

## III-024 Estudo da viabilidade do uso de Resíduos (Lama de Hidrofiltro e Pó da Regeneração da Areia de Moldagem) para a Produção de Tijolos Queimados.

### **Raquel Luísa Pereira Carnin<sup>(1)</sup>**

Química Industrial pela Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE). Mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Doutora em Química Inorgânica pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Pesquisadora da Tupy.

### **Gilberto Capistrano Correa<sup>(2)</sup>**

Tecnólogo em Empreendedorismo pela Sociedade Educacional de Santa Catarina. Pós Graduação em Gestão Ambiental pelo Instituto Brasileiro de Pós Graduação e Extensão.

### **Marilena Valadares Folgueras<sup>(3)</sup>**

Engenheira de materiais pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Doutora em Engenharia Mecânica, com temática voltada a Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Professora e Pesquisadora da Universidade Estadual de Santa Catarina (UDESC).

### **Luis Veriano de Oliveira Dalla Valentina<sup>(4)</sup>**

Engenheiro Mecânico pela Universidade de Caxias do Sul (UCS). Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Professor e Pesquisador da Universidade Estadual de Santa Catarina (UDESC).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua: Victor Konder, 600 – Bairro: Iririú - Joinville – Santa Catarina - CEP: 89.227-240 - Brasil - Tel: +55 (47) 4009-8851 - Fax: +55 (47) 4009-8641 - e-mail: [raquel@tupy.com.br](mailto:raquel@tupy.com.br)

## **RESUMO**

Este trabalho é o resultado do projeto de parceria de pesquisa com a empresa Tupy S.A, Universidade do Estado de Santa Catarina e a Cerâmica Cegel sobre o Estudo da Viabilidade do Uso dos Resíduos: Lama do Hidrofiltro e do Pó da Regeneração da Areia de Moldagem para a produção de tijolos cerâmicos.

O emprego em materiais da construção civil tem sido indicado como a principal possibilidade de utilização segura para os resíduos sólidos. Assim o objetivo deste trabalho foi analisar com base em estudos de laboratório e industriais, os aspectos tecnológicos e ambientais da utilização dos resíduos: Lama de Hidrofiltro e Pó da Regeneração da Areia de Moldagem na produção de tijolos cerâmicos. Em laboratório foram caracterizados os resíduos através de análises químicas, granulométricas, ambientais e toxicidade. Foram avaliadas as características dos corpos de prova produzidos com adições de 5, 10, 20 e 30% de Lama de Hidrofiltro na massa cerâmica. Estudou-se também o efeito de diferentes temperaturas de queima. As propriedades avaliadas foram retração linear, variação de perda de massa e densidade. Os estudos em planta industrial foram realizados na produção de lotes de tijolos cerâmicos de 6 furos sem e com 7% dos resíduos Lama de Hidrofiltro e Pó de Regeneração. Avaliaram-se as propriedades geométricas, resistência à compressão e emissões gasosas. Através dos resultados da indústria comprovou-se a similaridade e conformidade dos tijolos cerâmicos, de acordo com as normas vigentes, produzidos com 7% de ambos os resíduos, permitindo a sua comercialização. Esta dosagem de resíduos não elevou a concentração de poluentes nas emissões gasosas. Por fim, pode-se concluir que a utilização dos resíduos: Lama de Hidrofiltro e Pó da Regeneração mostraram-se perfeitamente possível para fabricação de produtos de cerâmica vermelha para a construção civil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lama do Hidrofiltro, Pó da Regeneração da Areia de Moldagem, Cerâmica Vermelha, Tijolos.

## **INTRODUÇÃO**

Dentro do universo das indústrias de fundição, assim como em todo setor produtivo, existe o evidente esforço para enquadrar-se nas normativas que tratam da geração, reuso reciclagem e/ou descarte de resíduos sólidos. É evidente que o maior esforço está relacionado à destinação da areia de fundição, o que é justificado pelo volume de areia usada que é gerado anualmente. Entretanto é necessário o desenvolvimento de metodologias para avaliar a viabilidade de uso de outros resíduos gerados pelas fundições, incluindo resíduos oriundos de sistemas de despoejamento e de tratamento de efluentes.

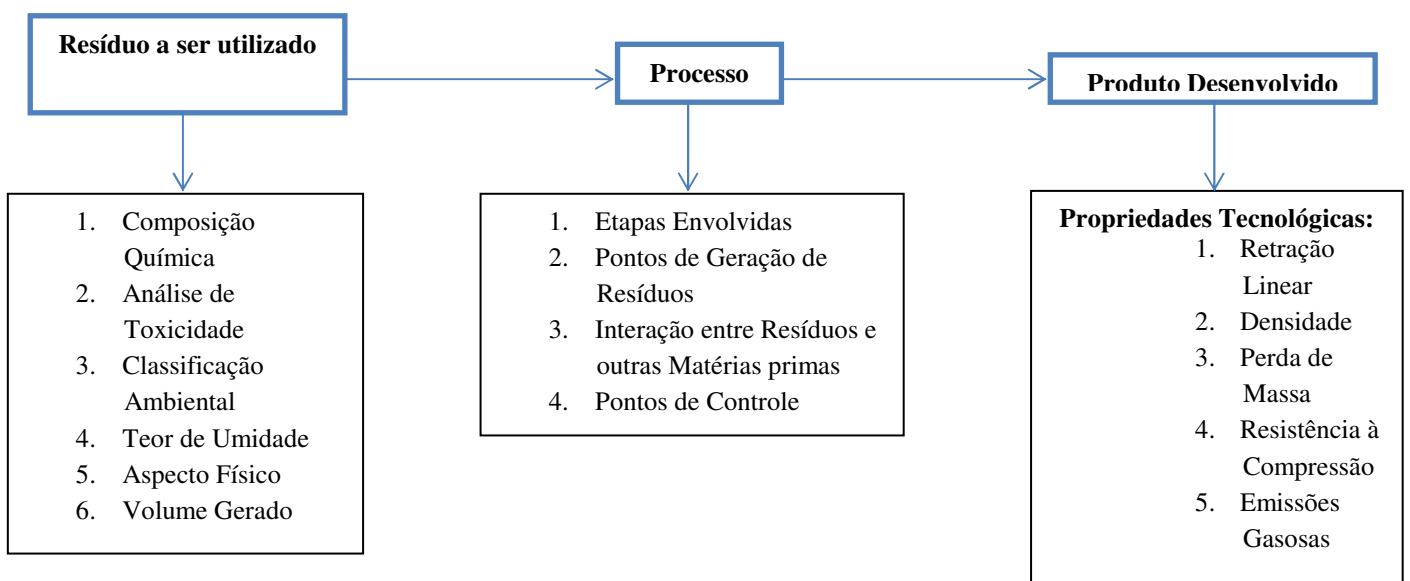
A indústria da construção civil apresenta-se dentro do contexto, com um grande potencial para a solução desses problemas, pela viabilidade que apresenta de incorporação dos resíduos nos materiais de construção, possibilitando, ainda, redução nos custos dos produtos da construção. Logo, o desenvolvimento tecnológico de processos associados à reciclagem de resíduos industriais passa a ter hoje enorme relevância. O aumento no descarte de resíduos sólidos, bem como os problemas advindos do consumo de matérias primas naturais, vem impulsionando os estudos sobre o aproveitamento desses resíduos como novos materiais, reduzindo o seu impacto ambiental e viabilizando a redução de custos industriais.

Para o desenvolvimento de propostas viáveis deve-se procurar por alternativas que conciliem processos de baixo custo com a maximização do valor agregado ao resíduo industrial. Do ponto de vista do custo de processo deve-se pensar em custos de transporte do material, necessidade de etapas de beneficiamento como moagem ou secagem do material e necessidade de envolver processos químicos adicionais. Do ponto de vista do valor agregado é sabido que, em geral, quanto maior o valor agregado ao resíduo, maior a complexidade do processo em que será utilizado, entretanto deve-se buscar constantemente o investimento nestas propostas mais complexas como extração de metais de interesse para comercialização, ou uso especial dos materiais como alternativas.

Do ponto de vista ambiental deve-se lembrar de que o resíduo a ser utilizado não pode ser empregado em processo que resulte em danos ambientais maiores do que aqueles resultantes do simples descarte dos mesmos. Assim, deve-se sempre avaliar os efeitos ambientais do novo processo através da avaliação dos possíveis efluentes gerados, dos resíduos eliminados em sistemas de despoejamento e, não menos importantes, das características toxicológicas do produto desenvolvido.

Com base no que foi dito deve-se considerar para o desenvolvimento de qualquer estudo no sentido de busca de alternativas para o uso de resíduos a necessidade de conhecer o material a ser utilizado; mapear o processo a ser empregado; avaliar o comportamento do produto desenvolvido. Na Figura 1.1 são representados estes três pontos buscando apresentar parâmetros utilizados para controle.

