

ADIÇÃO DE CHAMOTE NA MASSA DE CERÂMICA VERMELHA COMO VALORIZAÇÃO DE RESÍDUO NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE VEDAÇÃO: ESTUDO EM ESCALA LABORATORIAL

CHAMOTE ADDITION IN RED CERAMIC MASS AS RESIDUE RECOVERY IN SEALING BLOCK MANUFACTURING: STUDY IN LABORATORY SCALE

Alexandre Zaccaron*

Laboratório Técnico de Cerâmica Vermelha - Morro da Fumaça – SC, Brasil.
alexandrezzaccaron@hotmail.com

Sergio Luciano Galatto

Universidade do Extremo Sul Catarinense – Criciúma – SC, Brasil
Departamento de Engenharia Ambiental
sga@unesc.com

Vitor de Souza Nandi

Universidade do Extremo Sul Catarinense – Criciúma – SC, Brasil
Departamento de Tecnologia em Cerâmica
vitorsnprof@gmail.com

Paulo Fernandes

Centro Universitário Barriga Verde – Cocal do Sul – SC, Brasil
fernandes.paulo@ua.pt

Resumo

Esse trabalho tem por objetivo analisar a viabilidade técnica de incorporação do resíduo "chamote" na massa cerâmica em escala laboratorial para fabricação de blocos de vedação. Foram realizados ensaios de caracterização química, física, mineralógica e de classificação do resíduo. Posteriormente, desenvolveu-se uma formulação com 20% (baseado em estudos realizados anteriormente com as mesmas matérias-primas) do resíduo incorporando à massa cerâmica padrão de uma cerâmica vermelha da região. Os corpos-de-prova foram experimentados de forma extrusada, e posteriormente submetida a tratamento térmico. As propriedades tecnológicas avaliadas foram: retração térmica linear de secagem e de queima, perda ao fogo, absorção de água e resistência mecânica. Os resultados de classificação do resíduo indicaram como não perigoso - Classe II A - Não Inerte.

Palavras-chaves: Chamote. Cerâmica vermelha. Blocos de vedação. Resíduo.

Abstract

This work aims to analyze the technical feasibility residue incorporation of "chamote" in ceramic mass in laboratory scale for the manufacture of sealing blocks. Chemical characterization assays were performed, physics, mineralogy and waste classification. Subsequently, a formulation with 20% developed (based on previous studies with the same raw materials) of the waste incorporating the standard ceramic mass of a regional red ceramic. The samples were tested extruded shape, and

then subjected to heat treatment. The technological properties were linear shrinking drying and burning, loss on ignition, water absorption and mechanical strength. The residue of the classification results indicated as non-hazardous - Class II A - Not inert.

Keywords: Chamote. Red ceramic. Sealing blocks. Residue.

1 Introdução

O resíduo sólido urbano vem se tornando a cada dia um dos principais problemas enfrentados nos grandes centros, e o grande desafio do homem para com seu futuro, não é apenas saber como descartar o que ele próprio gera, mas como reaproveitar de forma técnica e economicamente viável tudo o que a princípio não tem relevância, ou seja, agregar valor àquilo que até então era visto como empecilho.

O desenvolvimento industrial ao longo das últimas décadas tem gerado grandes quantidades de resíduos (TELOEKEN et al., 2011), e o que por muito tempo era depositado de forma inapropriada pode se transformar em matéria-prima, sendo a solução de muitos problemas da indústria.

Dados da CBIC (2010) mostram que nos últimos anos houve um aumento demasiado da construção civil devido ao desenvolvimento das cidades e aos fáceis investimentos imobiliários, com isso, têm-se um crescimento da procura de blocos de vedação (tijolos). Essa ascensão vai refletir nas questões ambientais, onde havendo uma maior produção industrial, terão maiores impactos associados, seja com extração de matéria-prima ou com emissões atmosféricas e geração de resíduos.

Segundo Alesc (2012), a região sul de Santa Catarina centraliza o maior polo de cerâmica vermelha do estado, responsável por aproximadamente 2,5% de produção do país. Dados apontam que as indústrias do setor passam das 270 empresas, o que mostra grande importância do segmento à economia local. Porém, devido a grande concentração de cerâmicas essa região sofre pela degradação ambiental, especificamente pela emissão de poluentes atmosféricos ou extração irregular de matéria-prima. Devido a isso, em meados de 2004, o Ministério Público Estadual através de uma Ação Civil Pública promoveu maior rigidez neste segmento, exigindo readequações nas atividades junto à cerâmica vermelha. Uma das exigências está relacionada à execução de projetos de recuperação das áreas de passivo ambiental de extração de material argiloso, seguida também da padronização dos blocos estruturais, controle de emissões atmosféricas e utilização de combustível de fontes renováveis. Em paralelo às questões ambientais, o setor de cerâmica vermelha está desenvolvendo estudos que visam à incorporação de diferentes materiais e resíduos na matéria-prima.

O gerenciamento adequado de resíduos provenientes dos processos pós-queima da cerâmica vermelha, é um procedimento totalmente desconhecido pelo ceramista. Atualmente, não existe qualquer preocupação com o que esse rejeito pode acarretar ao meio ambiente, mas alguns estudos mostram a possibilidade de agregar valor a esse material que até então vem servindo para terraplanagem, e na grande maioria é encaminhado a descarte a céu aberto.

Importante ressaltar, que a maior parte dos resíduos gerados após o processo de queima, não são reaproveitados, tornando-se um empecilho para manuseio, além de custos com sua disposição final em aterro. A Política Nacional dos Resíduos Sólidos instituída pela Lei n. 12305/2010 é bem clara ao determinar que nenhum tipo de resíduo deve ter destinação final efetuada de forma irregular.

