

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO GERADO EM
SISTEMAS ÚMIDOS DE FILTRAGEM DE PARTICULADOS DE
FUNDIÇÃO COMO MATÉRIA-PRIMA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

- Estudo em tijolos de cerâmica vermelha -

Agnário dos Santos Moreira

Orientador: Prof. Dr. Wilfrid Keller

Belo Horizonte

2006

**AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO GERADO EM
SISTEMAS ÚMIDOS DE FILTRAGEM DE PARTICULADOS DE
FUNDIÇÃO COMO MATÉRIA-PRIMA NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

- Estudo em tijolos de cerâmica vermelha -

Agnário dos Santos Moreira

Belo Horizonte

2006

**AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO GERADO EM
SISTEMAS ÚMIDOS DE FILTRAGEM DE PARTICULADOS DE
FUNDIÇÃO COMO MATÉRIA-PRIMA NA CONSTRUÇÃO CIVIL**
- Estudo em tijolos de cerâmica vermelha -

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Meio Ambiente

Linha de pesquisa: Reciclagem, tratamento e disposição de resíduos sólidos industriais

Orientador: Wilfrid Keller

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2006

Página com as assinaturas dos membros da banca examinadora, fornecida pelo Colegiado do Programa

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para que este trabalho tivesse êxito e de maneira especial a:

DEUS por todas as experiências e também por essa que me trouxe de volta à academia depois de um bom tempo de “estrada” na carreira profissional;

Minha esposa Ana Paula pelo incentivo e compreensão, meus filhos Ana Luísa e Vítor pela aceitação da minha ausência em momentos que seriam deles;

Meu pai Wilson, minha mãe Irani e a todos os meus irmãos que, muitas vezes, se sacrificaram por mim. Em especial a Agnes que sempre me deu todo o apoio, inclusive neste trabalho;

Ao meu orientador Professor Wilfrid Keller pelo apoio e orientação;

Aos amigos e diretores da Teksid do Brasil Ltda, na pessoa do Dr. Giacomo Regaldo, seu Presidente, pelo apoio permanente e liberdade na condução do trabalho;

Ao pessoal do Laboratório de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da UFMG e, em especial, ao mestrando Cristiano Oliveira Guimarães pela brilhante execução dos experimentos naquele laboratório;

Ao Sr. Pedro, proprietário da olaria onde foram realizados os experimentos de campo.

RESUMO

Este trabalho visa avaliar a viabilidade de utilização de um resíduo pastoso denominado “lama dos hidrofiltros”, gerado em grande quantidade, 2.000 t/mês, na estação de tratamento de água de lavagem de gases em sistemas de exaustão e filtração por via úmida (hidrofiltros) de uma indústria de fundição, na fabricação de tijolos de cerâmica vermelha.

Com este foco, amostragens e análises laboratoriais foram realizadas para completa caracterização do resíduo em termos de composição e toxicidade de acordo com as normas da ABNT, assim como o estudo do processo produtivo gerador do resíduo.

Foram confeccionados, nas condições normais de campo, tijolos nas proporções de mistura de 10, 20, 30, 40 e 50% de resíduo em relação à argila. Tais tijolos foram submetidos a todos os testes de desempenho exigidos por norma, cujos resultados foram comparados àqueles de produtos sem adição de resíduo, da mesma amostragem representativa.

Os fragmentos gerados nos ensaios de funcionalidade dos artefatos produzidos com adição de resíduo foram submetidos a ensaios de solubilização e de lixiviação para verificação de seu comportamento sob o ponto de vista ambiental comparado com outros sem adição do resíduo.

Dos estudos realizados, pode-se concluir que quanto ao desempenho técnico é possível adicionar até 30% do resíduo à massa de argila natural que os blocos cerâmicos permanecem dentro da faixa aceitável de desempenho estabelecido pelas normas técnicas. Quanto ao comportamento ambiental, constatou-se que até 20% de adição do resíduo à massa de argila natural mantém os tijolos produzidos com características de resíduo inerte (Classe IIB) segundo a NBR 10004:2004.

Como se trata de um grande volume, sua utilização em substituição aos componentes naturais dos artefatos da construção civil propiciará um ganho ambiental significativo por evitar a extração de quantidade correspondente diretamente da natureza e também por evitar sua disposição em aterro.

ABSTRACT

This work intends to evaluate the viability of application of a pasty residue called “mud of the hydro filters” generated in great amount, 2.000 ton per month, in the water treatment station of gases washing in exhaustion systems and filtering by humid via (hydro filters) of a casting industry in the manufacture of red ceramics bricks.

In this sense, samplings and laboratory analyses had been carried through for the complete residue characterization in terms of composition and toxicity in accordance with ABNT norms. As well as the study of the productive process of the residue generator.

The bricks had been produced, in the normal conditions of the field, in the mixture ratios of 10, 20 30 40 and 50% of residue in relation to the clay. Such bricks had been submitted to all the tests of performance demanded by norm, whose results had been compared with those products without residue addition, of the same representative sampling.

The generated fragments in the functionality assays of the produced devices with residue addition had been submitted the assays of solubility and leaching for verification of its behavior under the compared ambient point of view with others without residue addition.

From the carried through studies, it can be concluded that concerning the technician performance it is possible to add up to 30% of the residue to the natural clay mass and the ceramic blocks remain inside of the acceptable band of performance established for the techniques norms. Concerning the ambient behavior, it was evidenced that up to 20% of residue addition to the natural clay mass keeps the produced bricks with characteristics of inert residue (Class IIB) according to NBR 10004:2004.

As it is about a great volume, its application in substitution to the natural components of the devices of the civil construction will propitiate a significant ambient profit for preventing the extraction of correspondent amount directly of the nature and also for preventing its disposal in dump;

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS E QUADROS.....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1. OBJETIVO GERAL	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	5
3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS.....	5
3.1.1 Definição e Classificação.....	5
3.1.2 Gestão dos resíduos sólidos industriais.....	7
3.1.2.1 Tecnologias de disposição.....	8
3.1.2.2 Prevenção, Redução, Reuso e Reciclagem.....	11
3.1.3 Normas e legislação pertinente.....	16
3.2 A INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO.....	20
3.2.1 O processo de fundição.....	22
3.2.2 O problema dos resíduos de fundição.....	25
3.2.3 A reutilização e reciclagem de resíduos em fundição.....	26
3.3 A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	31
3.3.1 O consumo de recursos naturais.....	31
3.3.2 Reciclagem de resíduos na construção civil.....	31
3.4 A INDÚSTRIA DE TIJOLOS DE CERÂMICA VERMELHA.....	33
3.4.1 A Matéria prima.....	34
3.4.2 O Processo de fabricação de tijolos cerâmicos.....	35
3.4.3 Normas para os produtos cerâmicos.....	38
3.4.4 A reciclagem de materiais.....	39
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	41
4.1. CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO “LAMA DOS HIDROFILTROS”	42
4.1.1. O processo de geração do resíduo.....	42
4.1.2. Amostragem do resíduo.....	44

4.1.3.	Caracterização química e mineralógica do resíduo.....	45
4.1.4.	Caracterização e Classificação ambiental do resíduo.....	45
4.2.	FABRICAÇÃO DE TIJOLOS EM CONDIÇÕES REAIS DE CAMPO.....	46
4.2.1.	Coleta do resíduo.....	46
4.2.2.	Preparação das misturas.....	46
4.2.3.	Secagem.....	48
4.2.4.	Cozimento.....	48
4.3.	ENSAIOS DE FUNCIONALIDADE – DESEMPENHO TÉCNICO.....	50
4.3.1.	Resistência à compressão.....	50
4.3.2.	Dimensional.....	52
4.3.3.	Absorção d'água.....	52
4.4.	ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO AMBIENTAL.....	54
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
5.1.	CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO “LAMA DOS HIDROFILTROS”.....	55
5.1.1.	O processo de geração do resíduo.....	55
5.1.1.1.	A empresa onde é gerado o resíduo.....	55
5.1.1.2.	A geração do resíduo.....	56
5.1.2.	Caracterização química e mineralógica do resíduo.....	57
5.1.3.	Caracterização e classificação ambiental do resíduo.....	59
5.2.	ENSAIOS DE FUNCIONALIDADE – DESEMPENHO TÉCNICO.....	61
5.2.1.	Resistência à compressão.....	61
5.2.2.	Dimensional.....	64
5.2.3.	Absorção d'água.....	66
5.3.	ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO AMBIENTAL DO PRODUTO.....	69
5.3.1.	Ensaio de solubilização.....	69
5.3.2.	Ensaio de lixiviação.....	70
6.	CONCLUSÕES.....	72
7.	RECOMENDAÇÕES.....	73
8.	REFERÊNCIAS.....	74

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 – Sistema simplificado de gerenciamento de resíduos.....	8
FIGURA 3.2 – Desdobramento da PML no processo produtivo.....	13
FIGURA 3.3 – Evolução das empresas rumo à produção mais limpa.....	15
FIGURA 3.4 – Fluxograma típico de uma fundição de ferro.....	24
FIGURA 3.5 – Fluxo de areias no processo de fundição.....	29
FIGURA 3.6 – Fluxograma de uma indústria de cerâmica vermelha.....	36
FIGURA 4.1 – Representação da metodologia utilizada na pesquisa.....	41
FIGURA 4.2 – Ilustração das instalações onde ocorre a geração do resíduo.....	43
FIGURA 4.3 – Foto de um leito de secagem do resíduo.....	44
FIGURA 4.4 – Fotos ilustrativas da mistura argila e resíduo.....	47
FIGURA 4.5 – Tijolos após conformação e identificação.....	47
FIGURA 4.6 – Foto ilustrativa da secagem natural.....	48
FIGURA 4.7 – Fotos do forno (externa e interna) e dos tijolos pós-cozimento.....	49
FIGURA 4.8 – Fases do ensaio de resistência à compressão.....	51
FIGURA 4.9 – Fases do ensaio de absorção de água.....	53
FIGURA 5.1 – Fluxo simplificado de geração do resíduo.....	56
FIGURA 5.2 – Comportamento da resistência à compressão das diversas proporções...	62
FIGURA 5.3 – Retração linear em relação à proporção do resíduo na mistura.....	65
FIGURA 5.4 – Absorção de água em relação à proporção do resíduo na mistura.....	68

LISTA DE TABELAS E QUADROS

QUADRO 3.1 – Listagem de legislação sobre resíduos sólidos.....	18
QUADRO 3.2 – Exemplos de algumas pesquisas para reaproveitamento de areia de fundição	28
TABELA 3.1 – Processos de tratamento de resíduos.....	9
TABELA 3.2 – Exportações do setor de fundição.....	20
TABELA 3.3 – Produção nacional de fundidos.....	21
TABELA 3.4 – Número de empregados do setor de fundição.....	21
TABELA 3.5 – Composição de algumas argilas de Minas Gerais.....	35
TABELA 5.1 – Resultados das análises de caracterização química e mineralógica.....	57
TABELA 5.2 – Comparativo do perfil químico/mineralógico do resíduo em relação a algumas argilas de Minas Gerais.....	58
TABELA 5.3 – Resultados das análises do extrato lixiviado do resíduo.....	59
TABELA 5.4 – Resultados das análises do extrato solubilizado do resíduo.....	60
TABELA 5.5 – Resultados dos ensaios de compressão dos tijolos.....	61
TABELA 5.6 – Resistência mínima à compressão em relação à categoria.....	62
TABELA 5.7 – Resultados das medições de dimensões dos tijolos.....	64
TABELA 5.8 – Dimensões nominais.....	66
TABELA 5.9 – Resultados do ensaio de absorção de água dos tijolos.....	67
TABELA 5.10 – Resultados das análises dos extratos solubilizados dos tijolos.....	69
TABELA 5.11 – Resultados das análises dos extratos lixiviados dos tijolos.....	70

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABC	Associação Brasileira de Cerâmica
ABIFA	Associação Brasileira de Fundição
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANICER	Associação Nacional da Indústria Cerâmica
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
COPAM	Conselho de Política Ambiental do Estado de Minas Gerais
CNTL	Centro Nacional de Tecnologia Limpa
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
DN	Deliberação Normativa
EPA	Environmental Protection Agency
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FIEMG	Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IEF	Instituto Estadual de Florestas
PF	Perda ao fogo
PML	Produção Mais Limpa
PRRR	Prevent, reduce, reuse and recycle
SEMAD	Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SENAI	Serviço Nacional da Indústria
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UNEP	United Nations Environment Programme

1 INTRODUÇÃO

As atividades humanas, de uma forma geral, são grandes produtoras de resíduos sólidos e isto vem se tornando um problema cada vez maior e exigindo soluções apropriadas de destinação destes resíduos.

Os processos industriais, além de gerarem emissões hídricas e atmosféricas, são também grandes produtores de resíduos sólidos. Até mesmo os próprios sistemas de controle de poluição hídrica e atmosférica são grandes geradores de resíduos sólidos. Em função disto, o homem depara-se com o enorme desafio de desenvolver soluções tecnicamente seguras e econômicas para disposição destes resíduos.

Como a maior parte dos resíduos sempre foi disposta de maneira inadequada, causando grandes impactos ambientais, principalmente sobre o solo e águas subterrâneas, a preocupação primeira foi de desenvolver tecnologias de disposição final de forma a minimizar tais impactos.

Mas, o conceito de desenvolvimento sustentável obriga a sociedade a ver em todo tipo de resíduo uma forma de desperdício, principalmente porque boa parte dos resíduos são gerados a partir de recursos de fontes não renováveis.

Com esta visão, cresce a consciência da necessidade de redução da geração de resíduos e de tecnologias que propiciem seu aproveitamento de forma a reduzir a extração dos recursos na fonte e a minimizar os impactos de sua destinação final.

Uma sociedade fundamentada no desenvolvimento sustentável não pode desconsiderar a reciclagem de resíduos como fator vital na busca de satisfazer as necessidades presentes sem colocar em risco a sobrevivência de gerações futuras (ENBRI, 1994 apud GIFFONI, 2004).