Considerando o que foi dito, foi proposto o estudo do uso de resíduo proveniente da preparação de areia de moldagem/desmoldagem da linha EII da Fundição de Blocos, comumente chamado de resíduo: Lama do Hidrofiltro e também do Pó da Regeneração da Areia de Moldagem para a produção de tijolos convencionais. Para isto é fundamental conhecer as características do resíduo e das argilas utilizadas para preparar os tijolos. Conhecer o processo de fabricação a ser utilizado; realizar os testes de incorporação dos resíduos no produto e no processo; avaliar os efeitos do resíduo sobre o processo de fabricação.



**Figura 1.1. Esquema das etapas a serem consideradas no desenvolvimento de um material com base em resíduos industriais.**

## O PROCESSO DE FUNDIÇÃO

A fundição é o método mais curto para se obter peças metálicas acabadas. Consiste, principalmente em verter (vazamento) metal líquido em caixas de moldagem, com machos montados em seu interior, que caracterizará a peça após a solidificação do metal.

Em síntese, os moldes conformam as faces externas ao passo que os machos conformam as faces internas da peça metálica.

A fundição emprega nos seus processos modelos, moldes e machos que promovem às peças fundidas a sua conformação, de acordo com as etapas existentes de moldagem, fusão e acabamento.

### As definições dos processos aplicados na fundição:

- a) **Modelos:** O modelo trata-se de uma réplica perfeita da peça que será produzida. O modelo pode ser fabricado em madeira, metal, resinas ou outros materiais (PERINI, 1986).
- b) **Machos:** Algumas peças a serem fundidas podem apresentar detalhes ou cavidades. Para que se produzam as superfícies internas em certas peças fundidas, coloca-se no interior dos moldes de areia, peças sólidas ou machos feitos de uma mistura compatível com o metal a ser vazado e com o tamanho da peça fundida. Após o vazamento, o macho é removido do interior da peça, deixando a forma interna desejada (KONDIC, 1973).
- c) **Moldes:** O molde tem por função oferecer o formato negativo da peça na qual será vazado o metal líquido. O molde é feito por empacotamento de areia, em torno do modelo, toda a estrutura estando contida numa caixa de moldagem. O molde é feito em duas partes: uma superior (caixa superior) e outra inferior (caixa inferior) (CAMPOS FILHO, 1978).
- d) **Moldagem:** No processo de moldagem a produção de uma peça fundida de projeto simples é feita por meio das seguintes etapas: a partir do desenho da peça, fabrica-se o modelo, em torno do qual soca-se a mistura de moldagem, contendo areia obtida em depósitos naturais e aditivos como a argila e o pó de carvão, usando-se caixas de moldagem para suportar as faces laterais do molde; remove-se o modelo, colocam-se os machos em posição, fecham-se as diferentes partes do molde e verte-se o metal na cavidade resultante. O material da moldagem mantém a forma da cavidade até a solidificação do metal vazado nele.
- e) **Fusão:** Nesta etapa se obtém o estado líquido do metal com a utilização de fornos de fusão. A alimentação do metal líquido é feita por meio de um sistema de canais existentes no molde. Os canais de alimentação alargados ou massalotes são abertos para permitir que o metal escorra para a cavidade do molde.
- f) **Acabamento** – Após a solidificação e resfriamento a peça passa pelo processo de desmoldagem, por meio da vibração do conjunto de moldagem para retirar a mistura de areia e posteriores etapas do acabamento. A areia é removida e a limpeza é operacionalizada através de jateamento, escovação e esmerilhagem. A quebra de canais consiste no ato de colocar a peça em local adequado para então quebrar manualmente, com marreta e martelo, os canais, que não fazem parte da peça e que são classificados como sucata. O jateamento com granalha de aço consiste em colocar a peça, já sem canais em uma câmara na qual se realiza o jateamento com granalha de aço (pequenas esferas de aço) a fim de deixar a peça mais limpa. No acabamento final a escovação e a esmerilhagem consistem em métodos para a remoção de rebarbas<sup>1</sup>, com o uso de esmeris (CHEGATTI, 2004).

Na Figura 1.2 está ilustrado o fluxograma de geração de resíduos de fundição, incluindo os resíduos Lama de Hidrofiltro e o Pó da Regeneração da Areia de Moldagem.

---

<sup>1</sup> São restos de metais que aparecem nas peças, que estão fora das dimensões da peça desejada.

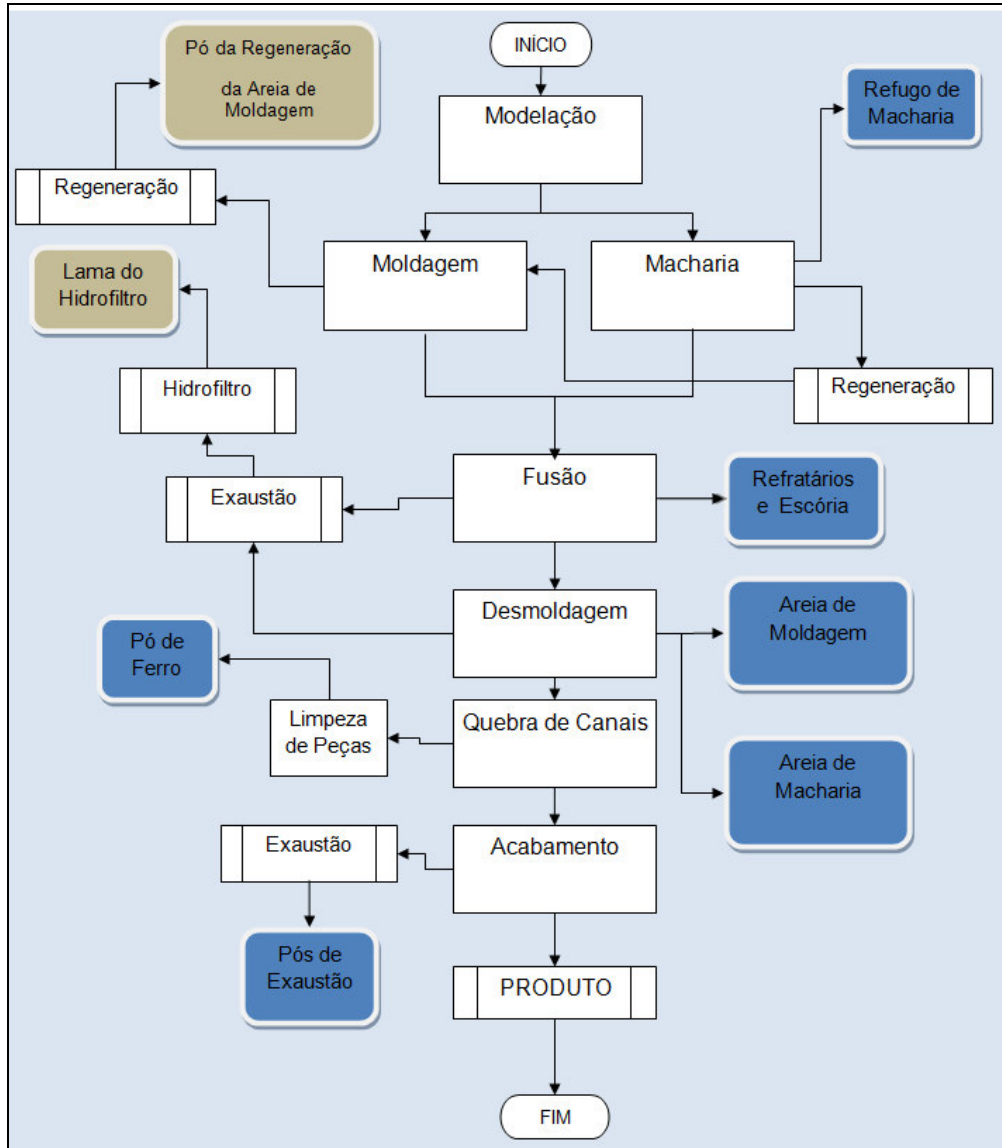


Figura 1.2. Fluxograma do Processo de Fundição e Geração de Resíduos.

## FABRICAÇÃO DE TIJOLOS DE ARGILA VERMELHA

### Matéria prima Convencional

A matéria-prima básica usada na fabricação de tijolos é a argila. Distinguem-se dois tipos de argila: argila branca e argila vermelha.

A argila é um material proveniente da decomposição ocorrida durante milhões de anos das rochas feldspáticas, graníticas e basálticas, muito abundantes na crosta terrestre. São classificadas em duas categorias: argilas primárias e argilas secundárias ou sedimentares [PORTO ROSSI, 2003]. As argilas primárias são formadas no mesmo local da rocha mãe tendo pouca influência dos agentes atmosféricos. Possuem partículas mais grossas e coloração mais clara, são pouco plásticas e possuem grande pureza, com alta fusibilidade. O caulim é um exemplo deste tipo de argila.