Dentro desta premissa, este trabalho busca avaliar a reutilização do rejeito de cerâmica vermelha gerado no processo de quebra de tijolos pós-queima na massa padrão, de forma a minimizar custos com material argiloso e a diminuição da disposição de forma desordenada no meio ambiente.

2 Materiais e Métodos

Os ensaios de caracterização física foram realizados no Laboratório Técnico de Cerâmica Vermelha (LABCER) em Morro da Fumaça, SC, usaram-se dois tipos de argilas no experimento laboratorial, denominadas: Argila A (maior plasticidade) e Argila B (menor plasticidade). As mesmas foram cedidas em uma indústria cerâmica vermelha localizada em Morro da Fumaça, SC. A coleta foi realizada diretamente do box da cerâmica, onde a princípio foram retirados em torno de 100 kg de cada argila, de cinco pontos diferentes. Essas amostras passaram pelo processo de quarteamento, homogeneizadas e reduzidas para um volume de aproximadamente 90 kg da Argila A, e 60 kg da Argila B, para ensaios laboratoriais. A "Argila A" constituiu um número maior de blocos (torrões), o que necessitou a desintegração mecânica com auxílio do laminador (modelo 500 da marca Natreb) da própria cerâmica, antes de ser encaminhada ao laboratório. O resíduo foi obtido na mesma cerâmica cujas argilas foram cedidas. Os experimentos passaram por uma condição de queima entre 800 e 900 °C, sendo difícil determinar a base exata pela falta de equipamentos específicos para mensuração da temperatura de queima. A coleta das peças danificadas ocorreu após a descarga de um dos fornos industriais e para atender à NBR 10007:2004 item "3.1.3.4 - Ponto de Amostragem", após a limpeza desse forno, todas as peças descartadas foram encaminhadas a um local livre de contaminação externa e obedeceram aos pontos de amostragem como determinado na tabela "A.4." da norma em questão. Após coletadas e acondicionadas em sacas de ráfia, as amostras do resíduo foram desagregadas com auxílio de um

socador (com aproximadamente 1 metro de altura). Para fragmentar as amostras, foi utilizado um laminador (modelo 500 da marca Natreb) antes de serem enviadas ao laboratório. No laboratório, o material foi peneirado com auxílio de uma peneira aro Ø 55 cm, e abertura da malha de 1,45 mm. Foram feitas análises químicas por Espectrometria de Fluorescência de Raios x e Espectrometria de Absorção Atômica das argilas (A e B) e do rejeito (chamote), ensaios realizados segundo os procedimentos: PR-CRI-097, PR-CRI-098 e PR-CRI-103, no Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais (LDCM), do SENAIsc em Criciúma, que realiza análises químicas através do Espectrômetro de Raios X marca Philips modelo PW 2400 por dispersão de comprimento de onda (WDXRF). A classificação do resíduo (chamote) foi realizada no Laboratório de Análises de Solo e Fertilizantes Químicos do Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas (IPAT), no Parque Científico e Tecnológico (IPARQUE), pertencente à UNESC baseada na metodologia de “SW 846 (USEPA 1986), Test Method for Evaluating Solid Waste Report Number SW-846, Washington, DC” e as referências: NBR 10004:04 - Classificação de Resíduos Sólidos; NBR 10005:04 - Ensaio de Lixiviação; NBR 10006:04 - Ensaio de Solubilização; e NBR 10007 - Amostragem de Resíduos.

A plasticidade descreve uma particularidade das argilas, que são as matérias-primas principais da cerâmica vermelha. Para compreender melhor, coloca-se que as argilas são materiais compostos de caulinita e outros argilominerais com percentuais variados de ilita e esmectita, possuindo também um conteúdo sem percentual definido de quartzo, feldspato e matéria orgânica. Na massa cerâmica a composição desses é responsável por fornecer plasticidade, trabalhabilidade, resistência mecânica e refratariedade. A plasticidade desses materiais é também o que proporciona a conformação dos corpos cerâmicos (RIELLA, 2010). Quando se trata de avaliar a adaptação de uma massa plástica a determinado processo de conformação, o termo trabalhabilidade é usado frequentemente como sinônimo de plasticidade (RIBEIRO et al, 2003). Em outros termos, vale mencionar que a plasticidade é o que deixa a argila fisicamente apta para dar forma às peças quando moldadas.

O teste foi realizado no Laboratório Técnico do IMG em Cocal do Sul-SC e o método escolhido para avaliar o teor de plasticidade da massa foi o de Pfefferkorn, que consiste em obter uma deformação de 30% dos corpos-de-prova com auxílio de um plasticímetro, que define o percentual de água ideal da matéria-prima. Este método consistiu em preparar 300 g de massa seca das argilas A e B com diferentes teores de umidade, sendo para a argila A os percentuais de 24, 26, 28 e 30%, e na argila B os percentuais 26, 28, 30 e 32%. A deformação plástica foi obtida através da Equação 1. Este procedimento foi realizado apenas com as Argilas A e B.

$$\varepsilon(\%) = \frac{(h_0 - h_f)}{h_0} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

ε = deformação plástica (%);

h_0 = altura inicial (mm);

h_f = altura final (mm).

As formulações foram preparadas em base úmida. Primeiro obteve-se o teor de umidade residual (Tabela 1) de cada matéria-prima e depois se calculou a quantidade de matéria-prima *in natura* necessária a ser misturada, juntamente com a quantidade de água a ser adicionada para o teor de umidade adequado, indicando um índice de deformação plástica ideal.