Segundo Callister (2002), foi estimado que, em escala mundial, algo ao redor de 15 bilhões de toneladas de matérias-primas sejam extraídas da Terra todos os anos; algumas dessas matérias-primas são renováveis, enquanto outras não o são. Com o passar do tempo está se evidenciando que o nosso planeta é virtualmente um sistema fechado em relação aos seus materiais constituintes, e que os seus recursos são finitos. Além disso, à medida que as nossas sociedades amadurecem e as populações aumentam, os recursos disponíveis se tornam

cada vez mais escassos, o que requer maior atenção para a utilização mais efetiva desses recursos.

A construção civil é considerada por muitos autores como a principal consumidora de recursos naturais dentre as atividades humanas. Este setor é responsável por 14 a 50% do consumo de recursos naturais extraídos no mundo (SJOSTRON, 1996 apud JOHN, 2000).

Este trabalho visa atender à necessidade de redução de consumo de recursos naturais e de redução da disposição final de resíduos em aterro, pois busca encontrar soluções de reaproveitamento, em substituição às matérias-primas da construção civil, do resíduo gerado na estação de tratamento de águas dos sistemas de filtragem por via úmida das emissões atmosféricas de uma grande fundição, resíduo este gerado em grande quantidade e que, hoje, é disposto em aterro industrial.

Os altos custos de disposição final de resíduos, as dificuldades e exigências crescentes para licenciamento de aterros e a potencialidade de passivo ambiental que os aterros representam têm levado as empresas a promoverem a redução da geração de resíduos em seus processos industriais e, quando isto não é possível, a buscarem alternativas mais nobres do que o simples aterramento de seus resíduos, além da necessidade de estarem construindo seu próprio desenvolvimento e contribuindo para o desenvolvimento da sociedade de uma forma cada vez mais sustentável. Neste sentido, há um crescente movimento em busca de tecnologias que possam desenvolver possibilidades de reaproveitamento de resíduos de forma ambientalmente segura e economicamente viável.

A construção civil, por ser a maior consumidora de recursos naturais dentre as atividades humanas, tem sido objeto de pesquisas visando a reciclagem de seus próprios resíduos e de reaproveitamento de resíduos gerados por outras atividades econômicas. É muito pertinente a busca de recursos alternativos através de tecnologias de reaproveitamento de resíduos para este setor.

Várias pesquisas têm sido desenvolvidas para reutilização de resíduos de fundição, principalmente as areias descartadas. Segundo CASTRO (2003), alguns pesquisadores americanos e europeus deram início a vários estudos para o desenvolvimento de novos produtos contendo a areia de fundição de descarte a partir da década de 80. Alguns programas americanos, desenvolvidos em universidades e com o apoio das indústrias de

fundição locais, objetivam substituir parcialmente o agregado fino de concretos pela areia de fundição de descarte. No Brasil, há pesquisas finalizadas que comprovam a possibilidade do emprego de algumas areias de fundição de descarte para a produção de artefatos de cimento (BONIN, 1994 apud CASTRO, 2003) e para a produção de concretos asfálticos aplicados em sub-bases de pavimentos (BINA, 2002 apud CASTRO, 2003).

O resíduo em questão, que doravante será chamado de “lama de hidrofiltros”, embora oriundo de processos de fundição de ferro e de ter alguma similaridade de composição com a areia de fundição apresenta características próprias e muito particulares em função dos processos desenvolvidos em cada fundição e de suas opções tecnológicas de controle da poluição atmosférica. Portanto ele deve merecer estudo específico em função de suas características.

A lama de hidrofiltro objeto desse estudo é gerada em grande quantidade, cerca de 2.000 t por mês, numa grande empresa de fundição de ferro situada na região metropolitana de Belo Horizonte e atualmente é destinada ao aterro industrial da própria empresa.

As análises químicas já existentes desse resíduo indicavam que ele é constituído por materiais que podem substituir elementos naturais componentes de matérias-primas para a construção civil, tais como finos de quartzo, finos de carvão mineral, óxido de ferro, bentonita e traços de aglomerante.

Como trata-se de um grande volume, sua utilização em substituição aos componentes naturais dos artefatos da construção civil propiciará um ganho ambiental significativo por evitar a extração de quantidade correspondente diretamente da natureza e também por evitar sua disposição em aterro que, por mais bem projetado, construído e operado é sempre uma potencial fonte de problemas.

2 OBJETIVOS

2.1 *Objetivo geral*

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar a utilização de um resíduo pastoso denominado “lama dos hidrofiltros” gerado na estação de tratamento de água de lavagem de gases em sistemas de exaustão e filtração por via úmida (hidrofiltros) de uma indústria de fundição na fabricação de artefatos da construção civil em substituição parcial ao recurso natural.

2.2 *Objetivos específicos*

- Avaliar tecnicamente o aproveitamento de lama de hidrofiltros na fabricação de tijolos de cerâmica vermelha em substituição parcial à argila;
- Avaliar o risco ambiental da incorporação de lama dos hidrofiltros em tijolos de cerâmica vermelha em substituição parcial à argila;

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Resíduos Sólidos

3.1.1 Definição e Classificação

Segundo a norma “NBR 10004:2004 – Resíduos Sólidos – Classificação” da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, resíduos sólidos são: resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

A citada norma classifica os resíduos sólidos quanto aos seus potenciais riscos ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente, mas não estão nela contemplados os resíduos radioativos que são de competência exclusiva da Comissão Nacional de Energia Nuclear.

A classificação de resíduos, segundo a NBR 10004:2004, envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes e características e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido.

Os resíduos sólidos podem ser classificados em:

- Resíduos Classe I – Perigosos
- Resíduos Classe II – Não perigosos, que, por sua vez, podem ser subdivididos em:
 - Classe II A – Não inertes
 - Classe II B – Inertes

A classificação dos resíduos pode ser baseada exclusivamente na identificação do processo

produtivo, quando do enquadramento do resíduo nas listagens dos anexos A ou B da NBR 10004:2004 ou através da verificação de suas características.

Resíduos perigosos (classe I) são aqueles que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, podem apresentar risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices ou riscos ao meio ambiente, quando gerenciados de forma inadequada. São também considerados resíduos perigosos aqueles que apresentem como característica: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e ou patogenicidade. São ainda considerados perigosos os resíduos que constam dos anexos A e B da referida norma.

Resíduos Não Inertes (classe IIA) são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - Perigosos ou de resíduos classe IIB – Inertes. Os resíduos classe II A - Não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Resíduos Inertes (classe IIB) são quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007:2004, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006:2004, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G da NBR 10004:2004.

Recentemente, em 2006, a ABNT divulgou uma Nota Técnica sobre a NBR 10004:2004 com o objetivo de esclarecer aos usuários da referida norma que ela não tem por finalidade estabelecer critérios a serem atendidos para a utilização de resíduos sólidos por ela classificados, citando:

A classificação de um resíduo, por si só, não deve impedir o estudo de alternativas para a sua utilização. No entanto, é essa classificação que orienta os cuidados especiais no gerenciamento do resíduo sólido, os quais podem inviabilizar sua utilização quando não se puder garantir segurança ao trabalhador, ao consumidor final ou ao meio ambiente (ABNT, 2006).

3.1.2 Gestão dos resíduos sólidos industriais

O gerenciamento adequado dos resíduos sólidos gerados nos processos industriais, assim como os demais gerados nas diversas atividades humanas, vem, nos últimos anos, ganhando grande espaço na “preocupação” das autoridades públicas e da sociedade como um todo.

Essa atenção tem contribuído para que toda a sociedade possa repensar seus padrões de consumo e comportamento. No grande encontro realizado no Rio de Janeiro em 1992, denominado Eco/92, foi gerado um documento chamado Agenda 21, no qual se destaca a necessidade de mudança dos padrões de produção e consumo, de forma que se tornem padrões sustentáveis. Destaca também a necessidade de integração da gestão dos resíduos à proteção ambiental. Foi definida a premente necessidade de minimização dos resíduos sólidos, desde a prevenção (redução da geração), até a reutilização e a reciclagem. A Agenda 21 estabeleceu a necessidade de se concentrar em redução ao mínimo da geração de resíduos; aumentar ao máximo a reutilização e reciclagem dos resíduos; a promoção da disposição e tratamento ambientalmente correto dos resíduos, e a ampliação dos serviços que se ocupam dos resíduos.

Neste sentido, vem ocorrendo uma evolução na regulamentação do tema, que será objeto de descrição específica mais à frente, que obriga a todos os atores sociais a se enquadrarem neste novo panorama que se renova a cada dia. No caso das indústrias, as agências ambientais vêm exigindo delas um inventário dos resíduos gerados e informações completas sobre a destinação de cada um deles.

As exigências cada vez mais crescentes quanto ao controle dos resíduos e a necessidade de manter a competitividade numa economia globalizada vem obrigando as indústrias a “enxergar” nos resíduos uma forma de desperdício e assim, a utilizar de forma mais racional os insumos de seus processos de modo a contribuir para a sustentabilidade de seus negócios.

Na FIGURA 3.1 é apresentado um quadro, fruto da observação e experiência do autor, que representa os passos mínimos, não necessariamente na ordem em que são colocados, que as indústrias têm trilhado para implantar seus sistemas de gerenciamento de resíduos de forma a minimizar os riscos decorrentes de uma gestão inadequada.

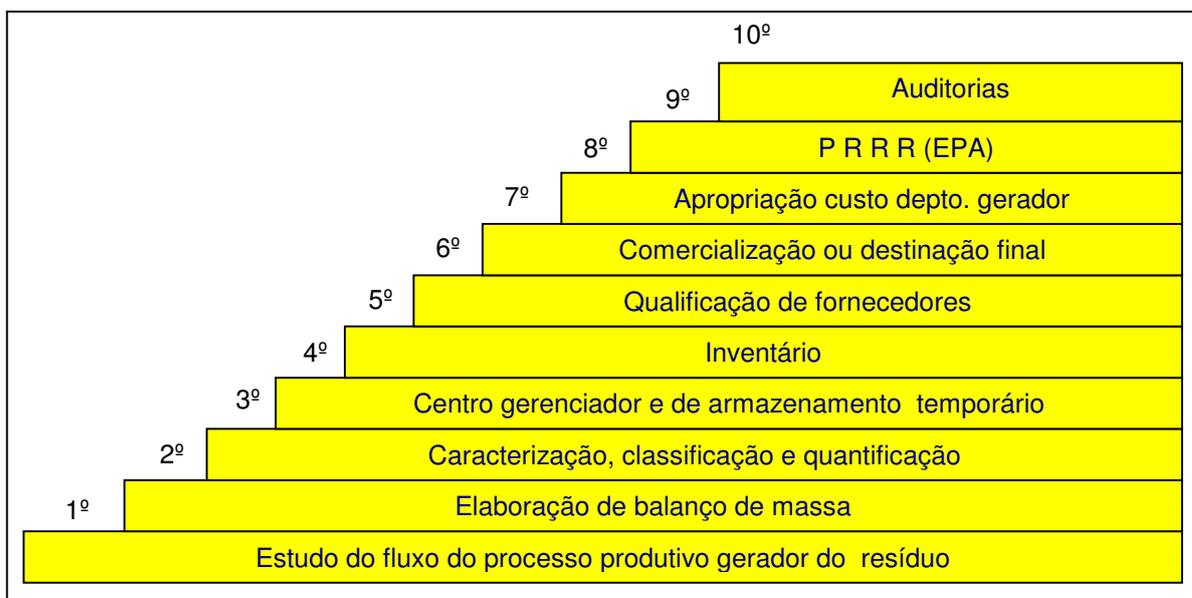


FIGURA 3.1 – Sistema Simplificado de Gerenciamento de Resíduos

3.1.2.1 Tecnologias de disposição

São várias as tecnologias que vêm sendo desenvolvidas para tratamento e destinação dos resíduos sólidos. Segundo LANGE (2004), são tecnologias que visam:

- Incorporação do resíduo em outro produto, incorporando energia e ou matéria prima (coprocessamento);
- Redução de seu volume (incineração);
- Redução de sua toxicidade (encapsulamento, adsorção);
- Processamento para reutilização no próprio processo gerador (calcinação);
- Processamento para reutilização em processo distinto do original (vários processos visando a reciclagem);
- Landfarming;
- Disposição em aterro.

Segundo LANGE (2004), são tecnologias que podem usar processos físicos, químicos e ou biológicos, tais como:

- **Físicos:** Colunas de esgotamento de ar, adsorção em carvão ativo, centrifugação, diálise, destilação, eletrodialise, evaporação, filtração, floculação, flotação, troca iônica, destilação à vapor, adsorção em resinas, osmose reversa, sedimentação, coluna de esgotamento à vapor, etc.
- **Químicos:** Catálise, eletrólise, hidrólise, neutralização, oxidação, ozonólise, fotólise, precipitação, redução, etc.
- **Biológicos:** Lodo ativado, lagoas de aeração, digestão anaeróbia, compostagem, tratamento por enzimas, etc.

Abaixo, na Tabela 3.1, são apresentados alguns exemplos de aplicação de diversas formas de tratamento.