As argilas secundárias ou sedimentárias são materiais que sofrem grande influência de agentes atmosféricos, como a ação das águas, dos ventos, descargas elétricas e até mesmo o degelo de geleiras. A água, em especial, fragmenta a argila em diferentes tamanhos, fazendo com que as partes mais pesadas se depositem primeiro e as outras vão se depositando de acordo com suas densidades, sendo que as menos densas se depositam onde a água pára.

As argilas sedimentares são mais finas e plásticas do que as primárias, podendo, no entanto, conter impurezas ao se misturarem com matérias orgânicas [PORTO ROSSI, 2003].

Argilas e caulins são materiais que possuem a propriedade de quando misturados com água, em devidas proporções, apresentarem a possibilidade de serem amassados e trabalhados mantendo a forma que se deseja. Quando secos e ainda não sinterizados, basta adicionar água para que possam recuperar a plasticidade.

### **UTILIZAÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS ALTERNATIVAS NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS**

As atividades industriais produzem uma determinada quantidade de substâncias não inerentes aos objetivos da produção em si. Na maior parte dos casos, estes produtos secundários não podem ser reutilizados diretamente, constituindo assim, resíduos industriais que conduzem à problemática da sua correta destinação final [DONDI *et al.*, 1998].

As massas cerâmicas utilizadas na indústria de tijolos são de natureza heterogênea, constituídas por matérias primas argilosas com um vasto espectro de composição, sendo extraídas normalmente dos depósitos de argila situados nas imediações das olarias. Por este motivo, tais massas têm a capacidade de tolerar a presença de materiais alternativos (resíduos), utilizando estes como aditivos presentes em quantidades significativas.

A incorporação destes aditivos na massa cerâmica para a fabricação de tijolos implica sempre em obter, pelo menos, duas vantagens de caráter ambiental: a utilização e a inertização de resíduos, sem contar a economia de matérias primas argilosas [DONDI *et al.*, 1998].

Além disso, existem ainda eventualmente os efeitos positivos nas propriedades dos produtos semi acabados e acabados, como na retração, porosidade, resistência mecânica, redução de perdas na secagem e diminuição da densidade da massa cerâmica sinterizada.

O consumo de energia pode ser reduzido graças à contribuição calorífica proporcionada por muitos tipos de matéria-prima alternativa [JUNGE e HAUCK, 1997].

Alguns resíduos já foram estudados como matérias primas para a composição da massa cerâmica de tijolos, entre eles, pode-se citar: cinzas volantes, matéria prima alternativa de fusão, matéria prima alternativa redutora de plasticidade.

### **MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS**

Os materiais estudados foram os resíduos na forma de lama de hidrofiltro e de pó da regeneração da areia de moldagem. Estes foram caracterizados quanto à composição química, granulometria e análise ambiental do resíduo, como o ensaio de lixiviação, solubilização e toxicidade.

#### **Ensaio de Lixiviação e Solubilização**

O ensaio de lixiviação é utilizado tanto para fins científicos, quanto para caracterizar a periculosidade de um resíduo para efeito de controle ambiental, reproduzindo em laboratório fenômenos como arraste e diluição que ocorrem pela passagem da água através do resíduo quando exposto à intempéries.

O ensaio de solubilização é aplicado somente para resíduos no estado físico sólido e é utilizado para diferenciar resíduos entre Classe II A e B de acordo com a norma NBR 10.004.

A caracterização e classificação ambiental da Lama do Hidrofiltro e do Pó da Regeneração da Areia de Moldagem foram realizadas no Laboratório da Tasca localizado em Paulínia, SP. A classificação foi realizada pela comparação dos resultados obtidos nas análises com os padrões que se encontram na Norma ABNT NBR 10.004 – Resíduos Sólidos: Anexo F – Concentração – Valor Máximo no extrato obtido pelo teste de lixiviação; Anexo G – Padrões para o teste de solubilização.

#### **Ensaio de Toxicidade**

Foi realizado o estudo de toxicidade aguda do extrato solubilizado da ADF conforme Portaria FATMA nº 17/02. Os testes de toxicidade aguda foram realizados no Laboratório de Toxicologia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. A metodologia para realização dos testes de toxicidade aguda com o microorganismo *Daphnia magna* seguiu a NBR 12.713 de 2003.

### **Análise Térmica**

Foram realizados ensaios de análise térmica diferencial (DTA), de perda de massa (TG) de resíduo Lama de Hidrofiltro. Para realizar os ensaios de DTA e TG, foi coletado entre 50 e 100 mg de pó da amostra, o qual foi colocado em um cadinho de alumina e depois inserido no equipamento para análise. O ensaio foi realizado nos laboratórios da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC em Joinville.

### **Análise de Fluorescência de Raios X**

Este método foi escolhido por ser uma técnica que permite determinar quantitativamente quase todos os elementos da tabela periódica para amostras sólidas. A análise de fluorescência foi realizada em equipamento da PHILIPS, modelo PW 2400 do Laboratório LAMIR da Universidade Federal do Paraná - UFPR. Os resultados foram interpretados com o software semi-Q da PHILIPS com resultados normalizados para 100%. Esta normalização leva em conta o resultado de uma análise de perda ao fogo, realizada separadamente, onde a amostra é aquecida a 1000°C por um período de três horas.

### **Fabricação dos Tijolos**

Foram confeccionados tijolos comerciais de seis furos, conforme a norma NBR 7171/92, com as seguintes misturas: argila + 7% de Resíduo. Os tijolos foram fabricados na Olaria Cegel da região de Joinville/SC.

### **Ensaio de Compressão**

O ensaio de compressão foi realizado segundo a norma brasileira NBR6461/83, no Laboratório de Ensaios Mecânicos da UDESC-Joinville. Primeiramente os corpos de prova foram revestidos com uma camada de argamassa nas superfícies superior e inferior para homogeneizar as superfícies de contato com os cabeçotes da máquina de compressão. Em seguida, os tijolos foram submersos em água por 24 horas, retirados da água, ligeiramente secados nas superfícies e ensaiados.

O ensaio foi realizado em uma máquina universal de ensaios mecânicos a uma velocidade de aplicação de carga de 1 mm/s.

Como a área da superfície do tijolo não era a mesma da superfície do cabeçote da máquina, calculou-se a área de contato entre o tijolo e o cabeçote que, com os resultados da carga de ruptura obtidos no ensaio de compressão, determinaram-se as tensões de compressão dos tijolos através da Equação 2.

$$RC = \frac{C_{rup} \times 9,8}{AC} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: RC = Resistência à Compressão [MPa]

$C_{rup}$  = Carga de ruptura [kgf]

AC = Área de Contato [m<sup>2</sup>]

### **Análises dos Gases Emitidos**

O estudo das análises dos gases emitidos foi realizado pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI localizado em Blumenau – SC.

As amostragens foram realizadas em um forno cerâmico contínuo, tipo túnel. Este forno utiliza biomassa (serragem) como combustível com operação em regime contínuo (24h/d). Segundo informações fornecidas pela Olaria, nesta biomassa de madeira não existem resíduos advindos de indústria moveleira (que normalmente são tratados com substâncias halogenadas / organocloradas cupinícidas).

O calor gerado da combustão é utilizado para secagem e cura (queima) das peças, em contato direto sobre as mesmas, no interior deste forno.

Para o forno amostrado, o consumo médio de serragem durante 24 horas é de aproximadamente 40 m<sup>3</sup>, o que resulta em uma Potência a térmica real de aproximadamente 2,0 MW.

Os efluentes gasosos resultantes das combustões/queima da serragem mais eventuais arrastes de massa cerâmica, são emitidos diretamente para atmosfera através da chaminé deste forno.

Para uma correta metodologia de amostragem, foram tomadas como base as normas técnicas da ABNT, citadas a seguir: NBR 10700 – Planejamento de amostragem em dutos e chaminés de fontes estacionárias; NBR 10701 – Determinação de pontos de amostragem em dutos e chaminés de fonte estacionária.

As amostragens para as análises foram realizadas com o auxílio de Plataforma e flanges construídos na chaminé, através dos quais foi possível a adaptação de sondas para a determinação da vazão/temperatura dos gases e coletas de amostras para as análises, utilizando-se amostragens de grandes volumes.

Para uma correta metodologia de análise, foram tomadas como base as seguintes normas:

- Determinação da vazão / temperatura e da umidade: NBR 11967; NBR 10702; NBR 11966;
- Determinação de materiais particulados: NBR 12019; NBR 12827;
- Determinação de CO<sub>2</sub>, CO, e O<sub>2</sub>: Foi utilizada a metodologia instrumental. Os gases foram devidamente coletados e analisados “in loco” com um analisador instantâneo de gases, devidamente calibrado de fábrica;
- Densidade colorimétrica: Foi utilizada a metodologia visual utilizando-se a conhecida e aceita Escala Ringelmann para fumaça preta.