Tabela 1 - Umidade *in natura* das matérias-primas

Unidade (g)	Matérias-Primas		
	Argila A	Argila B	Chamote
Massa Úmida	500	500	500
Massa Seca	377	393,2	439,5
Umidade <i>in natura</i> (%)	24,6	21,36	12,10

Fonte: Autoria própria (2015)

Descoberta a umidade ideal de cada argila através do índice de deformação, aplicaram-se esses valores na equação da média ponderada onde visa descobrir a quantia de água que se deve adicionar para cada um dos diferentes percentuais de chamote.

Após obter o teor de umidade das matérias-primas, as formulações foram recalculadas, considerando-se a quantidade de água presente nas matérias-primas. As duas formulações foram caracterizadas quanto à retração de secagem, retração de queima, perda ao fogo, resistência mecânica à compressão pós queima e absorção de água e avaliadas comparativamente às normas técnicas vigentes adotadas pela ABNT para blocos de vedação. A Tabela 2 apresenta as formulações desenvolvidas.

Tabela 2 - Formulações realizadas

Matéria-Prima	Formulações (g)	
	STD	F4
Argila A	12.686,4	10.572,0
Argila B	8.360,4	6.270,3
Chamote	-	5.274,0
Água	6.991,2	6.338,4
Água Adicionada	1.962,0	1.545,3
Total	30 000,0	30 000,0

Fonte: Autoria própria (2015)

Após o período de homogeneização das massas formuladas, deu-se início ao processo de confecção dos corpos-de-prova. As massas primeiramente foram laminadas e num segundo momento passaram pelo processo de extrusão. A extrusão (extrusora laboratorial da marca Natreb) consistiu em passar, num primeiro momento, toda a massa pelo equipamento sem que a câmara de vácuo estivesse em funcionamento, com o objetivo de garantir uma boa homogeneização da massa cerâmica. Este processo se repetiu por dois ciclos. Posteriormente, a câmara de vácuo foi acionada e a massa foi extrusada em uma pressão de vácuo que variou entre 0,5 a 0,84 atm. Para a saída da peça, utilizou-se uma mesa transportadora com rolos de madeira, de escala piloto, até atingir um tamanho ideal em que o tarugo formado pudesse ser cortado, obtendo assim, os corpos-de-prova nas dimensões desejadas.

Após a conformação dos corpos-de-prova, as peças ficaram em repouso em secagem natural por 24 h. Em seguida foram levadas em estufa (com resistência elétrica, marca DeLeo nº 2211, tipo: 8) a uma temperatura de 100 ± 10 °C por mais 24 h. Após a etapa de secagem, as amostras foram medidas para se obter a retração linear de secagem, que é a variação dimensional que o corpo-de-prova sofre devido à saída de água durante o processo de secagem. O ensaio consiste em medir as unidades de comprimento com a peça crua e depois com ela seca, com auxílio de um paquímetro (com 0,02mm de resolução, modelo 125 MEA, Marca Starret) com resolução adequada. As unidades de comprimento foram padronizadas em 30 mm (com auxílio do paquímetro) após a conformação das peças e após secagem mediu-se a retração ocorrida nos pontos marcados. Os valores de retração de secagem foram obtidos através da Equação 2.

$$RLs(\%) = \frac{(L_i - L_f)}{L_i} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

RLs = retração térmica linear de secagem (%);

L_i = comprimento inicial das peças cruas (mm);

L_f = comprimento final pós-secagem (mm).

Após esse ensaio, as peças foram levadas para serem queimadas em forno laboratorial (com resistência elétrica, Modelo J200, Marca Jung), com taxa de aquecimento de 2 °C/min; temperatura de queima de 900 °C e tempo de patamar de 2 horas. Essas condições foram adotadas como padrão laboratorial.

Após o processo de queima, as peças passaram por testes de qualidade a fim de se obter os resultados que comprovem ou não a eficiência dos materiais que tiveram a adição do chamote. Foram realizados testes de Retração Térmica Linear de Queima, Absorção de Água, Perda ao Fogo e Resistência Mecânica à Compressão.

A retração térmica linear de queima é a variação dimensional que o corpo-de-prova sofre devido à saída de gases de decomposição e densificação do material. O ensaio consiste em medir as unidades de comprimento da peça seca e depois com ela queimada, com auxílio de um paquímetro com resolução adequada. Nesse ensaio, as unidades de comprimento finais foram obtidas nos pontos que foram marcados com paquímetro, na etapa de conformação como descrito na seção anterior. Os valores de retração de queima foram obtidos através da Equação 3.

$$RLq(\%) = \frac{(L_s - L_q)}{L_s} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

RLq = retração térmica linear de queima (%);

L_s = comprimento inicial das peças secas (mm);

L_q = comprimento final pós-queima (mm).

A absorção de água ocorre devido a forças de capilaridade quando a amostra é imersa em água. A água penetra na peça ocupando os espaços abertos, os poros, gerando um ganho de massa, definido em percentual. A absorção de água é determinada através da diferença entre a massa seca e a massa úmida do corpo-de-prova. O ensaio consiste em pesar a amostra seca, e depois submetê-la em banho de imersão, podendo ser realizada de duas maneiras: banho em água fria por 24 horas ou banho com água em ebulição por 2 horas. Após o banho retira-se o excesso de umidade com o auxílio de um pano umedecido. Os valores de absorção de água foram obtidos utilizando a Equação 4.

$$AA(\%) = \frac{(m_u - m_s)}{m_s} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

AA = absorção d'água (%);

m_u = massa das peças úmidas (g);

m_s = massa das peças secas (g).