TABELA 3.1 – Processos de tratamento de resíduos

Metodologia	Exemplos de aplicação
Oxidação	Destruição de cianetos
Redução	Tratamento de Cr, Pb, cd
Neutralização	Efluentes
Precipitação	Separação de óleos emulsificantes
Troca iônica	Concentração de contaminantes iônicos
Recuperação eletrolítica	Recuperação de metais em solução
Extração por solventes	Recuperação de metais em minérios
Flotação	Remoção de hidróxidos metálicos e carbonatos
Osmose reversa	Purificação de água para a indústria
Eletrodialise	Efluentes de tratamentos superficiais de metais como cromo; gravação em metais e galvanização
Ultrafiltração	Óleos de corte emulsificado; recuperação de tintas solúveis em água

Fonte: Modificado de LANGE, 2004

Segundo Valle (1995), (citado por TOCCHETTO, 2000, citado por BONET, 2002) as soluções para encaminhar adequadamente os problemas ambientais gerados pelos resíduos obedecem uma seqüência lógica e natural, expressa nas seguintes providências:

- a) minimização da geração de resíduos, através de modificações no processo produtivo, ou pela adoção de tecnologias limpas, mais modernas que permitam, em alguns casos, eliminar completamente a geração dos resíduos;
- b) reprocessamento dos resíduos gerados transformando-os novamente em matérias-primas ou utilizando para gerar energia;
- c) reutilização dos resíduos gerados por uma empresa, como matéria-prima para outra empresa;
- d) separação de substâncias tóxicas das não tóxicas, reduzindo o volume total de resíduos que devem ser tratados ou dispostos de forma controlada;
- e) processamento físico, químico ou biológico do resíduo, de forma a torná-lo menos perigoso ou até inerte, possibilitando sua utilização como material reciclável;
- f) incineração, com o correspondente tratamento dos gases gerados e a disposição adequada das cinzas resultantes;
- g) disposição dos resíduos em locais apropriados, projetados e monitorados de forma a assegurar que não venham, no futuro, a contaminar o meio ambiente.

Também, segundo o autor, na seqüência apresentada, as soluções decrescem em eficácia, pois partem de um conceito de eliminação do problema (o de evitar a geração do resíduo) e terminam na disposição controlada deste resíduo gerado (aterros industriais).

De outra forma, ainda segundo Valle (1995), (citado por TOCCHETTO, 2000, citado por BONET, 2002) existem fatores que não são de ordem técnica, mas que afetam a escolha da solução:

- a) fatores econômicos: custo da tecnologia e dos investimentos necessários, valor dos materiais recuperados, comparação entre os custos de tratamento e de disposição final;
- b) fatores de imagem da empresa: soluções mais limpas, mesmo que sejam mais dispendiosas, decisão de não depender de aterros ou do processamento dos seus resíduos por terceiros;

- c) fatores legais e normativos: soluções proibidas regionalmente, por exemplo, o uso de incineradores ou o co-processamento de resíduos em fornos de cimento, o cumprimento de exigências para a certificação e licenciamento;
- d) fatores relacionados com os riscos na empresa: redução dos prêmios de seguro através da adoção de soluções seguras, menor incidência de acidentes pessoais e de contaminação de funcionários.

3.1.2.2 Prevenção, Redução, Reuso e Reciclagem

Segundo a agência ambiental americana EPA – Environment Protection Agency, antes de se pensar em solução de disposição, os resíduos têm que ser administrados seguindo a seguinte lógica:

- Prevenção – evitar a sua geração;
- Redução – gerar o mínimo possível;
- Reuso – reutilizá-lo no próprio processo que o gerou ou em outro processo, mas sem alteração de suas propriedades físico-químicas;
- Reciclagem – transformá-lo de forma a servir de matéria prima para outro processo distinto daquele que o originou.

Entretanto, em muitas organizações o gerenciamento ambiental ainda está focado no controle da poluição, onde técnicas de tratamento dos resíduos ou emissões já geradas pelo processo produtivo são empregadas. Além de se tratar de técnicas caras, este enfoque permite ainda o desperdício de materiais, insumos e recursos naturais, não sendo então baseado no princípio do desenvolvimento sustentável.

Em vista disto, novas metodologias de gerenciamento ambiental vêm sendo mundialmente empregadas com o objetivo de se evitar ou mesmo minimizar a geração da poluição, sendo, portanto “ferramentas” preventivas.

Produção mais limpa (“cleaner production”), tecnologias limpas (“clean technologies”), redução de resíduos (“waste reduction”), minimização de resíduos (“waste minimization”),

eco-eficiência (“eco-efficiency”) e redução na fonte (“source reduction”) são termos comumente empregados na denominação das metodologias de prevenção à poluição.

O conceito de prevenção da poluição (“pollution prevention”), definido pela agência de proteção ambiental norte americana, EPA (1995), inclui:

- o uso de materiais, processos e práticas que reduzam ou eliminem a geração de poluentes ou resíduos na fonte;
- medidas que reduzam o uso de materiais perigosos e recursos;
- práticas que protejam os recursos naturais pela sua conservação ou uso mais eficiente.

O United Nations Environment Programme - UNEP (2002), na Declaração Internacional sobre Produção Mais Limpa, define a mesma como sendo a “aplicação continuada de uma estratégia preventiva integrada aplicada a processos, produtos e serviços com vistas a reduzir os riscos à saúde humana e ao meio ambiente e alcançar benefícios econômicos para as empresas”.

Já a eco-eficiência é alcançada com a entrega de produtos e serviços com preços competitivos, que satisfaçam às necessidades humanas e que contribuam para a melhoria da qualidade de vida através da redução dos impactos ecológicos e dos recursos energéticos, bem como pela análise do ciclo de vida.

Os conceitos acima se confundem, indicando uma grande semelhança ideológica entre si. Mas a eco-eficiência prevê também a análise do ciclo de vida do produto, estendendo o conceito de prevenção da poluição além do processo produtivo de um determinado produto.

Desta maneira, um gerenciamento efetivo com vistas ao alcance do desenvolvimento sustentável deve aliar os conceitos de produção limpa e eco-eficiência, abrangendo todas as etapas do ciclo de vida do produto.

A PML – Produção Mais Limpa pode ser aplicada a um processo produtivo em diversos níveis. A FIGURA 3.2 esquematiza a implementação desta técnica com seus níveis de desdobramento.

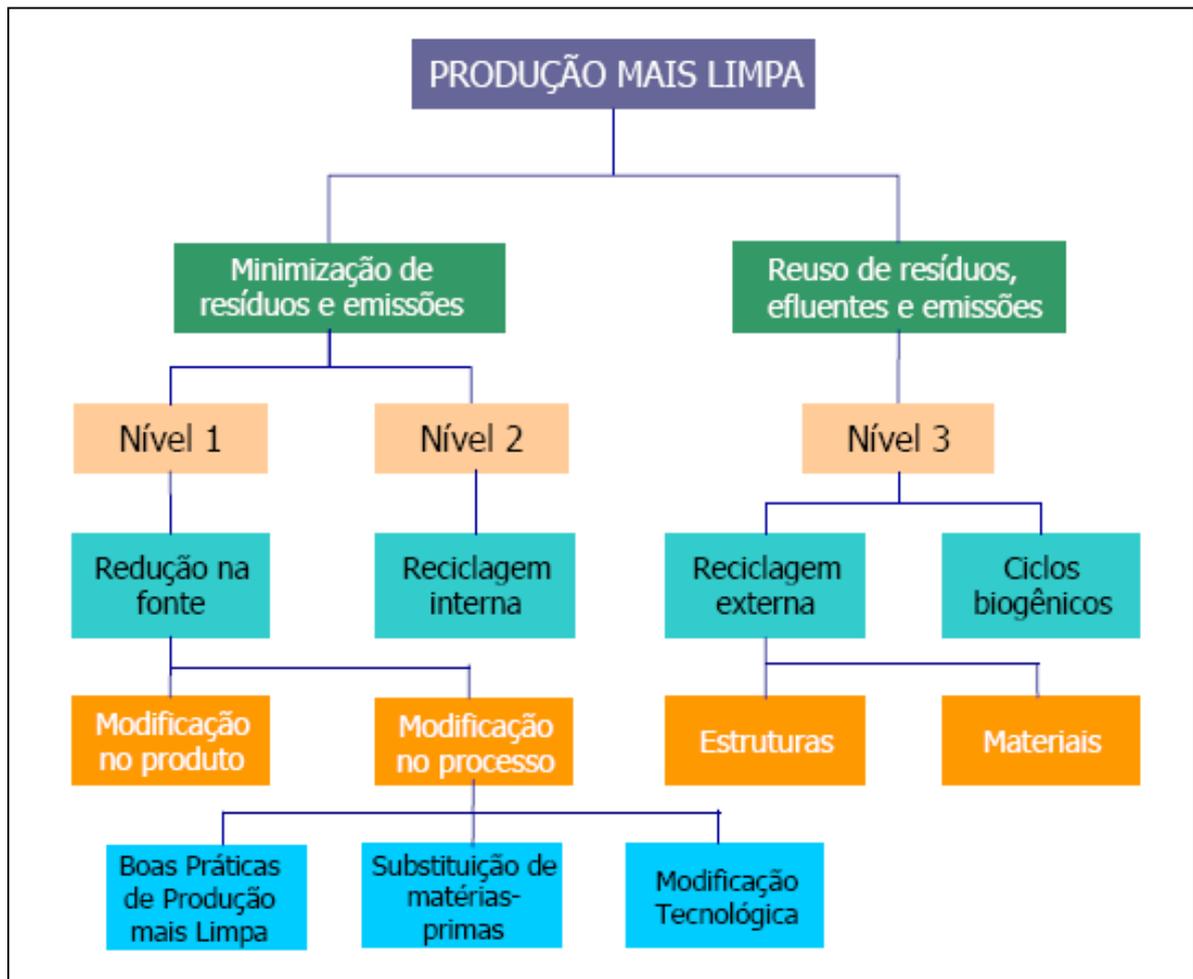


FIGURA 3.2 – Fluxograma da geração de opções de produção mais limpa.

Fonte: SENAI/RS, 2003.

A prática tem indicado que deve-se aplicar preferencialmente a PML em nível 1, pois com as técnicas de redução de poluição na fonte de geração obtêm-se os melhores resultados.

Existem várias metodologias propostas para a aplicação de técnicas de PML nas empresas. Entretanto, seguem uma estrutura básica, na qual um bom diagnóstico preliminar da empresa deve ser conduzido de uma forma completa. A partir desse diagnóstico poderá se ter uma visão macro da empresa identificando os fluxos de materiais e energias no processo produtivo.

A agência de proteção ambiental americana prevê a seguinte metodologia (EPA, 1995):

Fase 1 – Pré-avaliação: na qual é realizada uma pré-avaliação da empresa, são listadas todas as operações unitárias e fluxogramas de processos são construídos. Já nesta etapa surgem oportunidades óbvias de redução de desperdícios.

Fase 2 – Balanço de massa: realização de um balanço de massa do processo. Devem ser determinadas todas as entradas e saídas, são quantificados os gastos com materiais, insumos e energia. Este balanço preliminar é avaliado e refinado.

Fase 3 – Síntese: o resultado obtido com o balanço de massa é traduzido em oportunidades de melhoria do processo, identificação e caracterização dos resíduos, segregação, desenvolvimento de planos de redução da poluição a longo prazo, avaliação ambiental e econômica dos mesmos, implementação plano de ação para redução resíduos e aumento da eficiência produtiva.

Como ferramentas da PML podemos citar:

- Emprego de boas práticas operacionais;
- Modificação no processo produtivo;
- Substituição de matérias primas, principalmente as que apresentam maior toxicidade;
- Modificação no produto;
- Reutilização ou reciclagem interna;
- Mudança no lay-out, etc.

A aplicação das metodologias preventivas faz uso de quatro grupos de ferramentas, cuja seleção depende de cada empresa:

- Ferramentas de inventário: dirigidas à identificação, quantificação e alocação de intervenções ambientais a processos produtivos, produtos ou ciclos de vida, e compreende, entre outras, análise do ciclo de vida, matriz de materiais e energia, balanço de massa;
- Ferramentas de aperfeiçoamento: utilizadas para facilitar a formulação de opções de melhoria para produtos, processos produtivos ou ciclos de vida, compreendendo, entre

outras, estratégias e técnicas de prevenção da poluição, matriz de aperfeiçoamento de produtos, eco-design;

- Ferramentas de priorização: com o uso de critérios bem definidos que permitem avaliar e ordenar as opções de intervenção ou de aperfeiçoamento ambiental, como por exemplo, análise de custo-benefício, cálculo do custo total, indicadores de performance ambiental, análise de eco-portfólio;
- Ferramentas de gerenciamento: que especificam procedimentos e/ou rotinas necessárias ao desenvolvimento de projetos de Ecologia Industrial, tais como guias e manuais de prevenção da poluição, produção limpa, eco-design, auditorias.

Concluindo, as exigências regulatórias e de mercado e a consciência empresarial impõem uma mudança de visão estratégica na questão da gestão dos resíduos.

A FIGURA 3.3 ilustra essa diferença de visão estratégica e de comportamento empresarial que vem ganhando importância crescente.