## RESULTADOS

### Caracterização dos Materiais

As Tabelas 4.1 e 4.2 apresentam as identificações gerais destes resíduos. Esta identificação inclui a classificação do resíduo, o que foi definido com base nos dados de análises químicas e análises ambientais. Nas Figuras 4.1 e 4.2 é possível visualizar as características físicas dos resíduos: Lama de Hidrofiltro e do Pó da Regeneração da Areia de Moldagem.

**Tabela 4.1. Identificação da Lama do Hidrofiltro.**

Denominação	Lama do Hidrofiltro da linha EII
Quantidade Gerada	16,2 Toneladas por mês
Ponto de Geração	Caçamba 508 da Linha EII
Descrição do resíduo	Originário do processo da coleta úmida (hidrofiltros) de material particulado contido nas exaustões dos sistemas de preparação de areia, moldagem e desmoldagem.
Classificação ambiental do resíduo	Classe II A

**Tabela 4.2. Identificação do resíduo do Pó da Regeneração da Areia de Moldagem.**

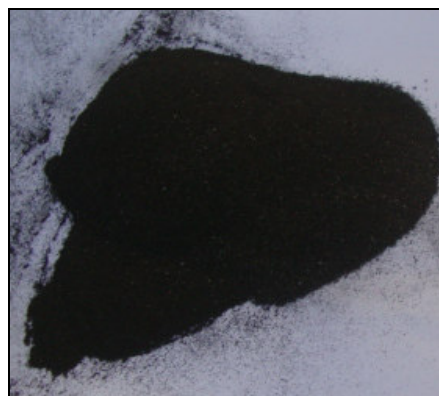
Denominação	Pó da Regeneração da Areia de Moldagem
Quantidade Gerada	22 Toneladas por mês
Ponto de Geração	Regeneração à Úmido da Areia de Moldagem
Descrição do resíduo	Originário do processo à úmido da regeneração da areia de moldagem.
Classificação ambiental do resíduo	Classe II A

A Tabela 4.3 apresenta a composição química do resíduo Lama do Hidrofiltro, com base em óxidos. O elevado teor de sílica é atribuído à areia, que é a matéria prima principal na confecção dos moldes. A presença de alumina está associada à bentonita, que em sua composição básica considera-se a presença combinada de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub>. Nesta bentonita também estão presentes íons associados a K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, CaO, MgO. Oxido de ferro também pode estar presente na bentonita. A perda ao fogo de 6,78% em peso está relacionada à eliminação de água, decomposição da bentonita e a oxidação do carvão.

Na Tabela 4.4 é possível visualizar os principais óxidos presentes no Pó da Regeneração da Areia de Moldagem e como trata-se de um resíduo da areia de moldagem, justifica-se a presença de 76,34 de sílica e de 6,23 de alumina, devido a presença da bentonita na composição da areia de moldagem.



**Figura 4.1. Característica Física do Resíduo Lama do Hidrofiltro – Caçamba 508 da Linha E II da Fundição de Blocos.**



**Figura 4.2. Característica Física do Resíduo do Pó da Regeneração da Areia de Moldagem.**

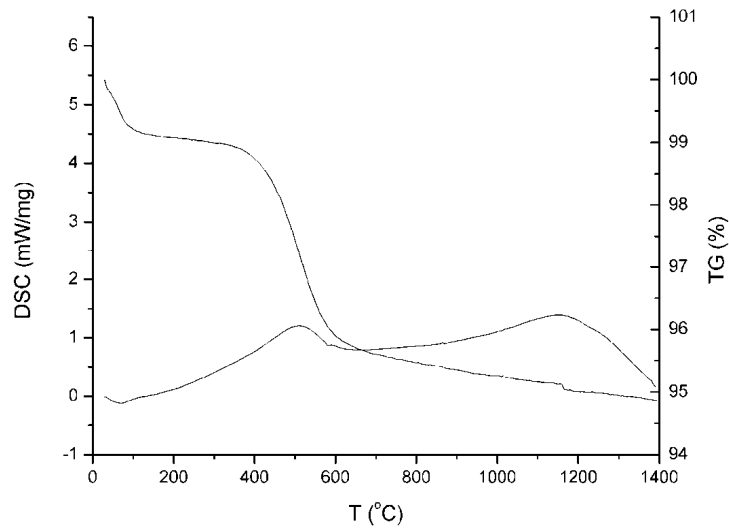
**Tabela 4.3. Composição química da Lama do Hidrofiltro.**

Componente	Percentual em Peso	Componente	Percentual em Peso
SiO <sub>2</sub>	81,7	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,2	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	< 0,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,0	MnO	< 0,1
K <sub>2</sub> O	0,7	BaO	< 0,1
Na <sub>2</sub> O	0,6	ZrO <sub>2</sub>	< 0,1
MgO	0,6	SrO	< 0,1
SO <sub>3</sub>	0,4	ZnO	< 0,1
CaO	0,3	RbO	< 0,1
TiO <sub>2</sub>	0,3	Perda ao fogo	6,78

**Tabela 4.4. Composição química do Pó da Regeneração da Areia de Moldagem.**

Componente	Percentual em Peso
SiO <sub>2</sub>	76,34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,26
MgO	0,73
CaO	3,55





**Figura 4.3. Curva de Análise Térmica da Lama do Hidrofiltro.**

A Tabela 4.5 apresenta também dados relativos às partículas que compõem a Lama do Hidrofiltro. Estes dados estão representados na forma de grau de finura e módulo de finura. Estes valores foram complementados por um ensaio granulométrico convencional. As Figuras 4.4 e 4.5 mostram os resultados de curva de distribuição granulométrica.

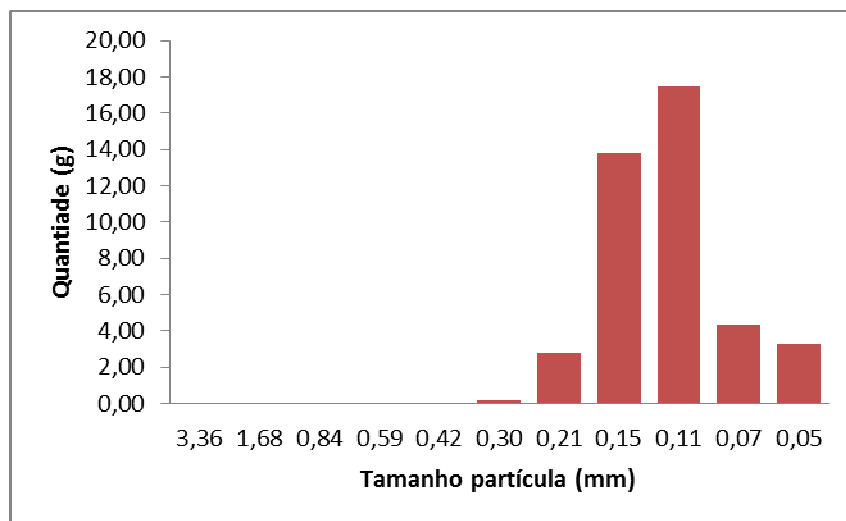
Na Tabela 4.6 são apresentados os resultados relacionados às partículas do Pó da Regeneração da Areia de Moldagem.

**Tabela 4.5. Características Gerais da Lama do Hidrofiltro.**

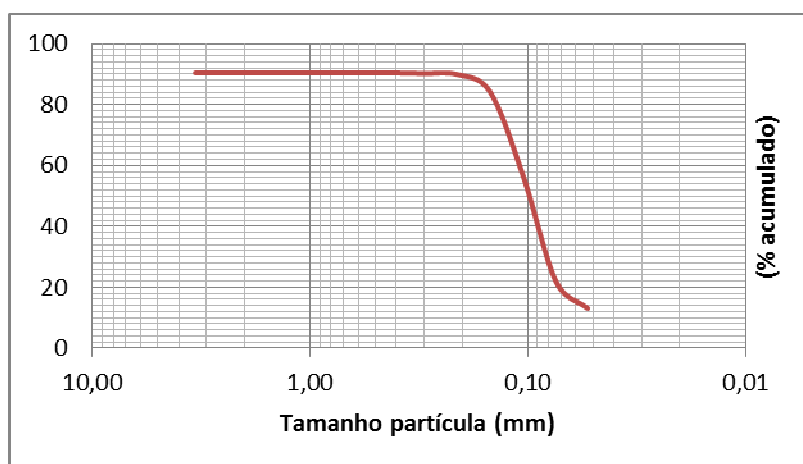
Característica	Resultado (%)
Teor de sólidos	75,5
Perda ao fogo	8,8
Voláteis	1,7
Argila ativa	4,8
Argila AFS	9,7
Teor de finos	21,8
Módulo de Finura	113,07

**Tabela 4.6. Características Gerais do Pó de Regeneração da Areia de Moldagem.**

Característica	Resultado (%)
Perda ao fogo	9,04
Argila ativa	9,6
Argila AFS	16,32
Teor de finos	10,56
% Umidade	1,71
Módulo de Finura	86,89



**Figura 4.4. Curva de Distribuição de Tamanho de Partícula da Lama do Hidrofiltro.**



**Figura 4.5. Curva de Distribuição de Tamanho de Partícula Cumulativa.**

A Figura 4.4 apresenta a distribuição em massa para cada faixa granulométrica. Desta figura define-se que a maior parte do material é constituída por partículas com diâmetro entre 0,15 e 0,11 mm, e que não existem partículas com diâmetro superior a 0,42 mm. A Figura 4.5 mostra a distribuição percentual cumulativa, que permite identificar que 50% do material possui tamanho de partícula inferior a 0,1 mm.