A perda ao fogo corresponde à quantidade de material que volatilizou em virtude das decomposições que ocorreram durante as etapas de aquecimento e queima no forno. Consistiu em pesar os corpos-de-prova secos e depois de queimados, sendo que após a queima, são resfriados em temperatura ambiente. Para definição dos resultados de perda ao fogo foi utilizada a Equação 5.

$$PF(\%) = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

PF = perda ao fogo (%);

P_i = massa das peças secas (g);

P_f = massa das peças queimadas (g).

O ensaio de resistência mecânica à compressão foi realizado com base na NBR 15270-03:2005. Consiste em proceder à preparação prévia dos corpos-de-prova com capeamento (ato de preparação dos corpos-de-prova cilíndricos de argamassa e/ou concreto de cimento) e ensaiados em máquina universal de ensaios (modelo DL-20000, marca EMIC) para avaliar a carga de ruptura. A máquina universal de ensaios possui um sistema computacional acoplado ao êmbolo, onde é possível verificar a força submetida no corpo-de-prova até seu rompimento. O software calcula a resistência mecânica através da Equação 6.

$$\sigma(\text{MPa}) = \frac{F}{A} \quad (5)$$

Onde:

σ = resistência mecânica à compressão (MPa);

F = carga de ruptura (N);

A = área de contato (mm²).

3 Resultados e discussões

A Tabela 3 mostra os valores de Fluorescência de Raios-x nas argilas A e B e no resíduo “chamote”. As três amostras analisadas apresentam sílica (SiO₂) com maior percentual. Posteriormente, verifica-se ocorrência de alumina (Al₂O₃) e a hematita (Fe₂O₃) com percentuais aproximados entre as amostras. Observou-se ainda baixa concentração de óxidos alcalinos (K₂O e Na₂O) e alcalinos terrosos (MgO e CaO). Com relação à perda ao fogo, o baixo percentual encontrado na amostra de chamote em relação às argilas, se justifica em função do processo de queima. De modo geral, constata-se similaridade das três amostras quanto aos resultados das análises químicas, uma vez que o chamote, não deixa de ser argila.

Tabela 3 - Análise química das argilas e do chamote, em %

Material/Óxidos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	BaO	TiO ₂	*PF
Argila A	70,66	15,60	0,15	3,92	1,24	0,43	<0,05	0,20	<0,05	-	1,02	6,70
Argila B	69,29	18,52	0,08	8,87	2,48	0,67	<0,05	0,09	0,09	-	0,96	5,88
Chamote	72,92	16,82	0,17	5,02	1,58	0,49	<0,05	0,28	0,06	0,17	1,00	1,45

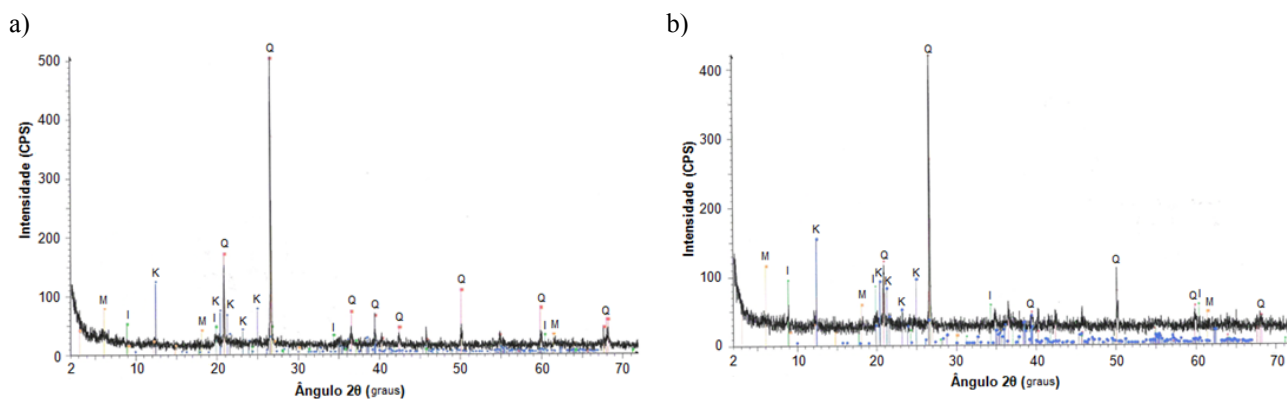
*PF=Perda ao fogo

Fonte: Autoria própria (2015)

Os óxidos dos elementos químicos mostrados na Tabela 3, em sua forma mais estável, estão presentes nas fases cristalinas identificadas no difratograma de raios X da Figura 1 (a) e (b). Pode-se observar que as argilas A e B apresentam majoritariamente as seguintes fases cristalinas: quartzo- α (SiO₂, cartão n° 01-070-7344), caulinita (Al₄(OH)8(Si₄O₁₀), cartão n° 01-078-2110),

montmorilonita $(\text{Na,Ca})_0,3(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2.n\text{H}_2\text{O}$, cartão n° 00-007-0051) e ilita (Ba_2SiO_4 , cartão n° 00-009-0343).