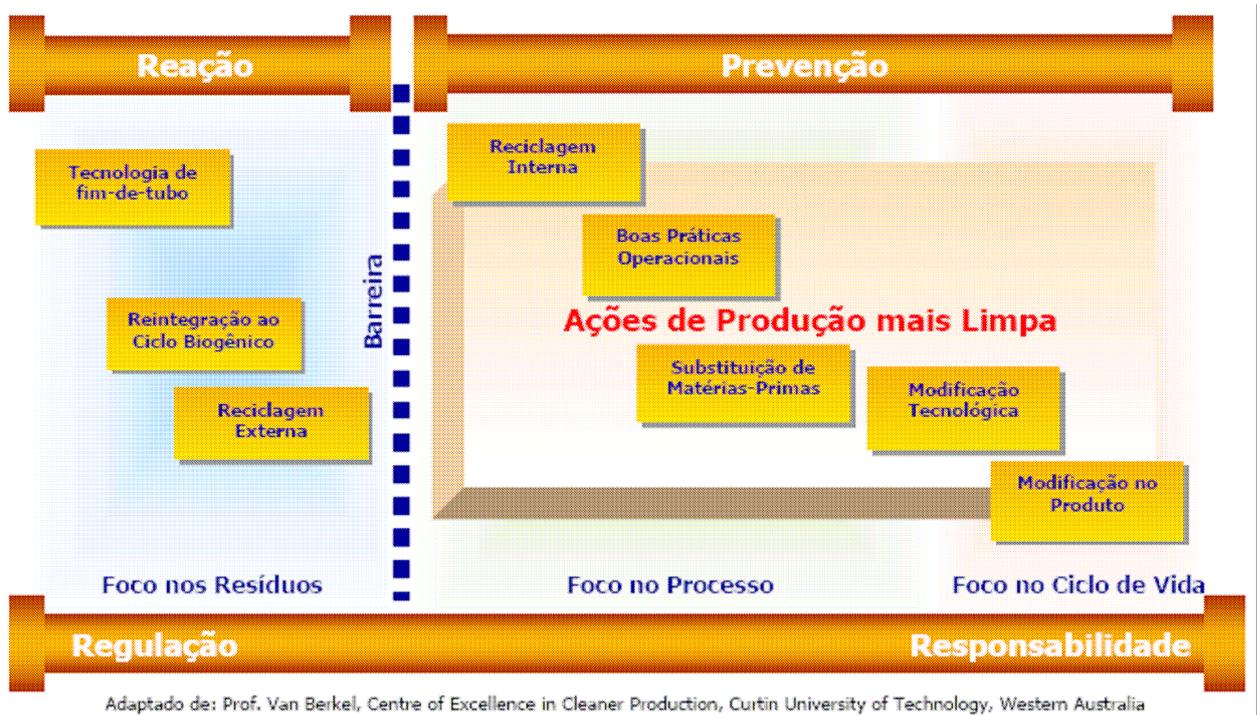


FIGURA 3.3 – Evolução das empresas rumo à produção mais limpa.

Fonte: SENAI.RS, 2003.

3.1.3 Normas e legislação pertinentes

A legislação que rege a matéria é ainda muito dispersa pela falta de uma política nacional, conforme pode ser observado no QUADRO 3.1.

Há um Projeto de Lei (PL 203/1991) com mais 77 projetos apensados a ele que trata da Política Nacional de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. Este PL encontra-se, atualmente, na Comissão Especial aguardando apreciação do parecer do relator.

A Resolução nº 313 estabelecida pelo CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente, em 29 de outubro de 2002, que dispõe sobre o inventário nacional de resíduos sólidos industriais, determinou que os órgãos estaduais providenciassem e apresentassem ao IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, no prazo de dois anos, um inventário estadual. Determinou ainda que o IBAMA e os órgãos estaduais elaborassem, em até três anos, no âmbito de suas competências, os programas estaduais de gerenciamento de resíduos industriais e, em até quatro anos, o Plano Nacional de Gerenciamento de Resíduos Industriais.

Atendendo a esta resolução, o estado de Minas Gerais realizou em 2003 o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Industriais através da Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD.

O COPAM – Conselho de Política Ambiental do Estado de Minas Gerais, através da Deliberação Normativa – DN Nº 90 de 15/09/2005, que dispõe sobre a declaração de informações relativas às diversas fases de gerenciamento dos resíduos sólidos industriais no Estado de Minas Gerais, convocou as indústrias a apresentarem, até o dia 31 de março de cada ano, o inventário de resíduos relativo ao ano civil anterior, subscrito pelo administrador principal da empresa e pelo responsável técnico devidamente habilitado, acompanhado da respectiva anotação de responsabilidade técnica.

Está também em fase de discussão uma Política Estadual de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, da qual o autor está tendo a oportunidade de participar do grupo coordenador, representando o setor produtivo, isto é, a FIEMG – Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. Foi elaborado um texto base pelo grupo coordenador liderado pela SEMAD que foi colocado em discussão em diversos grupos temáticos: Indústria, Mineração, Infra-

Estrutura e Agropecuária e nos COPAM(s) regionais. Após as contribuições apresentadas por tais grupos, o grupo coordenador está compilando e discutindo estas contribuições de forma a apresentar uma proposta de redação final, visando sua implementação até meados de 2007.

Há também, além da legislação, uma série de normas técnicas que tratam do tema ‘resíduos sólidos’. A ABNT editou, em 1987, e revisou em 2004, um conjunto de normas técnicas visando padronizar a amostragem, os ensaios e a classificação dos resíduos sólidos. São elas:

- NBR 10004:2004 - Resíduos Sólidos - Classificação
- NBR 10005:2004 - Lixiviação de Resíduos - Procedimento
- NBR 10006:2004 - Solubilização de Resíduos - Procedimento
- NBR 10007:2004 - Amostragem de Resíduos – Procedimento

QUADRO 3.1 – Listagem de legislação sobre resíduos sólidos

Orig	Lei/decreto/ portaria/resolução	Assunto/ Obrigação	Regulamentação estadual/ Status
Fed.	Portaria MINTER 53/79	Disposição de resíduo sólidos / Proíbe a utilização do solo como destinação final de resíduos	Deliberação Normativa COPAM 07/81
Fed.	Decreto 875/93, alterado pelo Decreto 4.581/03	Promulga Convenção de Brasília sobre o Controle de Movimentos transfronteiriços de resíduos Perigosos e seu depósito.	--
Fed.	Resolução CONAMA 257/99, alterada pela resolução CONAMA 263/99	Descarte de pilhas e baterias/ determina aos usuários, a devolução do produto, após o seu esgotamento energético, aos comerciantes, fabricantes, importadores ou distribuidores	--
Fed.	Resolução CONAMA 258/99, alterada pela Resolução CONAMA 301/03	Proíbe a destinação final inadequada de pneus inservíveis e proíbe a queima a céu aberto e a disposição em aterro sanitários, rios lagos ou riachos e terrenos baldios ou alagadiços.	--
Fed.	Resolução CONAMA 264/99	Dispõe sobre o licenciamento dos fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de co-processamento de resíduos	DN COPAM 26/98 Alterada pela DN COPAM 83/00
Fed.	Lei 10.165/00	Altera a Lei 6.938/81, institui a Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental e o Relatório Anual das Atividades Desenvolvidas no Ano Anterior	Lei 14.940/03, alterada pela Lei 15.972/06
Fed.	Res. CONAMA 307/02, alterada pela Res. CONAMA 348/04	Dispõe sobre o gerenciamento de resíduos gerados nas atividades de construção civil	depende de regulamentação municipal
Fed.	Resolução CONAMA 316/02	Disciplina os processos de tratamento térmico de resíduos e para co-processamento em fornos de clínquer	DN COPAM 26/98 Alterada pela DN COPAM 83/00
Fed.	Resolução CONAMA 313/02	Inventário Nacional de Resíduos - Relaciona as empresas obrigadas à apresentação do Inventário/ Estabelece a obrigação de registrar mensalmente dados sobre a geração e destinação dos resíduos. Revoga a Resolução CONAMA 06/88	Deliberação Normativa COPAM 90/05
Fed.	Resolução ANVISA/RDC 306/04	Aprova o Regulamento Técnico para o Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde	Deliberação Normativa COPAM 97/06
Fed.	Resolução CONAMA 358/05 Retificada em 21.06.05	Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde/ Revoga a Resolução CONAMA 283/01	Deliberação Normativa COPAM 97/06

Orig	Lei/decreto/ portaria/resolução	Assunto/ Obrigação	Regulamentação estadual/ Status
Fed.	Resolução CONAMA 362/05	Dispõe sobre o óleo lubrificante usado ou contaminado/ Estabelece obrigações para produtores, importadores e revendedores de óleo lubrificante acabado e para geradores, coletores, rerrefinadores e recicladores de óleo lubrificante usado ou contaminado/ Revoga a Resolução CONAMA 09/93	--
Fed.	Instrução Normativa IBAMA 96/06	Dispõe sobre o registro no Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais e no Cadastro Técnico Federal de Instrumentos de Defesa Ambiental Prevê a forma de apresentação do Relatório Anual de Atividades Revoga a Instrução Normativa IBAMA 10/01	Portaria FEAM/IEF 02/05 Alterada pela Portaria FEAM/IEF 03/05
Est. MG	Lei 13.796/00	Dispõe sobre o gerenciamento de resíduos perigosos e determina obrigações relativas à sua geração, transporte, armazenamento e destinação final	--
Est. MG	Lei 14.128/01	Dispõe sobre a Política Estadual de Reciclagem de Materiais, que tem o objetivo de incentivar o uso, a comercialização e a industrialização de materiais recicláveis	Depende de regulamentação
Est. MG	Deliberação Normativa COPAM 52/01, alterada pela DN COPAM 92/06	Convoca para o licenciamento ambiental de sistema de destinação final de resíduos sólidos urbanos os Municípios com população urbana superior a 50.000 habitantes	DN COPAM 92/06 concedeu novos prazos

3.2 A indústria de fundição

Segundo o BNDES (2002), o Brasil está entre os 10 maiores produtores de fundidos do mundo. Os principais fatores que propiciam condições vantajosas à indústria de fundição brasileira são os custos com energia elétrica, matérias-primas e mão-de-obra.

A indústria de fundição no Brasil, segundo dados da ABIFA – Associação Brasileira de Fundição (2006), é composta por cerca de 1000 empresas que empregam cerca de 59.000 trabalhadores. Aproximadamente 90% destas empresas são de pequeno ou médio portes, e estão distribuídas em todas as regiões do país, com predominância na região sudeste. Há grande concentração na produção pois apenas 10 empresas respondem por 50% da produção nacional do setor. Ainda segundo a ABIFA, o setor teria uma capacidade instalada superior a 3.000.000 t/ano.

Segundo o BNDES (2002), a indústria de fundição é um segmento da economia que se caracteriza pela produção de bens intermediários e fornece seus produtos para indústrias de diversos segmentos. Entre estes, destacam-se as indústrias automobilística, de construção ferroviária e naval, de bens de capital (principalmente máquinas e implementos agrícolas) e de base, como a siderúrgica (lingoteiras e cilindros); outros importantes demandantes de fundidos são o setor de mineração e fabricação de cimento (corpos moedores e peças de desgaste) e ainda o de extração/refino de petróleo (válvulas e outras peças). No entanto, dados estatísticos revelam que existe forte concentração das vendas (49%) para as indústrias montadoras de veículos e de autopeças, seguida da indústria siderúrgica, mecânica e de infraestrutura, com, respectivamente, 15%, 11% e 4% do total da produção de fundidos. As TABELAS 3.2, 3.3 e 3.4 apresentam números significativos desse setor no Brasil.

TABELA 3.2 – Exportações do Setor de Fundição

PERÍODO	AGO/06	JUL/06	AGO/05	JAN – AGO/06	JAN – AGO/05
METAL	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)
1-FERRO	52,372	46,160	49,340	390,505	333,613
2-AÇO	10,038	9,955	7.655	76,255	49,472
3-NÃO FERROSOS	2,446	2,517	1.993	19,846	18,120
4-TOTAL	64.856	58,632	58988	486,606	401,105

Fonte: Modificado de ABIFA, 2006

TABELA 3.3 – Produção nacional de fundidos

PERÍODO	AGO/06	JUL/06	AGO/05	JAN – AGO/06	JAN – AGO/05
METAL					
FERRO TOTAL	225,723	215,810	218,508	1.719,007	1.638,932
AÇO TOTAL	29,604	29,039	28,464	222,493	184,911
NÃO FERROSOS	20,379	20,144	20,253	156,497	163,338
Cobre	1,805	1,791	1,510	13,283	12,589
Zinco	675	625	743	4,521	4,807
Alumínio	17,481	17,257	17,751	136,263	142,829
Magnésio	481	471	249	3,430	3,113
TOTAL GERAL	275,706	264,993	267,225	2.097,997	1.987,181

Fonte: Modificado de ABIFA, 2006

TABELA 3.4 – Número de empregados do setor de fundição

PERÍODO	AGO/06	JUL/06	AGO/05
REGIAO			
1-CENTRO / MG	10.609	10.679	10.338
2-NORTE / NE	1.286	1.307	1.265
3-R. DE JANEIRO	3.638	3.739	4.390
4- SÃO PAULO	25.398	25.778	24.854
5- SUL	16.822	16.8762	16.972
7- TOTAL	57.753	58.365	57.819

Fonte: Modificado de ABIFA, 2006

3.2.1 O processo de fundição

Basicamente o processo consiste na fusão de metal (ferro, aço ou metais não-ferrosos, como cobre, zinco, alumínio e magnésio), e, na forma líquida, os metais e suas ligas são vazados no interior de moldes que podem ser confeccionados com areias especiais aglomeradas com resinas próprias para esse fim, com formatos que reproduzem o objeto pretendido.

A moldagem em areia se dá em função de suas características refratárias que a possibilitam resistir a temperaturas muito mais altas das que resistem os diversos metais. As areias utilizadas em moldagem podem apresentar diversas composições mineralógicas e granulométricas e são misturadas com materiais aglomerantes para formação do molde pretendido.

Estes aglomerantes podem ser variados como compostos orgânicos em forma de resina ou inorgânicos como argilas (bentonita). Segundo CASTRO (2003), a bentonita é o principal aglomerante da mistura na areia de moldagem e responsável pela coesão da areia quando em contato com a água. Esta função coesiva permite a obtenção da resistência necessária à caixa de moldagem e sua plasticidade e consistência favorecem a compactação dos moldes e a conseqüente reprodução precisa das dimensões da peça. Outro aditivo usado, o pó de carvão tem como funções principais evitar a penetração do metal líquido no molde, reduzir a expansão térmica da sílica e aumentar a plasticidade da mistura.

As peças produzidas podem ser compactas, mas nos casos de peças que apresentam cavidades internas, o molde deve ter outro(s) elemento(s) formado(s) por areia e aglomerante (resina) com o mesmo(s) formato(s) da cavidade requerida para ocupar seu espaço impedindo que o metal líquido o ocupe. Este(s) elemento(s) são chamado(s) de macho(s).