Este resultado permite classificar a Lama do Hidrofiltro como sendo um material fino quando comparado com areias comerciais.

Os resultados de análise de toxicidade, conforme dados das Tabelas 4.7 e 4.8 mostram que os resíduos (Lama do Hidrofiltro e o Pó da Regeneração da Areia de Moldagem) foram classificados como não tóxicos. Os experimentos foram desenvolvidos de acordo com as normas DIN e NBR e realizados no Laboratório de Toxicidade da Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

Foi realizada análise no resíduo areia de moldagem, também chamado de Areia Descartada de Fundição (ADF), pois é este resíduo que passará pelo sistema de regeneração à úmido e conseqüentemente ocorrerá a geração do Pó de Regeneração. A areia descartada de fundição não apresentou toxicidade aguda.

**Tabela 4.7. Resultado do ensaio de toxicidade aguda da Lama do Hidrofiltro com *Daphnia magna*.**

Amostra	pH	Fator de Diluição - FD	Limite Máximo Toxicidade - FD	Resultados
Lama do Hidrofiltro	6,89	2	4	Não tóxica

**Tabela 4.8. Resultados dos testes de toxicidade aguda com *Daphnia magna* do Pó de Regeneração Proveniente da Areia Descartada de Fundição (ADF).**

Amostra	pH	Fator de Diluição - FD	Limite Máximo Toxicidade - FD	Resultados
ADF – 1ª réplica	7,62	1	4	Não tóxica
ADF – 2ª réplica	7,48	1	4	Não tóxica
ADF – 3ª réplica	7,44	1	4	Não tóxica
ADF – 4ª réplica	7,66	1	4	Não tóxica
ADF – 5ª réplica	6,90	1	4	Não tóxica

Ainda falando sobre as matérias primas, e considerando que este estudo buscou avaliar o potencial do uso dos resíduos para a produção de tijolos. Com esta intenção foram caracterizadas algumas argilas utilizadas por uma olaria da região para a fabricação de tijolos. Estas argilas foram caracterizadas por difração de raios-x e análise térmica. Os dados mostraram que as argilas utilizadas por essa olaria tendem a ser refratárias, com a possibilidade de presença de pequenos teores de fundentes.

Nas Tabelas 4.9 e 4.10 estão apresentados os resultados de lixiviação e solubilização dos respectivos resíduos (Lama do Hidrofiltro e do Pó da Regeneração da Areia de Moldagem). Segundo a comparação realizada entre o lixiviado e o solubilizado, apresentada na Tabela 9 a lama é classificada como Resíduo Classe IIA – NÃO INERTE, em função dos elementos alumínio, ferro e sódio com valores superiores ao padrão na análise feita no solubilizado. Vale salientar que este resíduo não é perigoso, de acordo com os resultados obtidos do lixiviado.

**Tabela 4.9. Parâmetros químicos no lixiviado, solubilizado da Lama do Hidrofiltro.**

Parâmetros	Lixiviado (mg/L)		Solubilizado (mg/L)	
	NBR 10005		NBR 10006	
	Resultados	VMP <sup>(1)</sup>	Resultados	VMP <sup>(1)</sup>
Alumínio			<b>8,93</b>	0,2
Arsênio	< LQ	1,0	0,006	0,01
Bário	0,80	70	1,92	0,7
Cádmio	< LQ	0,5	< LQ	0,005
Chumbo	< LQ	1,0	< LQ	0,01
Cianetos			< 0,005	0,07
Cloretos			1,35	250
Cobre			0,02	2,0
Cromo Total	0,005	5	0,03	0,05
Fenóis totais			0,0039	0,01
Ferro			<b>8,00</b>	0,3
Fluoretos	0,068	150	0,62	1,5
Manganês			0,07	0,1
Mercurio	< LQ	0,1	< LQ	0,001
Nitrato (expresso em N)			0,21	10,0
Prata	< LQ	5,0	< LQ	0,05
Selênio	< LQ	1,0	< LQ	0,01
Sódio			<b>215</b>	200
Sulfato (expresso em SO <sub>4</sub> )			9,37	250
Zinco			0,67	5,0

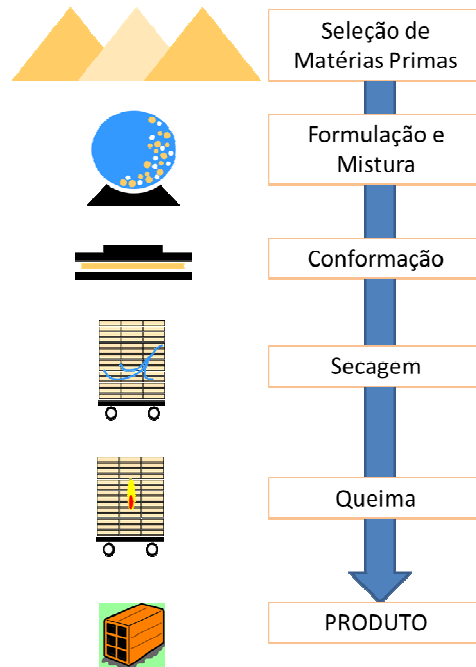
O resíduo Pó da Regeneração também foi classificado como resíduo Classe II A, sendo que os parâmetros Alumínio, Ferro ultrapassaram os valores máximos permitidos pela NBR 10.004.

**Tabela 4.10. Parâmetros químicos no lixiviado, solubilizado do Pó da Regeneração da Areia de Moldagem.**

Parâmetros	Lixiviado (mg/L)		Solubilizado (mg/L)	
	NBR 10005		NBR 10006	
	Resultados	VMP <sup>(1)</sup>	Resultados	VMP <sup>(1)</sup>
Alumínio			<b>0,73</b>	0,2
Arsênio	< LQ	1,0	0,004	0,01
Bário	0,17	70	0,07	0,7
Cádmio	< LQ	0,5	< LQ	0,005
Chumbo	< LQ	1,0	< LQ	0,01
Cianetos			0,017	0,07
Cloretos			3,27	250
Cobre			0,003	2,0
Cromo Total	0,002	5	0,002	0,05
Fenóis totais			0,011	0,01
Ferro			<b>0,43</b>	0,3
Fluoretos		150	0,31	1,5
Manganês			0,008	0,1
Mercurio	< LQ	0,1	< LQ	0,001
Nitrato (expresso em N)			0,4	10,0
Prata	< LQ	5,0	< LQ	0,05
Selênio	< LQ	1,0	< LQ	0,01
Sódio			42,8	200
Sulfato (expresso em SO <sub>4</sub> )			53,8	250
Zinco			0,03	5,0

### Estudo em Laboratório

O processo de fabricação do tijolo pode ser definido como a combinação das etapas de seleção das matérias primas; formulação e mistura; conformação; secagem; queima. Estas etapas estão representadas esquematicamente na Figura 4.6.



