência e Tecnologia de Argilas*, vol. 1, Ed. Edgard Blucher Ltda., São Paulo, S. P., 1989.

[2] L. E. Müller, *Curso Básico de Cerâmica Vermelha*. Apostila UFSC, Santa Maria, R. S., 1990.

[3] S. Pracidelli, *Cerâmica*. Escola SENAI Mario Amato, SBC, 6 vol., S.P., 1990.

[4] V.S. Villar, *Perfil e Perspectivas da Indústria da Cerâmica Vermelha do Sul de Santa Catarina*. Dissertação de Mestrado PPGEP/UFSC, Florianópolis, S.C., 1988.

[5] S. M. Oliveira, *Avaliação dos Blocos e Tijolos Cerâmicos do Estado de Santa Catarina*, Dissertação de Mestrado PPGEP/UFSC, Florianópolis, SC, 1993.

[6] H. Cambliagli, *Projeto e Obra no Difícil Caminho da Qualidade*, *Obra Planejamento e Construção* nº 37, p.p. 10 a 12, 09/92.

[7a] A.B.N.T. Solo - *Análise Granulométrica*: NBR 7181, Rio de Janeiro, R.J., 1984.

[7b] A.B.N.T. Solo - *Determinação do Limite de Liquidez*: NBR 6459, Rio de Janeiro, R.J., 1984.

[7c] A.B.N.T. Solo - *Determinação do Limite de Plasticidade*: NBR 7180, Rio de Janeiro, R.J., 1984.

[7d] A.B.N.T. *Determinação da Massa Específica dos Grãos de Solo*: NBR 6508, Rio de Janeiro, R.J. 1984.

[7e] A.B.N.T. *Bloco Cerâmico para Alvenaria*: NBR 7171, Rio de Janeiro, R.J., nov/1992.

[7f] A.B.N.T. *Amostras de Solo - Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização*: NBR 6457, Rio de Janeiro, R.J., 1986.

[8] British Standard Institution, *Specifications for Clay Bricks*: BS 3921, London, 1985.

[9] American Society for Testing and Materials. *Test for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate*: ASTM C127-77.

[10] American Society for Testing and Materials, *Standard Method of Sampling and Testing Brick and Structural Claytile*: ASTM C67-83.

[11] *Manual de Procedimentos para a Indústria de Cerâmica Vermelha*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 1986.

[12] *Cerâmica Estrutural, Fundamentos Tecnológicos e Industriais*. Fundação de Ciência e Tecnologia, POA, vol. 1, 1976.

*(Rec. 5/97, Ac. 12/97)*