Quando o conjunto que compõe a caixa de moldagem (molde(s) e macho(s)) fica pronto, é hora de verter o metal líquido em seu interior. Após a solidificação do metal, o(s) molde(s) juntamente com o(s) macho(s), são desagregados deixando os formatos e a(s) cavidade(s) requerida(s). Este processo recebe o nome de desmoldagem.

Após a desmoldagem, inicia-se o processo de acabamento. Cada caixa de moldagem pode conter uma única ou várias peças. Neste caso elas devem ser desmembradas com a quebra do “feixe”, e a retirada dos canais de vazamento.

Em seguida, cada peça passa a ser trabalhada individualmente. O processo de acabamento pode conter as seguintes atividades: jateamento com granalhas (esferas de aço), rebarbação (retirada de rebarbas), corte, lixamento, tratamento térmico, oleamento, pintura, etc. Paralelamente ou após o acabamento ocorrem as inspeções para verificação dos padrões de qualidade das peças produzidas. Esse controle da qualidade das peças produzidas pode variar desde a simples inspeção visual à métodos mais complexos como ensaios de ultra-som, aplicação de líquido penetrante, raios X, etc.

A FIGURA 3.4 ilustra um fluxograma típico com as principais fases do processo produtivo de uma fundição de ferro.

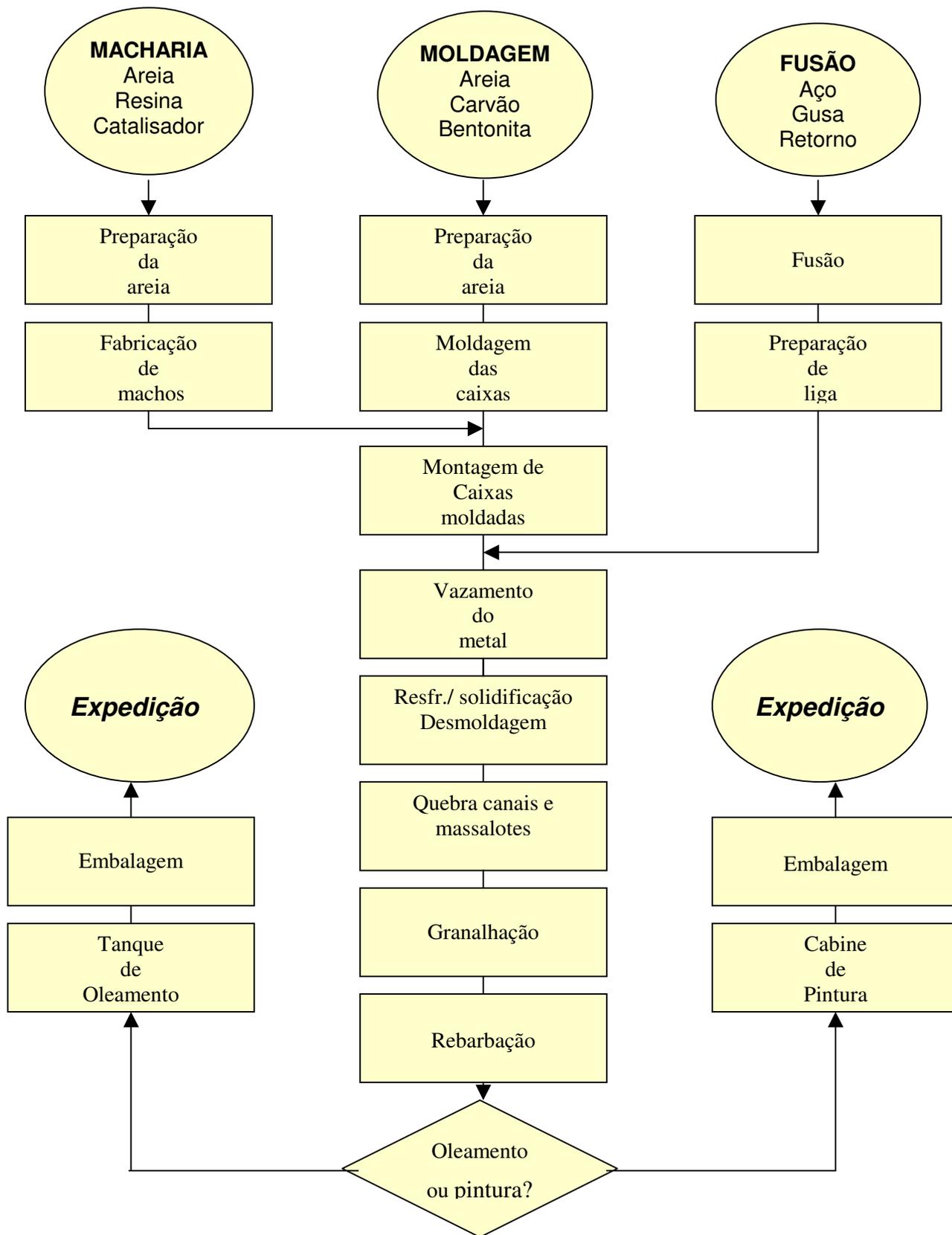


FIGURA 3.4 – Fluxograma típico de uma fundição de ferro

3.2.2 O problema dos resíduos de fundição

O fato de necessitar da areia de sílica para fabricação dos moldes e machos obriga a indústria de fundição a gerar grande quantidade de resíduos em seu processo. A recuperação interna e o reaproveitamento destes resíduos, sua regeneração, reciclagem e disposição em aterro industrial variam de empresa para empresa dependendo de cada processo e do tipo de produto. Podem ser muito diferentes as possibilidades de reaproveitamento interno da areia por uma indústria de fundição de peças compactas sem cavidades internas, portanto sem machos, e por outra que produz peças com grandes cavidades internas e, portanto, com grandes machos.

De qualquer forma, segundo a ABIFA (1999), qualquer que seja o tipo genérico de areia de moldagem empregado em uma dada fundição, a areia resultante da desmoldagem é, em proporções variáveis, reutilizada no próprio processo de moldagem que a originou, constituindo assim um *sistema de areia* recirculante, ao qual fica agregada, parcial ou totalmente, a areia que constituía os machos. Essa reciclagem ou recirculação interna envolve, via de regra, operações visando, por exemplo, à remoção de materiais metálicos e de torrões e o esfriamento da areia. Mas os resíduos de materiais que podem prejudicar a qualidade dos moldes, tais como restos de resinas curadas ou de argilas, carvões e outros aditivos termicamente degradados no processo de fundição, continuam presentes e, a menos que se utilizem técnicas de regeneração, seus teores só serão mantidos sob controle através da diluição da areia recirculada com a adição de areia nova. Isso cria um excedente de areia na fundição, que exige o descarte de parte da areia vinda de desmoldagem. As proporções dessa diluição decorrem das condições tecnológicas de cada fundição, as quais podem variar não apenas de fundição para fundição, mas também com a programação da produção de uma dada fundição.

Além das próprias areias descartadas, todo o processo gera outros resíduos derivados tais como: finos de areia, bentonita e carvão gerados nos processos de preparação da mistura ou no processo de recuperação mecânica interna das areias usadas; materiais particulados gerados nos fornos fusores; areia e finos metálicos gerados nos processos de jateamento com granalhas, particulados metálicos dos processos de corte e desbaste, borras de tinta para pintura dos machos, borras de tinta para pintura das peças, além de vários outros resíduos comuns a outras atividades industriais como sucatas metálicas, papelão, madeira, vidro, etc.

Os fins citados acima são, normalmente, captados pelos sistemas de controle de poluição atmosférica que podem ser sistemas secos gerando pós ou úmidos gerando lama.

Pela experiência do autor, as indústrias de fundição de ferro que produzem componentes automotivos, que, segundo a ABIFA (2006), são predominantes no país, na média, geram resíduos a serem “colocados da porta para fora” na relação aproximada de um para um, isto é, aproximadamente uma tonelada de resíduo para cada tonelada de produto acabado.

3.2.3 A reutilização e reciclagem de resíduos em fundição

A fundição já é, por essência, uma indústria recicladora pois sua matéria prima, em grande parte, é formada por sucatas metálicas, isto é, bens já utilizados e “descartados” pela sociedade que após processados são transformados em novos bens.

Essa reintrodução de bens descartados no ciclo produtivo contribui, de forma muito significativa, para a redução da extração de recursos naturais minerais e consumo de energia.

Mas também por ser uma grande geradora de resíduos, a indústria de fundição que é de fundamental importância para a sociedade depara-se com o enorme desafio de compatibilizar seu desenvolvimento ao desenvolvimento e exigências dessa mesma sociedade na qual ela está inserida.

Nesse contexto, é fundamental, para sua sobrevivência, que a indústria de fundição desenvolva adequados sistemas de gerenciamento de seus resíduos, procurando minimizar sua geração, aumentar sua reutilização, desenvolver métodos de incorporação e reciclagem minimizando ou eliminando a necessidade de disposição em aterros.

Muitas empresas de fundição possuem sistemas internos de recuperação e retornam para seu próprio processo grande parte da areia da desmoldagem. O Manual de Regeneração e Reuso de Areias de Fundição elaborado, em 1999, pela Comissão de Meio Ambiente da ABIFA define a recuperação como sendo “o conjunto das operações que promovem o condicionamento da areia resultante da desmoldagem para reutilização no próprio processo de moldagem que a originou, na qual ficou agregada uma parcela ou a totalidade da areia que constituía os machos. Essas operações podem incluir, por exemplo, a remoção de materiais metálicos e torrões e o esfriamento da areia, mas não reduzem substancialmente os teores de

resinas curadas ou de argilas, carvões e outros aditivos termicamente degradados no processo de fundição. Isto será conseguido através de diluição, obtida com a remoção de parte da areia vinda de desmoldagem e sua substituição com areia nova.

Desta forma o que configura o grande problema são os excedentes de areia que, segundo o mesmo Manual, são formados por aquela areia que, proposital ou inadvertidamente, é retirada do sistema para possibilitar a diluição do mesmo com areia nova. Para evitar que este excedente seja simplesmente disposto em aterro como no passado é que vem crescendo nos últimos anos o desenvolvimento de tecnologias para sua regeneração ou para aplicação em finalidades distintas da fundição como na construção civil.

A regeneração, ainda segundo o mesmo manual, seria o tratamento dado à areia usada para remover da superfície dos grãos as capas aderentes de aglomerantes, aditivos e seus produtos de decomposição, assim como os resíduos metálicos, reconduzindo-a o mais próximo possível da condição de areia nova e permitindo sua reutilização na atividade de fundição, em aplicações que normalmente exigiriam o emprego de areia nova (macharia, por exemplo).

A Comissão de Meio Ambiente da ABIFA vem trabalhando firmemente na tentativa de desmitificar a imagem de “periculosa” da areia de fundição junto a vários setores da sociedade como os órgãos de controle ambiental, à própria ABNT e ao DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte, pois as pesquisas e os estudos já efetuados no Brasil e no mundo demonstram não haver prejuízos ambientais na utilização da areia de fundição para fabricação de artefatos de cimento e pavimentação asfáltica dentro de adequados critérios da engenharia.

No QUADRO 3.2, são apresentados alguns exemplos de pesquisas visando o reaproveitamento de areias de fundição realizadas no Brasil.

Na FIGURA 3.5, é apresentado um fluxograma das areias nas diversas fases do processo de fundição com uma representação crítica das práticas usuais e daquelas recomendáveis sob a perspectiva ambientalmente mais correta.

QUADRO 3.2 – Exemplos de algumas pesquisas para reaproveitamento de areia de fundição

ANO	PESQUISADOR	INSTITUIÇÃO DE PESQUISA	RESUMO
2006	RAQUEL LUÍSA PEREIRA CARNIN	Universidade Federal do Paraná	Incorporação de 15% do resíduo areia verde de fundição em concreto asfáltico usinado a quente. Pôde-se concluir que todas as misturas contendo o resíduo com o teor ótimo de asfalto satisfazem os requisitos das especificações rodoviárias. Os resultados dos ensaios ambientais realizados em amostras de massa asfáltica contendo 15% de resíduo demonstram que estes não apresentam riscos ao meio ambiente.
2005	BENEDITO COUTINHO NETO	Universidade de São Carlos	Pode-se concluir que as misturas asfálticas com o resíduo areia de fundição apresentam propriedades adequadas para a camada de rolamento no que diz respeito as propriedades mecânicas. Os resultados das análises ambientais realizadas em misturas asfálticas com 15% de areia de fundição mostrou que este resíduo não oferece risco ambiental.
2003	PAULO ROBERTO FERREIRA DE CASTRO	Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT	Incorporação de 25% de areia de fundição em concreto de fck \geq 25 MPa, com resultados de desempenho técnico satisfatórios, mas com resultados ambientais insatisfatórios em alguns experimentos.
2003	FERNANDO STEFENON	Universidade de Caxias do Sul	Neste estudo foram incorporados 7% do resíduo areia de fundição na confecção de concreto asfáltico usinado com o teor ótimo de asfalto de 6,5% e concluiu-se que o concreto asfáltico contendo o resíduo atende as especificações do DNIT e também não apresenta riscos ambientais.
2002	IVAN IDERALDO BONET	Universidade Federal de Santa Catarina	Esta pesquisa abordou a adição de 8% do resíduo areia de fundição em concreto asfáltico usinado a quente com o teor ótimo de asfalto de 6,5% e foi concluído que este concreto asfáltico possui boas propriedades mecânicas e atende os limites máximos da norma NBR 10.004.
1999	PAULO BINA	Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT	Incorporação resíduo areia de fundição em pavimentação. Executado trecho experimental no município de Santo André - SP, sendo instalados poços de monitoramento das águas provenientes das chuvas. Os ensaios ambientais, inclusive nos extratos coletados nos poços de monitoramento, demonstraram não haver riscos ambientais