**Figura 4.6. Esquema Representativo das Etapas Envolvidas na Produção de Tijolos convencionais.**

O uso dos resíduos pode interferir nas etapas de produção dos tijolos da seguinte forma:

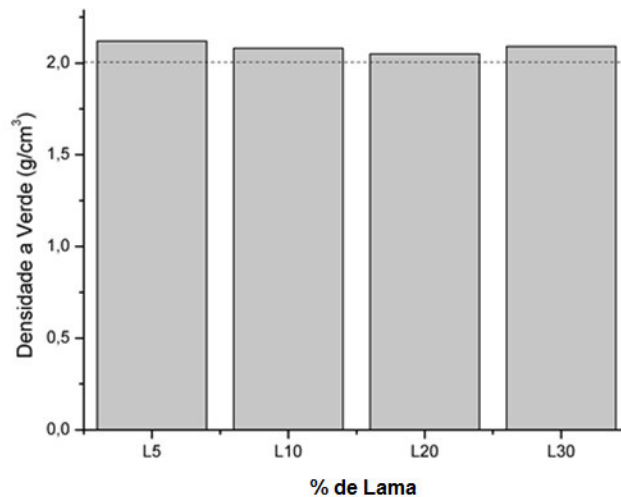
- Na seleção das matérias primas, a presença dos resíduos interfere pelo fato de ser um material de granulometria mais fina. A redução do tamanho de partícula pode ser corrigida pelo ajuste das proporções e da qualidade de cada argila a ser introduzida na mistura;
- O uso dos resíduos requer o ajuste da formulação da mistura a ser utilizada, para garantir qualidade da massa para a conformação e qualidade do tijolo após a queima. Entretanto, o uso dos resíduos reduz o consumo de argilas, reduzindo assim, os efeitos negativos resultantes da extração das mesmas;
- Na conformação, o parâmetro que sofre o efeito do uso dos resíduos é a viscosidade da massa resultante e seu comportamento reológico. Este efeito pode ser avaliado através do estudo de comportamento reológico da massa produzida para conformação, ou por testes pilotos de conformação dos tijolos em linha de produção. Esta etapa não tem impacto ambiental a ser controlado ou avaliado.
- Na etapa de secagem, o uso do resíduo não interfere significativamente, desde que a umidade do material seja previamente reduzida, como foi citado acima.
- Na etapa de queima, as temperaturas alcançam valores entre 900 e 1000°C. Estas temperaturas permitem a interação dos resíduos com o ar e com as demais matérias primas utilizadas, conseqüentemente existe a possibilidade de ocorrerem alterações nas características do tijolo produzido. Como características do tijolo devemos considerar: propriedades visuais, dimensionais e estruturais, ou seja, deve-se avaliar a coloração do tijolo, o controle do tamanho e forma dos tijolos e a resistência mecânica dos mesmos.

Para o estudo em laboratório de incorporação dos resíduos em misturas com argilas foi utilizada a Lama do Hidrofiltro submetida ao processo de secagem para remoção da umidade. Este processo tornou-se necessário porque o excesso de água interfere no processo de conformação das misturas para a obtenção dos pequenos

corpos de prova. Esta umidade é mais prejudicial ainda no processo de fabricação do tijolo na olaria, pois neste caso a conformação é feita por extrusão sendo que o excesso de água interfere no comportamento reológico da massa. O excesso de umidade também pode provocar a segregação de parte da umidade e também pode promover a aderência da massa no molde de conformação, provocando a interrupção do processo produtivo para limpeza do molde.

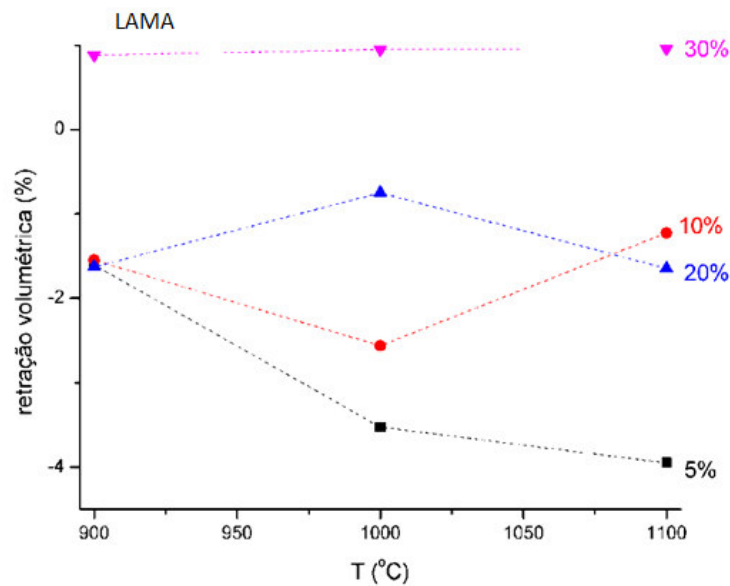
No laboratório foram produzidos corpos de prova, por prensagem uniaxial, aproximadamente nas dimensões de 70x30x7mm com uma carga de aproximadamente de 40 MPa e sua massa total de 25 gramas. As peças foram sintetizadas em temperaturas entre 900 e 1100°C, próximo à temperatura utilizada nas olarias para a sinterização dos tijolos, a taxa de aquecimento utilizada foi de 5°C/min e o tempo de permanência na temperatura máxima foi de 60 minutos. Após a sinterização, foram determinados: retração linear, perda de massa e absorção de água.

As Figuras de 4.7 a 4.10 apresentam os resultados obtidos. A Figura 4.7 apresentou os valores de densidade a verde (antes de queimar) das peças conformadas por prensagem uniaxial. A importância deste resultado é mostrar o quanto a presença da Lama do Hidrofiltro auxilia ou prejudica o processo de conformação ou compactabilidade do material. Percebeu-se que a adição da Lama do Hidrofiltro não interferiu significativamente na densidade a verde. Ou seja, mesmo a Lama do Hidrofiltro sendo mais fina, ela não prejudica a compactação.



**Figura 4.7. Curva de Variação da Densidade em Função do Teor de Lama do Hidrofiltro Combinada com Argila Convencional.**

A Figura 4.8 apresenta os resultados de retração linear em função da temperatura de queima para os materiais preparados com diferentes teores de Lama de Hidrofiltro. Percebe-se que o uso da Lama do Hidrofiltro resulta naturalmente em um efeito de variação volumétrica mesmo em temperaturas inferiores a 900 °C. Para as composições com 5,10 e 15% em peso de Lama de Hidrofiltro a queima a 900 °C já gerou retração linear da ordem de 1,8%. Já a composição contendo 30% em peso resultou em um efeito de expansão. Para a composição contendo 5% em peso de Lama de Hidrofiltro percebe-se o efeito constante de retração com o aumento da temperatura. Este comportamento é o que ocorre quando se utiliza apenas as argilas. Para composições contendo 10 % em peso de Lama de Hidrofiltro existe um efeito inicial de retração, seguido de um efeito de expansão. Para composições contendo 20% em peso de Lama de Hidrofiltro o efeito é inverso, ou seja, ocorre um efeito inicial de expansão seguido de retração linear. Por fim a composição contendo 30% em peso de Lama de Hidrofiltro ocorre expansão em temperatura inferior a 900 °C, sendo que posteriormente não ocorre variação dimensional com o aumento de temperatura.

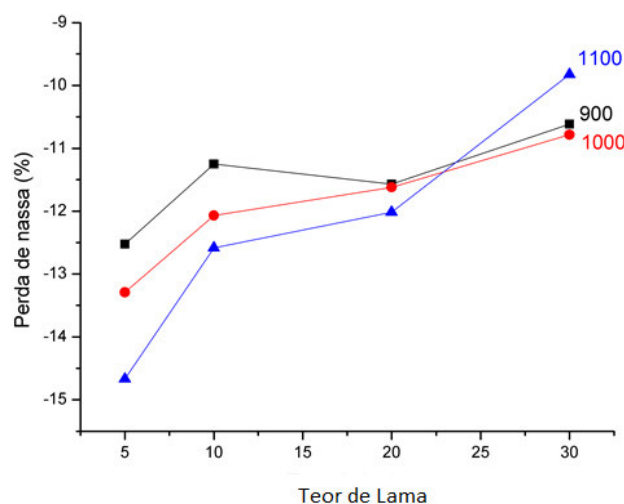


**Figura 4.8. Curva de Variação da Retração Linear em Função da Variação da Temperatura para as Composições Contendo 5, 10, 15 e 20% em Peso de Lama de Hidrofiltro.**

De fato, o que se pode afirmar é que o uso da lama em combinação com a argila resulta em um efeito de expansão térmica que inicia em temperatura inferior a 900 °C. Esta expansão pode ser o resultado de reações que resultem em mudança de estrutura cristalina para formar fases de menor densidade.

Por sua vez, o processo de queima promove a retração natural dos materiais como resultado do processo de sinterização. Assim, o que se observa no diagrama apresentado na Figura 4.8 é o efeito da competição do efeito de retração por sinterização com o efeito de expansão por reação.