Figura 1 - Difratograma de Raios X das matérias-primas (a) Argilas A, (b) Argila B



- Q: Quartzo; K: Caulinita; I: Ilita; M: Montmorilonita

Fonte: Autoria própria (2015)

A análise de caracterização e classificação do resíduo foi efetuada segundo a NBR 10004:2004. Primeiramente realizou-se ensaio na massa bruta, para observar a corrosividade e reatividade. Com pH de 5,09 o resíduo é caracterizado como não corrosivo, pois não ultrapassa o limite estabelecido pela referida norma técnica, especificamente na letra “a” do item “4.2.1.2 Corrosividade - que recomenda estar entre 2 a 12,4”. Portanto, o resíduo é classificado como não perigoso neste primeiro ensaio. Posteriormente, no teste de reatividade, apresentaram-se valores aceitáveis ($<0,1$ mg/kg) de ácido sulfídrico (H_2S), não se aproximando do limite liberável por kg de resíduo, que é de 500 mg de H_2S . Óleos e Graxas também estão ausentes no resíduo, o que se enquadra nos limites estabelecidos pela norma técnica. Conclui-se então, que o resíduo ensaiado é caracterizado como não reativo, pois não apresenta em sua constituição íon sulfeto acima do limite estabelecido pela NBR 10004:2004, letra “e” do item “4.2.1.3 Reatividade”. Portanto, o resíduo é classificado como não perigoso neste ensaio. Em um segundo momento foi realizado teste de toxicidade, com ensaios de lixiviação e solubilização, cujos resultados podem ser observados nas Tabelas 4 e 5.

No ensaio de lixiviação (Tabela 4), os parâmetros analisados no extrato obtido segundo a NBR 10005 (ABNT, 2004), não apresentaram concentrações acima dos limites máximos permitidos conforme item “4.2.1.4 toxicidade”, letra “a”, “anexo F” da NBR 10004 (ABNT, 2004), caracterizando o resíduo como não tóxico, sendo classificado como não perigoso neste ensaio. No ensaio de solubilização (Tabela 5), dos parâmetros analisados no extrato obtido segundo a NBR 10006 (ABNT, 2004), apenas o manganês apresentou concentração superior ao padrão para este

ensaio, anexo “G” da NBR 10004 (ABNT, 2004), caracterizando como não inerte neste ensaio e classificando como resíduo não perigoso, ou seja, Classe II A - Não Inerte.

Tabela 4 - Resultados do ensaio de lixiviação - Inorgânicos

Parâmetros	Resultados (mg/L)	Limites máximos no lixiviado (MG/L)	L.Q.
Arsênio	0,374	1,0	0,001*
Bário	0,5	70,0	0,1
Cádmio	<0,01	0,5	0,01
Chumbo	<0,05	1,0	0,05
Cromo total	<0,02	5,0	0,02
Fluoreto	<0,1	150,0	0,1
Mercúrio	<0,001	0,1	0,001**
Prata	<0,01	5,0	0,01
Selênio	<0,001	1,0	0,001**

- L.Q.: Limites de Quantificação;

- Os metais foram analisados por Espectrofotometria de Absorção Atômica – Chama:

* Forno de Grafite;

** Vapor a Frio.

Fonte: Autoria própria (2015)

Tabela 5 - Resultados do ensaio de solubilização

Parâmetros	Resultados (mg/L)	Limites Máximos no Lixiviado (MG/L)	L.Q.
Alumínio	<0.1	0,2	0,1
Arsênio	<0,001	0,01	0,001*
Ferro	0,04	0,3	0,02
Manganês	0,21	0,1	0,01
Sódio	10,17	200,0	0,01
Sulfato (expresso em SO ₄)	58,0	250,0	10,0

- L.Q.: Limites de Quantificação;

- Os metais foram analisados por Espectrofotometria de Absorção Atômica - Chama:

* Forno de Grafite.

Fonte: Autoria própria (2015)

No ensaio de lixiviação (Tabela 4), os parâmetros analisados no extrato obtido segundo a NBR 10005:2004, não apresentaram concentrações acima dos limites máximos permitidos conforme item “4.2.1.4 toxicidade”, letra “a”, “anexo F” da NBR 10004 (ABNT,2004), caracterizando o resíduo como não tóxico, sendo classificado como não perigoso neste ensaio. No ensaio de solubilização (Tabela 5), dos parâmetros analisados no extrato obtido segundo a NBR 10006 (ABNT, 2004), apenas o manganês apresentou concentração superior ao padrão para este ensaio, anexo “G” da NBR 10004 (ABNT, 2004), caracterizando como não inerte neste ensaio e classificando como resíduo não perigoso, ou seja, Classe II A - Não Inerte.