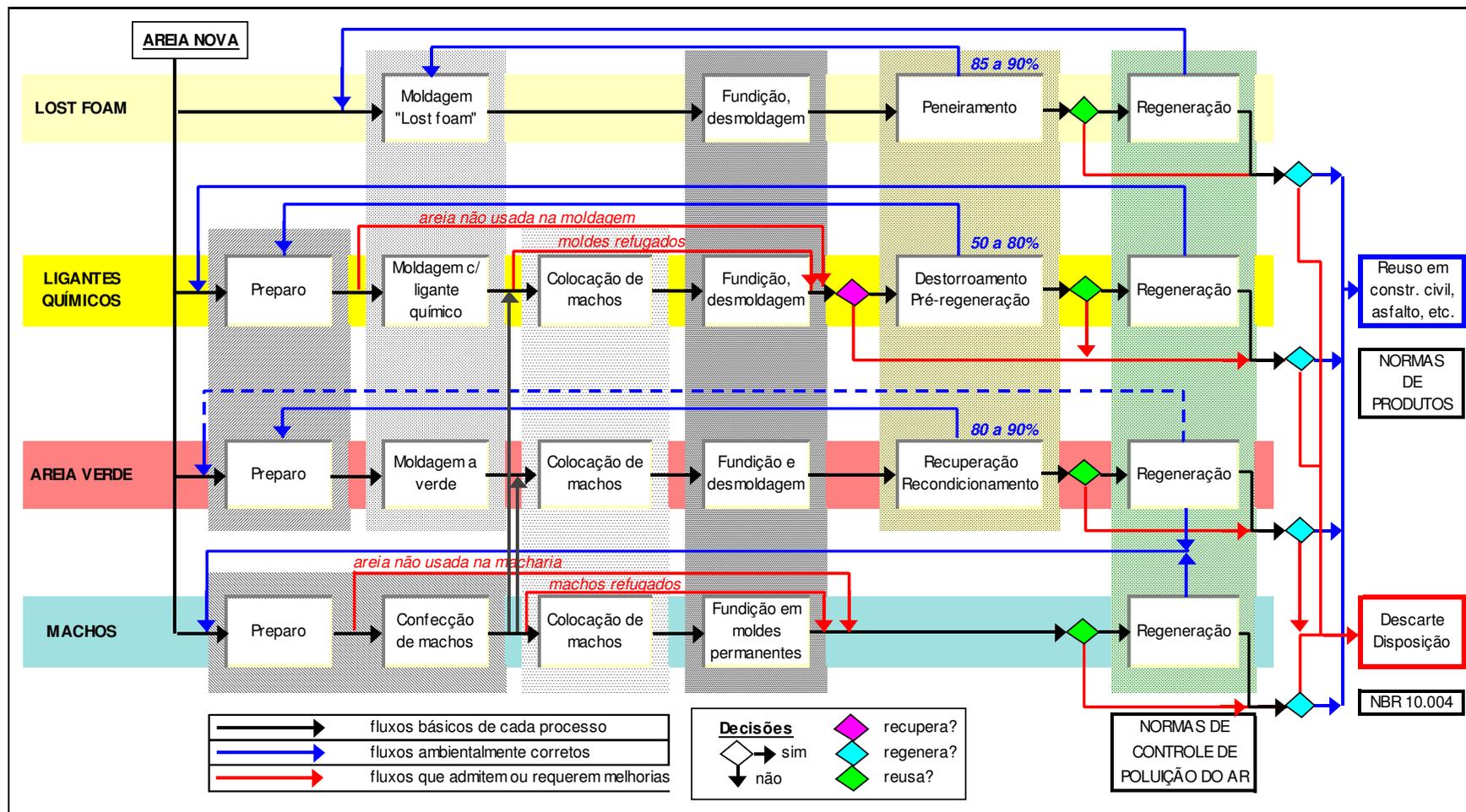


FIGURA 3.5 – Fluxograma de areias no processo de fundição
 Fonte: ABIFA, 1999

3.3 A indústria da construção civil

3.3.1 O consumo de recursos naturais

A construção civil é considerada por muitos autores como a principal consumidora de recursos naturais dentre as atividades humanas. Este setor é responsável por 14 a 50% do consumo de recursos naturais extraídos no mundo (SJOSTRON, 1996 apud JOHN, 2000).

Segundo Callister (2002), estima-se que, em escala mundial, algo ao redor de 15 bilhões de toneladas de matéria-prima sejam extraídas da Terra todos os anos.

Segundo JOHN (2000), no Brasil, o consumo de agregados naturais destinados somente à produção de concretos e argamassas, é de 210 milhões de toneladas/ano, devendo-se ainda somar a este valor, o volume de agregados utilizado em pavimentação e as perdas.

A construção civil consome diretamente bens naturais como argilas, rochas (pedras), madeira, água, etc. assim como diversos bens industrializados a partir de matérias primas naturais como plásticos, cimento, aço, alumínio, vidro, etc.

3.3.2 Reciclagem de resíduos na construção civil

A própria construção civil produz um volume de entulho duas vezes superior ao volume de lixo sólido urbano, que é depositado, muitas vezes, em aterros clandestinos, obstruindo córregos, comprometendo drenagens, colaborando com enchentes e favorecendo a proliferação de insetos (JOHN, 2000).

Esse problema está presente em todos os municípios, mas já há alguns municípios brasileiros implementando usinas recicladoras de entulhos de forma a reduzir os impactos gerados pela proliferação de despejos clandestinos destes materiais. Uma política de incentivo à reciclagem dos entulhos e um aumento da fiscalização podem ser um caminho para reduzir tais problemas.

Por outro lado, como grande consumidora de materiais, a indústria da construção civil tem uma vantagem por ter uma presença muito descentralizada, isto é, por estar presente em todos os conglomerados urbanos e, além disto, por consumir muitos materiais produzidos regionalmente o que pode facilitar bastante a logística de reciclagem de resíduos, inclusive de outros segmentos.

A construção civil já tem também uma tradição de grande recicladora e de consumo de materiais com resíduos incorporados com processos já bastante consolidados. Pode-se citar a utilização de vidros reciclados, de escórias na fabricação de cimento, na pavimentação e, mais recentemente, a enorme gama de resíduos que estão sendo co-processados na indústria cimenteira se incorporando como matéria prima e ou fornecendo energia ao processo de fabricação do cimento.

Mas é fundamental que o desenvolvimento de pesquisas para a reciclagem de resíduos na construção civil seja realizado considerando todas as variáveis técnicas e, principalmente, as ambientais.

Como exemplos de pesquisas visando a reciclagem de resíduos de outros setores da economia na construção civil, além daqueles citados no QUADRO 3.2, pode-se citar diversos outros envolvendo a indústria cerâmica tais como a utilização de “pó de balão”, borra de fosfato e lama de sistema de lavagem de gases de altos fornos na fabricação de blocos de cerâmica vermelha e tantos outros.

3.4 A indústria de tijolos de cerâmica vermelha

Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica – ABC (2005), a cerâmica tem um papel importante para economia do país, com participação no PIB (Produto Interno Bruto) estimado em 1%, correspondendo a cerca de 6 bilhões de dólares. A abundância de matérias-primas naturais, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologias práticas embutidas nos equipamentos industriais, fizeram com que as indústrias brasileiras evoluíssem rapidamente e muitos tipos de produtos dos diversos segmentos cerâmicos atingissem nível de qualidade mundial com apreciável quantidade exportada.

O setor industrial da cerâmica é bastante diversificado e pode ser dividido nos seguintes segmentos: cerâmica vermelha, materiais de revestimento, materiais refratários, louça sanitária, isoladores elétricos de porcelana, louça de mesa, cerâmica artística (decorativa e utilitária), filtros cerâmicos de água para uso doméstico, cerâmica técnica e isolantes térmicos. No Brasil existem todos estes segmentos, com maior ou menor grau de desenvolvimento e capacidade de produção. Além disso existem fabricantes de matérias-primas sintéticas para cerâmica (alumina calcinada, alumina eletrofundida, carbeto de silício e outras), de vidrados e corantes, gesso, equipamento e alguns produtos químicos auxiliares.

Segundo a Associação Nacional da Indústria Cerâmica – ANICER (2006), em todo o Brasil, existem cerca de 5.500 empresas, gerando cerca de 400 mil empregos diretos. A maioria destas empresas, segundo estudos do SENAI.RS (2000), é constituída por micro e pequenas empresas com estruturas simples e familiares.

Em Minas Gerais, há também essa predominância das chamadas olarias que empregam processos mais rudimentares como a tração animal para a mistura e homogeneização da massa, secagem natural e fornos do tipo caiera.

Segundo Soares et al. (2002) apud Almeida (2005), as empresas, que na sua maioria têm estrutura familiar, mostram controle de qualidade precário, utilizam mão-de-obra não qualificada, desconhecem a existência de normas técnicas e operam com grande desperdício de energia e, conseqüentemente, produzem com baixa qualidade.

3.4.1 A matéria prima

Segundo LOPEZ (1945), com o nome de argila se designa um material que se encontra abundantemente distribuído na superfície terrestre e cuja principal propriedade é a de formar uma pasta ou massa plástica ao se misturar e se amassar com suficiente quantidade de água.

São substâncias minerais essencialmente compostas de sílica, alumina e água procedentes da decomposição de outras rochas, de grande uso e aplicação em diversos tipos de indústrias e muito especialmente na indústria cerâmica.

A argila não é uma rocha primitiva mas sim resultado da decomposição de certas rochas vulcânicas antigas.

As argilas são misturas de diversos silicatos de alumínio em proporções definidas e sua composição é muito variável contendo de 18 a 39% de alumina, de 46 a 67% de sílica e 6 a 19% de água.

Segundo SANTOS (1975), as argilas, para terem emprego na fabricação de tijolos, devem poder ser moldadas facilmente, ter valor médio ou elevado para a tensão ou módulo de ruptura à flexão, antes e após queimar; costumam apresentar cor vermelha após a queima em baixas temperaturas (geralmente 950°C, que é a temperatura usual de queima para esse tipo de produto), com um mínimo de trincas e empenamentos. Elevados teores de ferro divalente, elementos alcalinos e alcalino-terrosos são prejudiciais pelo fato de causar uma excessiva retração, reduzir a faixa de vitrificação e causar colorações indesejáveis. Argilas sedimentares recentes são geralmente usadas na fabricação de tijolos.

Na TABELA 3.5 , pode-se ver a composição média de argilas de Minas Gerais

TABELA 3.5 – Composição de algumas argilas de Minas Gerais

	Determinações (%)								
	PF	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₃ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO
Argila A	6,8	54,5	17,2	2,7	0,9	0,8	0,6	12,3	1,2
Argila B	11,2	42,3	19,4	4,9	0,7	0,4	0,8	11,6	0,8
Argila C	6,3	67,2	15,4	2,7	0,4	0,6	0,6	9,2	1,3
Argila D	6,4	67,0	17,9	3,9	0,5	2,1	0,4	0,2	0,4

Fonte: ALMEIDA, 2005

3.4.2 O processo de fabricação de tijolos cerâmicos

Segundo a ABC (2005), os processos de fabricação empregados pelos diversos segmentos cerâmicos assemelham-se parcial ou totalmente. Esses processos de fabricação podem diferir de acordo com o tipo de peça ou material desejado. De um modo geral eles compreendem as etapas de preparação da matéria-prima e da massa, conformação das peças, tratamento térmico e acabamento. No processo de fabricação muitos produtos são submetidos a esmaltação e decoração.

A FIGURA 3.6 apresenta um fluxograma típico do processo de fabricação de tijolos de cerâmica vermelha que é o interesse específico deste trabalho.

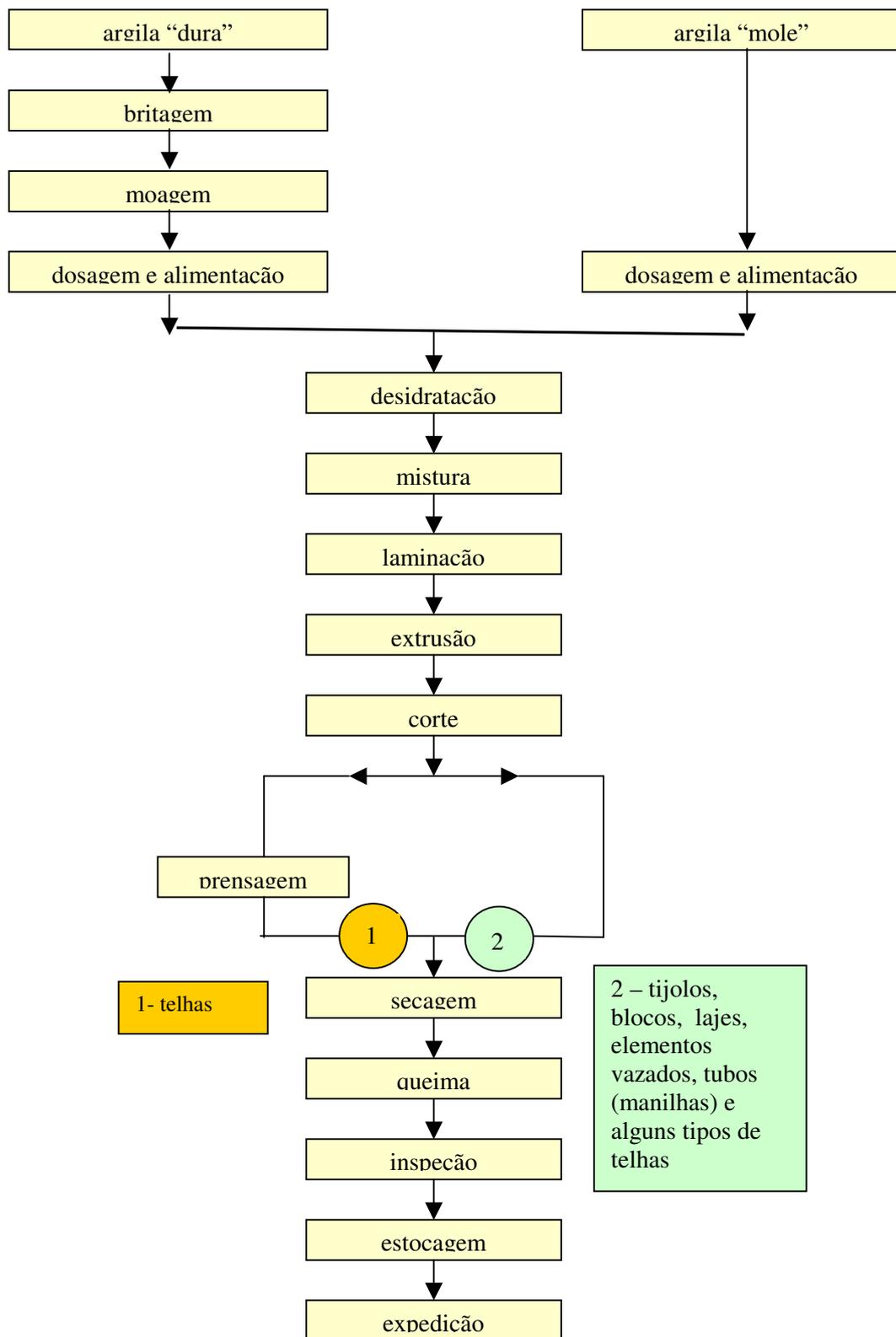


FIGURA 3.6 – Fluxograma indústria cerâmica vermelha

Fonte: Associação Brasileira de Cerâmica (2005)

Segundo LOPEZ (1945) os materiais cerâmicos geralmente são fabricados a partir da composição de duas ou mais matérias-primas, além de aditivos e água ou outro meio. Mesmo no caso da cerâmica vermelha, para a qual se utiliza apenas argila como matéria-prima, dois ou mais tipos de argilas com características diferentes entram na sua composição. Raramente emprega-se apenas uma única matéria-prima.