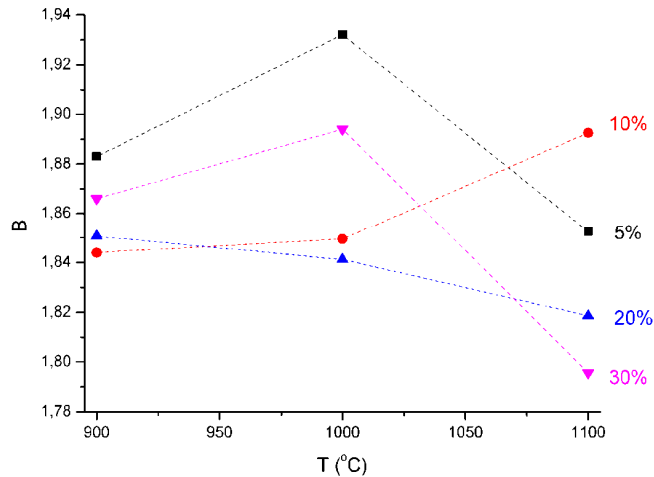
A Figura 4.9 apresenta os resultados de perda de massa em função do teor de Lama de Hidrofiltro para diferentes temperaturas. Percebe-se que a tendência de comportamento é similar para todas as temperaturas, ou seja, quanto maior o teor de lama maior a perda de massa. Este efeito confirma que a adição da Lama de Hidrofiltro resulta na eliminação de voláteis e este é o mecanismo responsável pela expansão do material.



**Figura 4.9. Curva de variação da perda de massa em função da composição para materiais queimados a 900, 1000 e 1100 °C.**

A Figura 4.10 apresenta as curvas de variação da densidade em função da temperatura para as diferentes composições preparadas. O que é observado é que a adição da Lama do Hidrofiltro tende a reduzir a densidade

do material resultante, principalmente para temperaturas superiores. Esta redução da densidade é resultado do efeito de formação de porosidades como foi citado anteriormente. Este efeito é negativo quando se fala em resistência mecânica, entretanto é positivo do ponto de vista de leveza do material, além do efeito de isolamento térmico do material.



**Figura 4.10. Curva de variação da densidade em função da temperatura para amostras preparadas com diferentes teores de resíduo.**

Importante salientar que o teste laboratorial foi apenas realizado com o resíduo Lama do Hidrofiltro.

#### Estudo em planta piloto

Para avaliar a eficiência do uso dos resíduos foram produzidos tijolos em uma olaria da cidade de Joinville no dia 29 de Junho de 2011. Para este processo foi utilizada a Lama do Hidrofiltro foi submetida a secagem, já o pó da regeneração estava seco.

A secagem da Lama do Hidrofiltro foi realizada com o uso de bags onde o material foi mantido por período de 5 dias.

A Figura 4.11 mostra o processo de secagem da Lama do Hidrofiltro. O processo de secagem da Lama do Hidrofiltro consistiu em colocar o bag embaixo da esteira onde está localizado arrastador de lama, sendo que este retira a lama do tanque e por gravidade a lama caiu dentro do big bag.



**Figura 4.11. Processo de Secagem da Lama do Hidrofiltro.**



Para o processo de fabricação dos tijolos foram utilizadas as adições de 7 % em peso da Lama do Hidrofiltro e outro teste piloto com também 7% em peso do Pó de Regeneração. Posteriormente foram realizadas avaliações visuais da aparência dos tijolos obtidos por extrusão e da eficiência do processo. Não foram observadas variações significativas de morfologia e dimensões das peças. Tampouco foram identificadas falhas de processamento como adesão da massa à parede do molde.

### **Análises de Emissões Atmosféricas**

Durante o processo de queima foram realizadas avaliações das emissões geradas pelos fornos, em decorrência da eliminação de voláteis presentes nas matérias primas, e também avaliação visual dos tijolos.

A emissão de voláteis foi avaliada através da determinação dos efluentes atmosféricos emitidos pela chaminé de exaustão do forno cerâmico de ciclo contínuo. As medições foram realizadas pelo SENAI de Blumenau que forneceu valores de concentração de materiais particulados totais, concentração de monóxido de carbono (CO), densidade colorimétrica e vazão/temperatura/CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>. O ultimo valor foi utilizado para calcular a coleta isocinética, taxa de emissões e conversão de referencia relativo a O<sub>2</sub>.

Os resultados, apresentados na forma do relatório final de prestação de serviço, mostraram que as emissões geradas no processo de produção de tijolos, com a inclusão do uso dos resíduos estudados enquadram-se nas exigências da legislação de Santa Catarina (Lei 14.675/2009), Resolução do Conama (382/2006), bem como da Resolução do Estado do Paraná (054/2006).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através da Resolução N° 382/2006, estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos (padrões de emissão) para vários processos, porém, especificadamente para o caso em estudo, ou seja: poluentes gerados em processos de secagem e cura de peças cerâmicas onde os gases da combustão entram em contato direto com o produto, os padrões desta Resolução não são aplicáveis.

A Legislação do Estado de Santa Catarina (Código Ambiental do Meio Ambiente) – Lei N° 14.675/2009 estipula no Artigo 180, que: É proibida a emissão de fumaça, por parte de fontes estacionárias, com densidade colorimétrica superior ao padrão I (20%) da Escala Ringelmann, salvo por:

- I – um único período de 15 (quinze) minutos por dia, para operação de aquecimento de fornalha;
- II – um período de 3 (três) minutos, consecutivos ou não, em cada 1 (uma) hora. Obs.: Não fornece padrões para os demais contaminantes.

A Legislação ambiental do estado do Paraná, através da Resolução n° 054/06 – SEMA, utilizada como referência em casos de padrões faltantes nas resoluções anteriores, estabelece os limites máximos de emissão de poluentes no ar (padrões de emissão) para vários processos e por tipologia.

Para o caso em estudo aplica-se o Art. 21 (Tópico IV): Geração de calor ou energia utilizando derivados de madeira como combustível e para potência entre 2 e 10 MW, temos os seguintes padrões:

- Materiais particulados = 560 mg/Nm<sup>3</sup>, em base seca e corrigidos a 17% de O<sub>2</sub>, como referência, quanto há contato dos gases da combustão com o produto processado.
- Monóxido de carbono (CO) = 2.500 mg/Nm<sup>3</sup>, em base seca e corrigidos para 17% de O<sub>2</sub>, como referência, quanto há contato dos gases da combustão com o produto processado.

As amostragens foram realizadas com o Forno Cerâmico contínuo, tipo Túnel, com Potência térmica real igual a 2,0 MW, queimando serragem operando em regime normal.

As Tabelas 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14 apresentam os dados e valores obtidos nas Amostragens e Análises do Efluente Atmosférico nas Chaminés deste Equipamento.

Os valores obtidos para os parâmetros apresentados nas Tabelas 4.12 e 4.13 são médias de vários pontos de amostragem na seção transversal da chaminé; em vários períodos durante o turno de funcionamento do equipamento e, em três campanhas de amostragens, conforme sugerido pelas normas técnicas utilizadas.

Os valores encontrados para os parâmetros ambientais em cada campanha estão apresentados na Tabela 4.13, são expressos, nas Condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTP = 0 °C e atm = Nm<sup>3</sup>) e em Base Seca, conforme as normas técnicas.

**Tabela 4.11. Amostragem e Análises das Chaminés.**

DATA DA AMOSTRAGEM	
20 de Junho de 2011	
CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NO DIA DA AMOSTRAGEM	
Pressão atmosférica média local	Temperatura média local
766 mmHg	21 °C
PARÂMETROS DA CHAMINÉ	
Geometria / secção de fluxo	Retangular
Diâmetro interno (no ponto da amostragem)	62 cm x 78 cm
Diâmetro equivalente circular	69 cm
Características do fluxo	Vertical normal

**Tabela 4.12. Amostragem e Análises das Chaminés.**

PARÂMETROS FÍSICOS DO EFLUENTE ATMOSFÉRICO NOS PONTOS DE AMOSTRAGEM: Chaminé de Exaustão de um Forno Cerâmico Contínuo				
PARÂMETROS	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Média
Temperatura Média (°C)	101	102	103	102 ±1
Umidade Volumétrica Média (%)	12,0	12,0	12,0	12,0
Massa Molecular Base Úmida = MMu (g/gmol)	28,0	28,0	28,0	28,0
Pressão Estática Média = Pe (mmCA*)	-0,45	-0,61	-0,77	-0,6 ±0,1
Pressão Cinemática Média = ΔP (mmCA*)	0,84	1,03	1,22	1,0 ±0,2
Velocidade Média (m/s)	4,26	4,64	5,03	4,6 ±0,4

(metro de Coluna de Água)\*

Os valores calculados para os parâmetros ambientais apresentados na Tabela 4.14, são expressos, com seus respectivos desvios da média relativa aos valores encontrados na Tabela 4.13, tendo em vista referências com as legislações (resoluções) ambientais pertinentes.