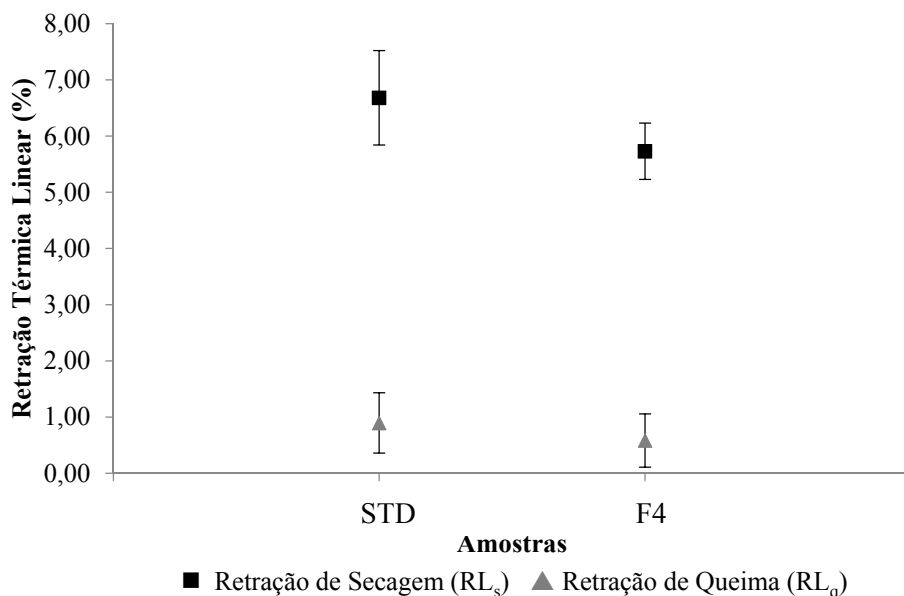
Na Figura 2 é possível observar que a retração linear de secagem diminui com o acréscimo de resíduo na formulação. A retração de secagem é importante para controlar a dimensão final da peça cerâmica. Esse fenômeno ocorre pelo fato do resíduo “chamote” reagir como material inerte, minimizando a redução do tamanho inicial de conformação da peça. A minimização da retração influenciada pelo resíduo incorporado ocorre devido à mínima reação de água entre estes materiais e as partículas de argilominerais. À medida que a água é retirada pela secagem, os percentuais de resíduo praticamente se mantêm em seu tamanho original, mantendo consigo a estrutura da peça, e diminuindo assim, a deformação com a retirada da água.

A cerâmica vermelha para tijolos e telhas possui um valor de variação “ótima” tanto para retração linear de secagem quanto para queima. No processamento industrial a retração linear de secagem considera-se ótima de 5% a 8%, sendo a situação mais aceitável entre 3 a 10%, para a retração linear de queima, a ótima é menor que 1,5% com a situação aceitável entre 1,5 a 3% (DONDI, 2006).

Pode-se observar menor retração na amostra F4, apresentando-se mais adequada, fornecendo a estabilidade dimensional, lembrando que os tijolos devem atender à dimensão pré-estabelecida pela NBR 15270 (ABNT, 2005) especificada no item “4.5.2 Dimensões de Fabricação”, sendo o valor permitido para tolerância especificada no item “5.1 Tolerância Dimensional”, correspondente a ± 3 mm. Observa-se nos resultados da Figura 5 uma variação inferior a 1% entre a F4 e a amostra padrão (STD).

No teste de Retração Térmica Linear de Queima, cujos resultados estão apresentados na Figura 2, tem-se uma variação 0,31% entre a F4 e STD.

Figura 2 - Resultados com a Retração Térmica Linear de Secagem e de Queima



Fonte: Autoria própria (2015)

De acordo com Dias et al. (2004), o ensaio de perda ao fogo fornece informações relativas à presença de matéria orgânica e substâncias voláteis no material amostrado. Os resultados obtidos de perda ao fogo das amostras ensaiadas (argilas, formulação padrão e com incorporação de resíduo) estão apresentados na Tabela 6. Observa-se que a incorporação de resíduo na massa cerâmica favorece a diminuição de perda de materiais. Esse fato está relacionado ao resíduo já ter liberado matéria orgânica durante o primeiro processo de queima, ou seja, antes de ser moído para ser incorporado à massa cerâmica. Pode-se constatar também que maiores percentuais de resíduo incorporado na massa cerâmica favorecerão menores perdas ao fogo. A massa padrão (STD) manteve num percentual de 6,89% de perda ao fogo, enquanto a F4 com 5,66%; essa leve mudança é explicada pela variação relacionada às variáveis do processo, tais como perda de água associada a hidróxidos, água de constituição de argilominerais e matéria orgânica eliminada durante o processo de queima; o que comprova que a 900 °C o uso de resíduo (chamote) não acarreta danos ao produto (FERNANDES, et al., 2012). Vale ressaltar, que durante a queima, algumas transformações acontecem na estrutura da argila, o que explica a perda ao fogo. Segundo Riella (2010), os argilominerais quando aquecidos até 150 °C, perdem água dos poros e a água adsorvida, e entre 400 °C e 900 °C ocorre a expulsão da água ligada estruturalmente sob forma de grupos OH⁻. O mesmo autor, ainda coloca uma série de mudanças físicas e químicas, que acontecem no decorrer do aumento de temperatura, tais fenômenos podem implicar na perda ao fogo.

Tabela 6 - Valores obtidos de perda ao fogo

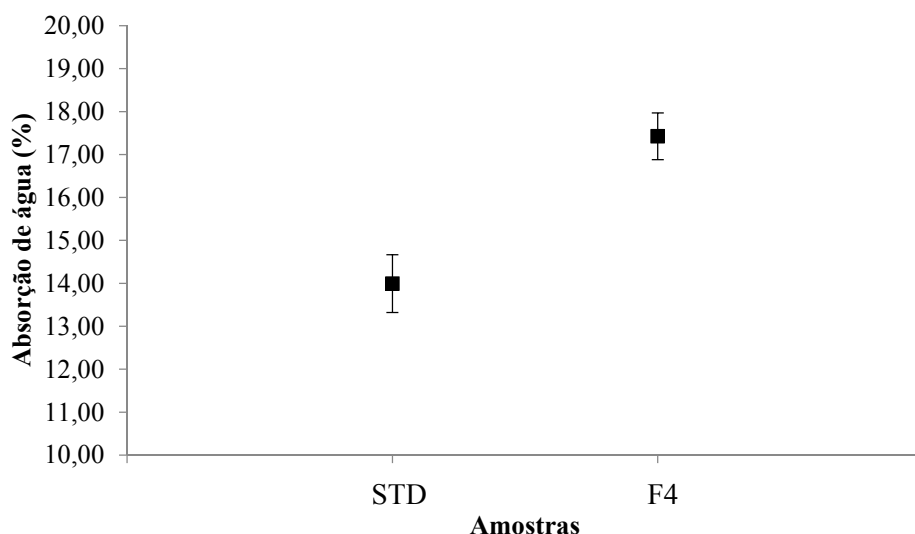
Amostras	STD	F4
Perda ao Fogo (%)	6,89	5,66
Desvio Padrão (%)	0,0655	0,10863