Uma das etapas fundamentais do processo de fabricação de produtos cerâmicos é a dosagem das matérias-primas e dos aditivos, que deve seguir com rigor as formulações de massas, previamente estabelecidas. Os diferentes tipos de massas são preparados de acordo com a técnica a ser empregada para dar forma às peças.

Há também diversos processos para dar forma às peças cerâmicas, e a seleção de um deles depende fundamentalmente de fatores econômicos, da geometria e das características do produto. Os métodos mais utilizados compreendem: colagem, prensagem, extrusão e torneamento. Para o caso dos tijolos, a conformação pode ocorrer através da extrusão ou de forma de madeira.

A extrusão consiste em colocar a massa plástica numa extrusora, também conhecida como maromba, na qual é compactada e forçada por um pistão ou eixo helicoidal, através de bocal com determinado formato. Como resultado obtém-se uma coluna extrudada, com seção transversal com o formato e dimensões desejados; em seguida, essa coluna é cortada, obtendo-se desse modo peças como tijolos vazados, blocos, tubos e outros produtos de formato regular.

Ainda em muitas olarias predomina a conformação manual através de formas de madeira para os tijolos maciços. A massa preparada é colocada e compactada em formas com dimensões e formato do produto que se pretende obter e em seguida é desmoldada. Normalmente utiliza-se areia seca nas superfícies internas da forma para se evitar o agarramento da massa e facilitar sua desmoldagem.

Após a conformação, as peças ainda muito úmidas são colocadas para a secagem. Para evitar tensões e, conseqüentemente, defeitos nas peças, é necessário eliminar essa umidade, de forma lenta e gradual, em secadores intermitentes ou contínuos, a temperaturas variáveis entre 50 °C e 150 °C. No caso das olarias de processos mais rudimentares, essa secagem é natural.

Segundo a ABC (2005), nessa operação, conhecida também por sinterização, os produtos adquirem suas propriedades finais. As peças, após secagem, são submetidas a um tratamento térmico a temperaturas elevadas, que para a maioria dos produtos situa-se entre 800 °C a 1700 °C, em fornos contínuos ou intermitentes que operam em três fases:

- aquecimento da temperatura ambiente até a temperatura desejada;
- patamar durante certo tempo na temperatura especificada;
- resfriamento até temperaturas inferiores a 200 °C.

O ciclo de queima compreendendo as três fases, dependendo do tipo de produto, pode variar de alguns minutos até vários dias. Durante esse tratamento ocorre uma série de transformações em função dos componentes da massa, tais como: perda de massa, desenvolvimento de novas fases cristalinas, formação de fase vítrea e a soldagem dos grãos. Portanto, em função do tratamento térmico e das características das diferentes matérias-primas são obtidos produtos para as mais diversas aplicações.

Nas olarias que utilizam fornos do tipo caieira não há como fazer um controle de temperatura e o processo depende inteiramente da experiência do operador.

Normalmente, após retirados dos fornos, os tijolos são inspecionados e classificados segundo seu grau de sinterização e de aparência e separados em lotes para a venda.

3.4.3 Normas para os produtos cerâmicos

A qualidade dos produtos cerâmicos pode ser analisada sob os mais diversos fatores, tais como:

- Regularidade de formas e dimensões;
- Arestas vivas e cantos resistentes;
- Inexistência de fendas, trincas, cavidades etc (massa homogênea);
- Cozimento uniforme (produzir som metálico quando percutido);

- Facilidade de corte (grãos finos e cor uniforme).

Embora a maioria das empresas do setor nem conheçam a existência de normas para seus produtos, além dos fatores de qualidade acima citados, os blocos e tijolos devem estar em conformidade com as normas estabelecidas quanto às suas formas e dimensões, resistência à compressão e absorção de água.

A ABNT editou uma série de normas técnicas sobre o assunto como as abaixo elencadas:

- NBR-6460:1983 Tijolo maciço cerâmico para alvenaria – verificação da resistência à compressão – Método de ensaio.
- NBR-7170:1983 Tijolo maciço cerâmico para alvenaria.
- NBR-8041:1983 Tijolo maciço cerâmico para alvenaria – forma e dimensões - Padronização.
- NBR-15270-1:2005 Componentes cerâmicos, Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – terminologia e requisitos.
- NBR-15270-2:2005 Componentes cerâmicos, Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – terminologia e requisitos.
- NBR-15270-3:2005 Componentes cerâmicos, Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – métodos de ensaio.

3.4.4 A reciclagem de materiais

A indústria cerâmica já vem sendo objeto de estudos e pesquisas para destinação de resíduos gerados em outros processos produtivos há um bom tempo. Há grande número de experiências positivas de incorporação de resíduos como matéria-prima, outras como fornecedores de energia ao processo de sinterização, mas há também tentativas desastrosas como a queima de borrachas e pneus sem nenhum cuidado ambiental.

Como grande parte das indústrias cerâmicas não possuem sistemas de controle de suas

emissões atmosféricas, é muito importante que se analise detalhadamente os constituintes do resíduo que se quer introduzir no processo da indústria cerâmica para garantir que as emissões atmosféricas não causem um impacto ambiental significativo.

Como exemplos de pesquisas e estudos com resultados satisfatórios com o objetivo de reaproveitamento de resíduos de outros processos produtivos na indústria cerâmica, pode-se citar (GIFFONI, 2004):

- Utilização de rejeitos de granitos como matéria-prima para a produção de blocos e revestimentos cerâmicos;
- Uso de resíduos de indústrias alimentícias de óleos, manteigas e margarinas como matéria-prima para a fabricação de tijolos;
- Uso de areia de fundição como matéria-prima para a fabricação de tijolos;
- Uso de resíduos da fabricação de papel como matéria-prima para a produção de blocos cerâmicos.

E ainda:

- Utilização de pó-de-balão misturado à massa para fornecer energia ao processo de sinterização;
- Utilização de borra de fosfato como matéria-prima alternativa para a fabricação de tijolos;
- Incorporação de lama do sistema de lavagem de gases de altos-fornos de usinas siderúrgicas integradas a coque em tijolos de cerâmica vermelha.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo é apresentada a metodologia e a seqüência das etapas de desenvolvimento do trabalho de pesquisa e dos experimentos para se alcançar os objetivos propostos, isto é, avaliar tecnicamente o aproveitamento de lama de hidrofiltros na fabricação de tijolos de cerâmica vermelha em substituição parcial à argila e avaliar o risco ambiental dessa incorporação.

A FIGURA 4.1 apresenta um esquema representativo da metodologia utilizada.

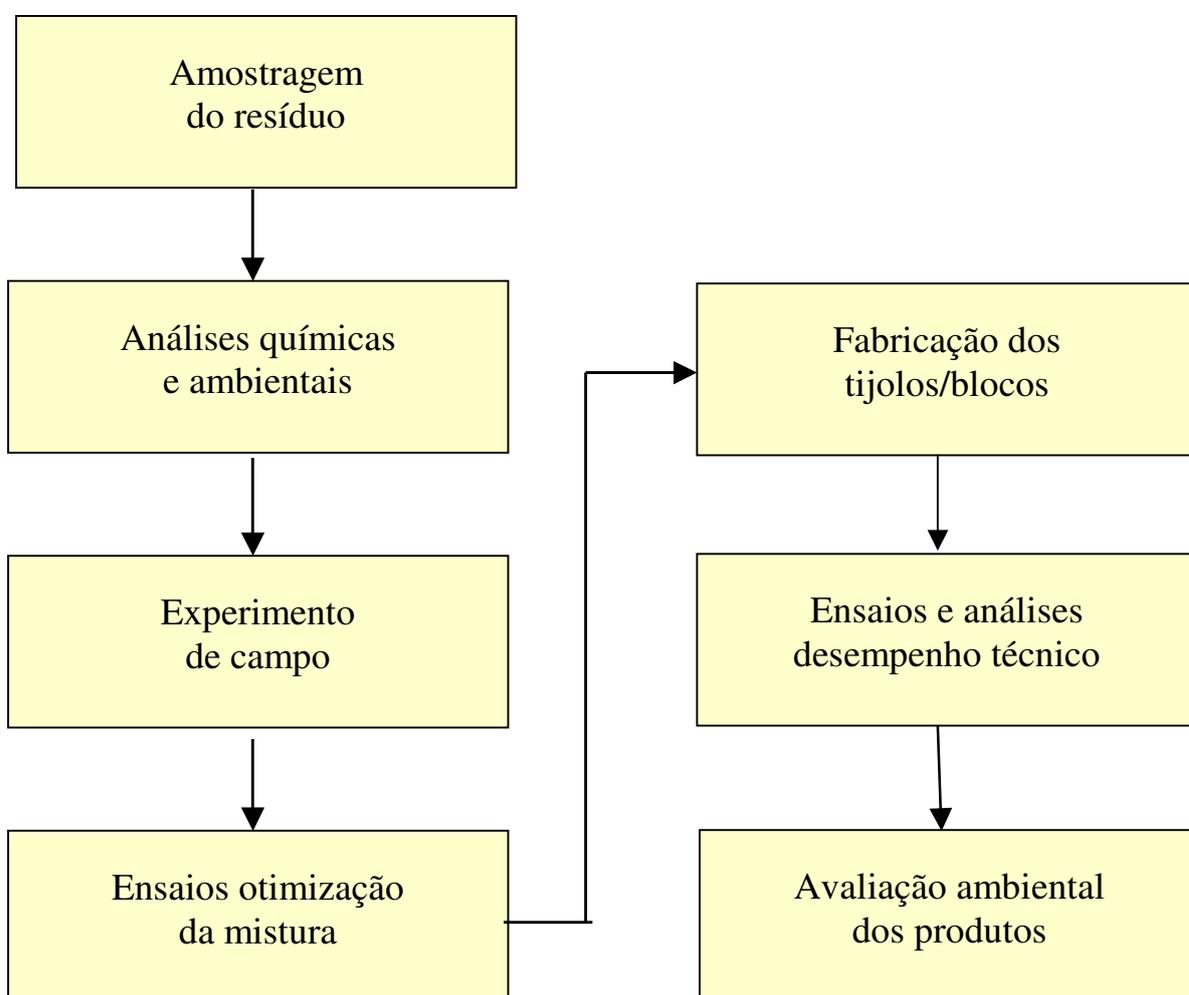


FIGURA 4.1 – Representação da metodologia utilizada na pesquisa

4.1 Caracterização do resíduo “lama dos hidrofiltros”

4.1.1 O processo de geração do resíduo

A indústria geradora do resíduo é uma grande produtora de produtos de ferro fundido para a indústria automotiva situada no município de Betim, região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais.

Além da pesquisa em literatura, foram realizadas visitas à planta industrial com a finalidade de conhecer o processo produtivo e, principalmente, aquelas fases e equipamentos em que é gerado o resíduo objeto do presente estudo.

Através de verificação in loco e entrevistas aos profissionais da empresa, foram identificadas as matérias primas utilizadas e os processos geradores do resíduo.

O resíduo é gerado na estação de tratamento de águas utilizadas em filtros de lavagem das emissões atmosféricas.

Os processos de fundição geram grande quantidade de materiais particulados e, por isso, necessitam de grandes e eficientes sistemas de exaustão e filtragem para manterem o ambiente de trabalho em adequadas condições e as emissões atmosféricas dentro dos parâmetros estabelecidos pela legislação ambiental.

Os sistemas de exaustão captam os gases e materiais particulados gerados nos diversos processos de produção, especialmente naqueles de preparação, recuperação e distribuição de areia para as máquinas de produção e nos processos de acabamento dos fundidos. Esses sistemas de exaustão são providos de filtros onde essa massa de ar poluído recebe uma lavagem com água. Essa água “suja” é conduzida, através de dutos a uma estação onde passa por tratamento físico-químico e volta novamente para o sistema através de bombeamento.

O processo de tratamento da água de lavagem gera um lodo que é permanentemente raspado do fundo dos tanques de tratamento através de raspadores mecanizados e a lama, ainda bastante fluída, é bombeada para os equipamentos de desidratação que são uma centrífuga e

dois filtros-prensa ou, alternativamente, pode ser bombeada a um dos dez leitos de secagem existentes. Assim é gerado o resíduo no estado pastoso, ilustrado pela FIGURA 4.2.