**Tabela 4.13. Amostragem e Análises das Chaminés.**

<b>PARÂMETROS AMBIENTAIS: Chaminé de Exaustão de um Forno Cerâmico Contínuo Tipo Túnel de 2,0 MW</b>			
<b>PARÂMETROS ANALISADOS</b>	<b>VALORES ENCONTRADOS NA MÉDIA EM CADA CAMPANHA</b>		
	<b>Valor 1</b>	<b>Valor 2</b>	<b>Valor 3</b>
Vazão (Nm <sup>3</sup> /h)	3.714	4,049	4.385
Materiais particulados totais <ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentração (mg/Nm<sup>3</sup>)</li> <li>• Concentração Corrigida (mg/Nm<sup>3</sup>)</li> <li>• Taxa de emissão (g/h)</li> </ul>	91 81 338	86 74 358	85 71 371
Monóxido de Carbono (CO) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentração (mg/Nm<sup>3</sup>)</li> <li>• Concentração Corrigida (mg/Nm<sup>3</sup>)</li> <li>• Taxa de emissão (g/h)</li> </ul>	1.149 1.021 4.266	919 772 3.722	978 824 4.286
Concentração de Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	4,5	4,8	4,9
Concentração de Oxigênio (O <sub>2</sub> )	16,5	16,2	16,3
Densidade Colorimétrica (Escala Ringelmann)	Durante o período de operação normal em que foram realizadas as amostragens a densidade colorimétrica ficou na faixa de 20% (Nº 1) da Escala Ringelmann.		

**Tabela 4.14. Amostragem e Análises das Chaminés.**

<b>PARÂMETROS AMBIENTAIS: Chaminé de Exaustão de um Forno Cerâmico Contínuo Tipo Túnel de 2,0 MW</b>		
<b>PARÂMETROS ANALISADOS</b>	<b>VALORES MÉDIOS ENCONTRADOS</b>	<b>PADRÕES DE EMISSÃO REFERENCIADOS</b> (Valor Máximo Permitido)
Vazão média	(4.049 ±336) Nm <sup>3</sup> /h	
Material Particulado total (MPt) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentração média</li> <li>• Concentração Corrigida (mg/Nm<sup>3</sup>)</li> <li>• Taxa de emissão média</li> </ul>	(88 ±2) mg/Nm <sup>3</sup> a 16,3% O <sub>2</sub> (76 ±2) a 17 % O <sub>2</sub> 356 g/h	(2) 560 mg/Nm <sup>3</sup> a 17% O <sub>2</sub>
Monóxido de carbono (CO) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentração média</li> <li>• Concentração Corrigida (mg/Nm<sup>3</sup>)</li> <li>• Taxa de emissão média</li> </ul>	(1.015 ±63) mg/Nm <sup>3</sup> a 16,3% O <sub>2</sub> (870 ±54) a 17 % O <sub>2</sub> 4.110 g/h	(2) 2.500 mg/Nm <sup>3</sup> a 17% O <sub>2</sub>
Concentração média de CO <sub>2</sub>	4,7%	
Concentração média de O <sub>2</sub>	16,3%	
Densidade Colorimétrica (Fumaça negra) (Escala Ringelmann)	Durante o período de operação normal em que foram realizadas as amostragens a densidade colorimétrica ficou na faixa de 20% (Nº1) da Escala Ringelmann.	Em operação normal; Máximo em 20% (padrão Nº1) da Escala Ringelmann. (1)

(1) Conforme LEGISLAÇÃO DO ESTADO DE SANTA CATARINA (Código Estadual do Meio Ambiente) – Lei Nº14.675, de 2009.

(2) Conforme Resolução Nº 054/2006 – SEMA-PR.

#### **Análises de Resistência Mecânica dos Tijolos Fabricados no Teste Piloto**

Quanto aos tijolos obtidos do processo foi determinada a resistência à compressão. Os tijolos fabricados podem ser visualizados na Figura 4.12. Para este ensaio foram utilizados os tijolos de 8 furos. O ensaio foi realizado conforme norma NBR 15270-3, com capeamento das faces superior e inferior com pasta de cimento e com tijolo na condição saturada por permanência mínima de 6 horas em imersão. Esta norma define como valor mínimo de resistência a compressão de 1,5 MPa.

Foram ensaiados 5 tijolos produzidos sem e com a adição da lama. Para o resíduo do Pó de Regeneração foram ensaiados 6 tijolos sem e com a adição do Pó de Regeneração. Os resultados (Tabelas 4.15 e 4.16) mostraram que a adição da Lama do Hidrofiltro resultou em redução da resistência mecânica média dos tijolos. Entretanto mesmo com esta redução, tem-se como resultado um produto que se enquadra nas exigências da norma. Esta redução da resistência mecânica pode ser justificada pela redução da densidade, como consequência da maior porosidade desenvolvida em decorrência da presença do resíduo. Por outro lado a adição do Pó de Regeneração aumentou a resistência mecânica do tijolo alternativo.



Figura 4.12. Tijolos Fabricados com a Adição do Resíduo Lama do Hidrofiltro.

Tabela 4.15. Dados de resistência mecânica a compressão dos tijolos com e sem Lama do Hidrofiltro.

Código Tijolo	Resistencia Mecânica (MPa)		Valor Mínimo Permitido (MPa)
	Tijolo sem resíduo	Tijolo com 7% de resíduo	
CP1	2,62	1,90	1,50
CP2	2,16	1,67	
CP3	1,94	1,91	
CP4	2,33	2,02	
CP5	2,26	2,17	
Valor médio	2,26 ±0,25	1,91±0,18	

Tabela 4.16. Dados de resistência mecânica a compressão dos tijolos com e sem Pó de Regeneração da Areia de Moldagem.

Código Tijolo	Resistencia Mecânica (MPa)		Valor Mínimo Permitido (MPa)
	Tijolo sem resíduo	Tijolo com 7% de resíduo	
CP1	1,66	1,89	1,50
CP2	1,76	1,84	
CP3	1,59	1,68	
CP4	1,48	1,74	
CP5	1,61	2,24	
CP6	1,55	2,17	
Valor médio	1,61 ±0,09	1,93 ±0,21	

## **COMENTARIOS FINAIS:**

Nos testes realizados em planta piloto, em dois experimentos, foi verificado que: foi possível o uso dos resíduos (Lama do Hidrofiltro e Pó de Regeneração) como matéria prima, desde que este seja fornecido na forma de material seco; os tijolos obtidos apresentaram resistência mecânica dentro das condições permitidas por norma; as emissões geradas durante o processo estão de acordo com exigências ambientais, de acordo com documento expedido pelo SENAI. Não foram encontradas concentrações elevadas de poluentes atmosféricos nas emissões gasosas durante a queima dos tijolos com resíduos. A incorporação de 7% de resíduos (tijolos com 7% de Lama de Hidrofiltro e tijolos contendo também 7% de Pó de Regeneração) não elevou a concentração de nenhum poluente analisado.

Portanto, com base nos resultados obtidos, no desenvolvimento desta pesquisa, pode-se afirmar que é perfeitamente possível utilizar os resíduos: Lama de Hidrofiltro e o Pó da Regeneração da Areia de Moldagem na produção de tijolos de cerâmica vermelha.

O aproveitamento dos resíduos: Lama de Hidrofiltro e o Pó da Regeneração da Areia de Moldagem é não só ambientalmente seguro quanto economicamente viável. Práticas de utilização ajudam a reduzir as áreas de extração da argila e as áreas destinadas a aterros industriais, permitindo uma maior economia por parte da indústria e uma maior sustentabilidade para o setor. Lembrando que o ganho econômico é tanto para as fundições, quanto para as indústrias cerâmicas.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. PERINI, Paulo Roberto. Fundição. Apostila do Curso Técnico Mecânico. Escola Técnica Federal de Santa Catarina:1986.
2. KONDIC, Voya. Princípios metalúrgicos de fundição. São Paulo: ed. Polígono, 1973.
3. CAMPOS FILHO, M. P. de. Solidificação e fundição de metais e suas ligas. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1978.
4. CHEGATTI, Schirlene. Aplicação de Resíduos de Fundição em Massa Asfáltica, Cerâmica Vermelha e Fritas Cerâmicas. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Dissertação de Mestrado, 2004. 137p.
5. PORTO ROSSI, M. A., AS ARGILAS, Site Internet [www.portorossi.art.br/as\\_argilas.htm](http://www.portorossi.art.br/as_argilas.htm), 2003, 24/04/03.
6. PIZATTO, R., Utilização de Resíduos Industriais como matéria-prima para a elaboração de Tijolos. Relatório de Iniciação Científica, UDESC-Joinville, 2001.
7. DONDI, M.; FABBRI, B.; MARSIGLI, M., Resenha das experiências e reciclagem de resíduos industriais e urbanos na produção de tijolos. Cerâmica Informação, p.17-29, 1998.
8. JUNGE, K.; HAUCK, D., Os aditivos no setor de tijolos cerâmicos. Associação de Indústrias do Setor Cerâmico da Áustria, Alemanha e Suíça, p. 1-25, 1997