Fonte: Autoria própria (2015)

De acordo com Facincani (2002) a absorção de água está diretamente associada à quantidade de poros da peça. Esses poros podem ocorrer a partir da perda de água durante o processo térmico, também há conexão com fenômenos ligados ao empacotamento de partículas ou por fim, há relação com a retração dos grãos de resíduo “chamote”, que durante o processo de queima com temperaturas acima da anterior acabam encolhendo. Na Figura 3 apresenta o valor para absorção de água, e como esperado, a amostra F4 teve maior absorção de água, por possuir mais poros. Todavia, essa variação de 3,43% da STD para a F4, chegando a 17,42% não afeta o que a norma técnica requer. A NBR 15270:2005 estabelece valores máximos e mínimos que devem ser obedecidos no quesito absorção de água, sendo este apresentado no item “5.6 Índice de Absorção de Água (AA)”, onde não deve ser inferior a 8% e nem superior a 22%. Tais valores obrigatoriamente têm que ser seguidos, uma vez que blocos de vedação da cerâmica vermelha têm sua pior condição física

quando estão em contato com a água. Nenhuma das amostras foi rejeitada, obedecendo a tabela 8 da referida norma técnica.

Figura 3 - Resultados com a absorção de água



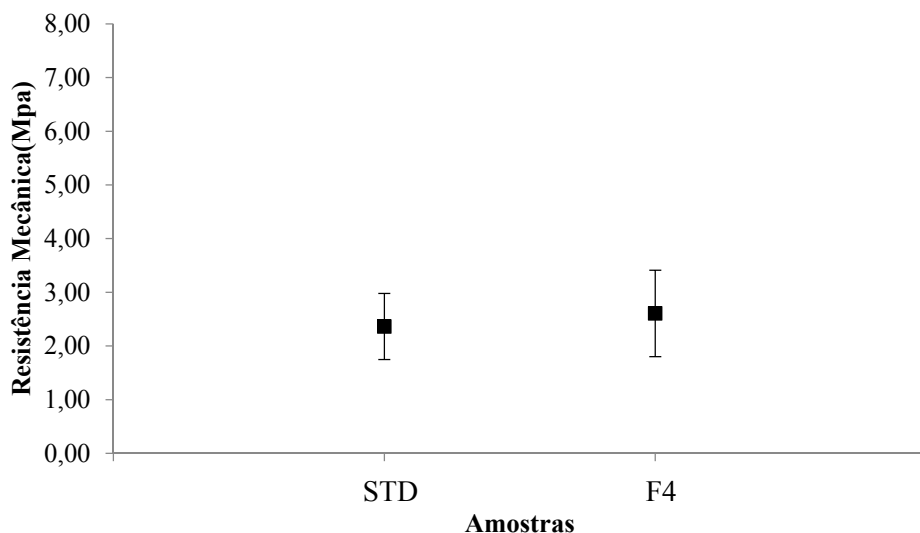
Fonte: A autoria própria (2015)

A compressão mecânica é a última análise dos testes de qualidade de blocos estruturais. Para esse ensaio, primeiro se realiza o capeamento das peças, conforme Anexo C da NBR 15270-3:2005, que traz as determinações da resistência à compressão de blocos estruturais, explicando o preparo para realização da prova. A Figura 4 mostra os resultados obtidos nos testes de compressão, e foram vistos como positivos, uma vez que a adição de qualquer material não argiloso pode influenciar na resistência, muitas vezes, de forma negativa. Importante destacar que as peças não passaram pelo descanso de 24 h na água, conforme pede a NBR que determina a metodologia para tal procedimento, essa especificação foi passada pelo LABCER, explicando que esse procedimento é particular para peças de escala industrial, e para escala laboratorial os testes são realizados em caráter comparativo. Os resultados obtidos para STD com 2,36 MPa e para a F4 com 2,61 Mpa são visualizadas de forma positiva, pois mesmo com a adição de 20% do resíduo na massa, obteve-se um produto que atinja a média alcançada pela peça padrão.

Dos 10 corpos-de-prova analisados para ambas as amostras (STD e F4), apenas uma de cada ficou fora do estabelecido, ou seja, abaixo de 1,5 MPa, o que obedece aos critérios especificados internamente pelo LABCER. Os resultados obtidos com a F4 estão iguais a STD (analisando os desvios padrão), ficando evidente que a incorporação de resíduo “chamote” viabiliza a produção. A diferença de 0,25 MPa para a formulação F4, pode ser explicada pela utilização de resíduo oriundo de queima inferior à submetida posteriormente em laboratório e à medida que se eleva a temperatura há um incremento no valor da resistência de ruptura, devido à vitrificação das partículas (GOUVEIA & SPOSTO, 2009). Ou seja, na segunda queima, até a temperatura em que

foi obtido o chamote se mantém inerte, e a partir do momento que passa a temperaturas mais elevadas, têm início a reações físico-químicas com esse material, o que explica os resultados positivos.

Figura 4 - Resultados da compressão mecânica



Fonte: Autoria própria (2015)

4 Considerações finais

Em âmbito regional, depara-se com o descaso com o meio ambiente, uma vez que o resíduo gerado no processo industrial da cerâmica vermelha é disposto em locais inadequados, o que mostra a importância desse estudo. A utilização do chamote vem contribuir no gerenciamento de resíduos sólidos na cerâmica vermelha, reduzindo custos com extração de matéria-prima, aumentando inclusive a vida útil das jazidas e agregando valor econômico ao resíduo.

Os resultados de Classificação do resíduo segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004), permitiu identificar a presença de manganês em concentração superior ao padrão estabelecido, classificando o resíduo como não perigoso - Classe II A - Não Inerte.

Os resultados dos corpos-de-prova indicam que a formulação F4 (20% de chamote), mostrou-se satisfatória dentro da escala laboratorial, o que leva a concluir que até 20% de chamote incorporado na massa cerâmica possibilita a produção de peças com qualidade dentro dos parâmetros estabelecidos.

Importante destacar que os resultados obtidos nas diferentes formulações ensaiadas, especialmente de Retração Térmica Linear de Secagem, permitiram a diminuição da retração do produto durante a secagem, o que possibilitou menos perda de peças cerâmicas em relação à dimensão pré-estabelecida pela NBR 15270 (ABNT, 2005) especificado no item “4.5.2 Dimensões de Fabricação”, sendo o valor permitido para tolerância especificada no item “5.1 Tolerância

Dimensional”, correspondente a ± 3 mm. Considerando uma menor retração da peça crua, possibilita menor chance de trinca no produto final.

No caso da Absorção de água, o desempenho do produto com resíduo acabou sendo inferior a STD (Padrão), devendo ser analisado com atenção, uma vez que a peça cerâmica tem pior desempenho em contato com a água, porém os dados obtidos atendem à norma técnica. Com relação ao ensaio de compressão mecânica, verificou-se que a peça manteve um padrão de qualidade com emprego do chamote, comprovando a viabilidade do estudo em escala laboratorial.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e ao CAPES e a todas as empresas que colaboraram direta ou indiretamente para o desenvolvimento desse trabalho.

Referências

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos: classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: 2004, 71p.

_____. **NBR 10005**: Resíduos sólidos: lixiviação de resíduos. Rio de Janeiro, 2004, 16p.

_____. **NBR 10006**: Resíduos sólidos: solubilização de resíduos: Rio de Janeiro, 2004, 3p.

_____. **NBR 10007**: Resíduos sólidos: amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004, 21p.

_____. **NBR 15270**: Componentes cerâmicos: parte 3: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação: métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005. 27p.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SANTA CATARINA – ALESC. **Documentário Contará a História da Cerâmica Vermelha**. 18 dez. 2012, p. 42-43.

BRASIL, Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010. Política nacional dos resíduos sólidos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Seção 1, p.3.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CONSTRUÇÃO - CBIC. **Construção Civil**: Análises e Perspectivas. Brasília, dezembro 2010.

DIAS, L.M. *et al.* Alternativa de destinação final do lodo de estação de tratamento de água: fabricação de blocos cerâmicos. Congresso Interamericano de Engenharia Ambiental e Sanitária, San Juan, **Anais...** San Juan: AIDIS, Agosto de 2004, p. 1.

DONDI, M. Caracterização Tecnológica dos materiais argilosos: métodos experimentais e interpretação dos dados. **Cerâmica Industrial**, v. 11, n. 3, p. 36-40, 2006.

FACINCANI, E. **Tecnologia Cerâmica**: Cerâmica estrutural. Tradução de Géol Jaime Pedrassani. São Paulo: Faenza Editrice do Brasil, 2002. 276p.

FERNANDES, P, *et al.* Estudo da Diminuição da Rugosidade da Superfície de telhas cerâmicas. **Cerâmica Industrial**, v. 17, n.5-6, p. 42-46, 2012.

GOUVEIA, F.P., SPOSTO, R.M. Incorporação de chamote em massa cerâmica para a produção de blocos. Um estudo das propriedades físico-mecânicas. **Cerâmica**, v. 55, n. 336, p. 415-419, 2009.

MARINO, L.F.B e BOSCHI, A.O. **A expansão térmica de materiais cerâmicos**. Cerâmica Industrial, V. 3, n. 1-2, p. 17-21, 1998.

RIBEIRO, M. J.; FERREIRA, A. A. L.; LABRINCHA, J. A. Aspectos fundamentais sobre a extrusão de massas de cerâmicas vermelhas. **Cerâmica Industrial**, v. 8, n. 1, p. 37-42, 2003.

RIELLA, H.G. **Cerâmica: dos minerais à porcelana**. 1. ed. São Paulo: TecArt, 2010. 157p.

SANTA CATARINA, Lei nº 12.874 de 22 de janeiro de 2004. **Morro da Fumaça é a Capital Catarinense da Cerâmica Vermelha**. 2004.

TELOEKEN, A.C. *et al.* Utilização de lodo galvânico como matéria-prima em cerâmica vermelha e caracterização dos corpos cerâmicos obtidos quanto as propriedades tecnológicas e a imobilização de metais. **Cerâmica Industrial**, v. 16, n. 2, p. 14-19, 2011.

US EPA. **Test Method for Evaluating Solid Waste**. Report Number SW-846, 3rd. ed., v. 1 (Test method 3810) Office of solid Waste and Emergency Response, Washington, DC, 1986.