FIGURA 4.2 – Ilustração das instalações onde ocorre a geração do resíduo

4.1.2 Amostragem do resíduo

O resíduo, pelas próprias características de sua geração, é bastante homogêneo e não sujeito a sazonalidade, mas ainda assim, as amostragens foram realizadas em conformidade com a norma NBR-10007: Amostragem de resíduos – procedimentos (ABNT, 1987). Essa amostragem foi realizada em um dos leitos de secagem.

O leito de secagem, FIGURA 4.3, foi dividido em seis quadrículas imaginárias e no centro de cada quadrícula foi coletada amostra através de pá e depositada no solo revestido por uma lona plástica. As seis porções foram misturadas e a massa resultante foi conformada como uma grande “torta” que posteriormente foi quarteada. Após o quarteamento, duas porções em posições opostas foram tomadas e formaram uma nova torta que foi novamente quarteada. As porções opostas foram tomadas, misturadas e formaram a amostra representativa para envio ao laboratório.

As porções desprezadas nos dois quarteamentos retornaram para o leito de secagem.



FIGURA 4.3 – Foto de um leito de secagem do resíduo

4.1.3 Caracterização química e mineralógica do resíduo

Embora a empresa já possuísse análise química do resíduo realizada no ano 2000, foram realizadas novas análises a partir da amostragem descrita acima para confirmar sua homogeneidade e constância ao longo do tempo e também para melhor parametrizar todo o experimento com dados mais atualizados.

A amostra foi conduzida ao Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola de Engenharia da UFMG, onde foi realizada a caracterização química e mineralógica do resíduo através de ensaios de difração de raios X, fluorescência de raios X, determinação das frações de carbono.

4.1.4 Caracterização e classificação ambiental do resíduo

Neste caso, como já haviam várias caracterizações ambientais do resíduo realizadas e por não apresentarem grandes variações nos parâmetros analisados e, conseqüentemente, nenhuma alteração em sua classificação conforme a norma NBR-10004: Resíduos sólidos – classificação (ABNT, 1987), foram considerados os resultados das últimas análises realizadas em 2003, através dos ensaios de lixiviação conforme norma NBR-10005: Lixiviação de resíduos – procedimentos (ABNT, 1987) e de solubilização conforme a norma NBR-10006: Solubilização de resíduos – procedimentos (ABNT, 1987).

Foram adotados os dados referentes ao Resultado de Análise Química – RA 306/03 emitido pelo Centro de Sedimentometria e Qualidade de Águas Ltda – C.S.Q.A. a partir de amostra coletada em 2003.

4.2 Fabricação de tijolos em condições reais de campo

4.2.1 Coleta do resíduo

Uma amostra do resíduo na forma pastosa, como é originalmente gerado, foi coletado conforme procedimento de amostragem descrito anteriormente, qual seja, o leito de secagem foi dividido em seis quadrículas imaginárias e no centro de cada quadrícula foi coletada amostra através de pá e depositada no solo revestido por uma lona plástica. As seis porções foram misturadas e a massa resultante foi conformada como uma grande “torta” que posteriormente foi quarteada. Após o quarteamento, duas porções em posições opostas foram tomadas e formaram uma nova torta que foi novamente quarteada. As porções opostas foram tomadas, misturadas e formaram a amostra representativa de 200 kg foi acondicionada em duas bombonas de plástico para encaminhamento à indústria onde se daria o experimento.

4.2.2 Preparação das misturas

O experimento foi realizado numa olaria de pequeno porte e processo bastante rudimentar situada em Betim, região metropolitana de Belo Horizonte.

As misturas, FIGURA 4.4, foram realizadas manualmente de forma a garantir as proporções exatas planejadas para os experimentos, isto é, 10, 20, 30, 40 e 50% de resíduo em substituição à argila

Assim foram preparadas seis porções de misturas com 10 kg cada, sendo:

- Uma porção de 10 kg de argila natural (0%);
- Uma porção com 9 kg de argila e 1 kg de resíduo (10%);
- Uma porção com 8 kg de argila e 2 kg de resíduo (20%);
- Uma porção com 7 kg de argila e 3 kg de resíduo (30%);
- Uma porção com 6 kg de argila e 4 kg de resíduo (40%);
- Uma porção com 5 kg de argila e 5 kg de resíduo (50%).

Assim como as misturas, foram também conformados manualmente 03 tijolos maciços para cada receita em formas de madeira.



FIGURA 4.4 – Fotos ilustrativas da mistura argila e resíduo



FIGURA 4.5 – Tijolos após conformação e identificação

4.2.3 Secagem

Todos os tijolos foram identificados de acordo com as porções/misturas com as quais foram produzidos e foram colocados para secagem natural por 48 horas, assim como os demais tijolos produzidos por aquela olaria.



FIGURA 4.6 – Foto ilustrativa da secagem natural

4.2.4 Cozimento

Após secagem natural, os tijolos foram colocados para cozimento tomando-se o cuidado de posicioná-los na mesma região do forno, região central, de forma que eles não experimentassem entre si diferentes intensidades de temperatura que pudessem mascarar os resultados.

O forno dessa olaria, do tipo caieira, é bastante rudimentar e utiliza lenha para produção do calor. Não há nenhuma forma de razoável precisão para controle de sua temperatura e a distribuição de calor em seu interior é também muito desigual e sem controle.

Após o cozimento por 72 horas, os mesmos foram retirados do forno e posicionados no pátio para resfriamento natural.



FIGURA 4.7 – Fotos do forno (externa e interna) e dos tijolos pós-cozimento

4.3 Ensaios de funcionalidade / desempenho técnico dos tijolos

Os tijolos produzidos foram conduzidos ao Laboratório de Materiais de Construção da Escola de Engenharia da UFMG, onde foram ensaiados e analisados conforme as normas NBR-6460: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria – verificação da resistência à compressão (ABNT, 1983), NBR-7170: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria (ABNT, 1983), NBR-8041: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria – forma e dimensões (ABNT, 1983), NBR-15270-1: Componentes Cerâmicos, Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos (ABNT, 2005), NBR-15270-2: Componentes Cerâmicos, Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos (ABNT, 2005), NBR-15270-3: Componentes Cerâmicos, Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio (ABNT, 2005),

4.3.1 Resistência à compressão

Depois de retirados dos fornos, os tijolos prontos foram encaminhados ao Laboratório de Materiais de Construção da Escola de Engenharia da UFMG e submetidos a ensaios para verificação da resistência à compressão em conformidade com a norma NBR-6460: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria – verificação da resistência à compressão (ABNT, 1983).

Seguindo a prescrição da citada norma:

- os tijolos foram medidos;
- foram cortados ao meio perpendicularmente à sua maior dimensão;
- tiveram as duas metades superpostas e interligadas com uma camada fina de cimento;
- tiveram suas faces cobertas por pasta de cimento regular com espessura de 2 a 3 mm formando os corpos de prova;
- os corpos de prova foram imersos em água potável durante 24 h;
- foram enxutos superficialmente;
- tiveram suas faces de trabalho medidas;

- submetidos ao ensaio de compressão, com a máquina regulada de forma que a carga se elevasse progressivamente à razão de, aproximadamente, 500 N/s.

Foram submetidos a esse ensaio todos os tijolos produzidos com as diferentes proporções de resíduo e argila e aqueles produzidos sem a adição de resíduo para verificação do atendimento aos parâmetros normativos.

A FIGURA 4.8, ilustra algumas fases desses ensaios atendendo a metodologia prescrita pela referida norma.

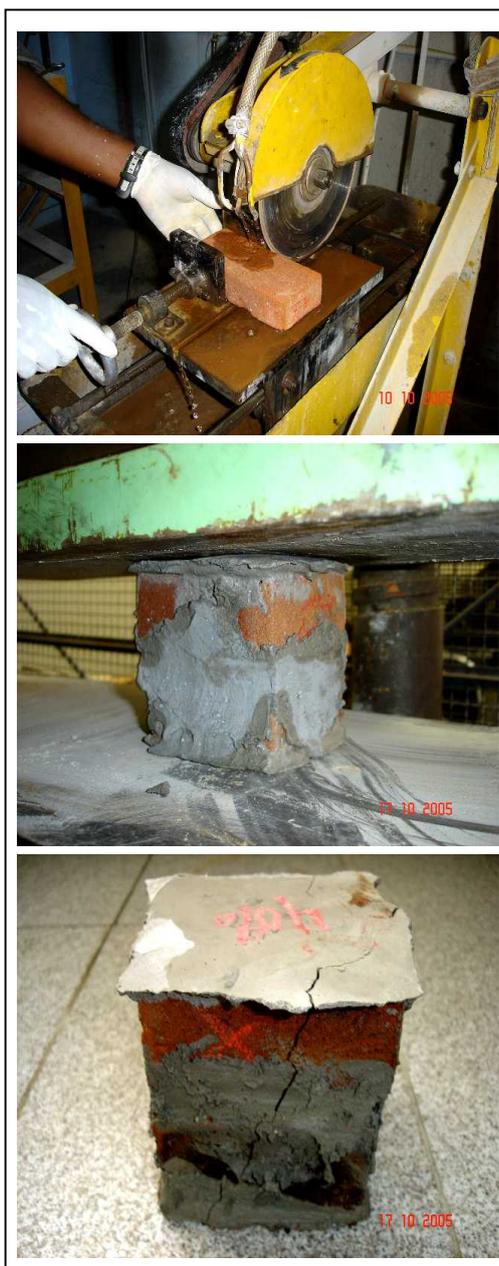


FIGURA 4.8 – Fases do ensaio de compressão

4.3.2 Dimensional

Foram tomadas os valores de todas as dimensões de cada tijolo produzido e eles foram agrupados de acordo com a proporção resíduo e argila. Foram calculadas as médias de cada dimensão para cada grupo de forma a verificar eventuais variações de forma e dimensões em função da proporção de resíduo utilizada. As médias dessas dimensões foram comparadas com as especificações da norma NBR-8041: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria – forma e dimensões (ABNT, 1983).

4.3.3 Absorção d'água

Os tijolos produzidos foram submetidos a ensaios de absorção de água em conformidade com a NBR-15270-3: Componentes Cerâmicos, Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio (ABNT, 2005).

Seguindo as prescrições da citada norma:

- os corpos de prova (tijolos) foram limpos;
- foram submetidos à secagem em estufa a $105 \pm 5^\circ\text{C}$;
- tiveram suas massas individuais determinadas em intervalos de 1 h, até que duas pesagens consecutivas tivessem variações máximas de 0,25 %;
- tiveram sua massa seca expressas em gramas registradas;
- foram imersos em água à temperatura ambiente;
- a água foi aquecida gradativamente até a sua ebulição;
- foram mantidos imersos em água fervente por 2 h;
- a água foi substituída lentamente por água à temperatura ambiente para resfriamento dos corpos de prova;
- os corpos de prova foram retirados da água e colocados em bancada para escoamento do excesso de água;
- a água remanescente foi removida com o auxílio de um pano limpo e úmido;

- foram, imediatamente, pesados tendo sua massa úmida expressa em gramas registrada;
- para cada corpo de prova foi determinado o índice de absorção de água (AA), através da expressão: $AA(\%) = (\mu - m_s / m_s) \times 100$ onde μ e m_s representam a massa úmida e seca

A FIGURA 4.9 ilustra algumas fases do ensaio de absorção de água em conformidade com a norma referida.



FIGURA 4.9 – Fases do ensaio de absorção de água

4.4 Ensaio de caracterização e classificação ambiental dos tijolos

Os fragmentos de tijolos gerados nos ensaios de funcionalidade dos artefatos produzidos com adição de resíduo foram submetidos a ensaios de lixiviação e de solubilização, conforme NBR-10005:2004 Lixiviação de resíduos – procedimentos (ABNT, 2004) e de solubilização conforme a norma NBR-10006:2004 Solubilização de resíduos – procedimentos (ABNT, 2004) para verificação de seu comportamento sob o ponto de vista ambiental.

Foram enviadas ao laboratório para análise duas amostras: uma proveniente dos tijolos produzidos sem adição de resíduos e outra com a receita de maior proporção de mistura de resíduo e que apresentou resultados dentro dos critérios normativos nos ensaios de funcionalidade, isto é, a maior proporção de resíduo na mistura em que os tijolos tenham apresentado resultados que atendem aos requisitos prescritos nos testes de desempenho técnico em conformidade com as normas citadas no item 4.3.

Posteriormente, em função dos resultados apresentados nos ensaios de solubilização, foi enviada uma outra amostra com menor proporção de resíduo na mistura para verificação de seu comportamento.

As análises foram realizadas pela empresa Hidrocepe – Serviços de Qualidade Ltda que emitiu os laudos O. S. 12262, 00169, 00170 e 12261.

As análises foram realizadas entre novembro de 2005 e janeiro de 2006 e já foram realizadas em conformidade com as versões das normas sobre resíduos sólidos revisadas em 2004 e também os fragmentos dos tijolos analisados foram classificados de acordo com a nova versão da norma, isto é, com a NBR-10004:2004 Resíduos sólidos – classificação (ABNT, 2004)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização do Resíduo “lama dos hidrofiltros”

5.1.1 O processo de geração do resíduo

5.1.1.1 A empresa onde é gerado o resíduo

A Teksid do Brasil Ltda é uma empresa de capital italiano pertencente ao Grupo Teksid que é o maior grupo de fundição do mundo e é controlado pelo Grupo Fiat.

Seus principais produtos são peças para a indústria automotiva em ferro nodular e cinzento, de médias e grandes dimensões, tais como blocos e cabeçotes de motor, girabrequins, eixo comando de válvulas, coletores, discos e tambores de freios.

A empresa ocupa uma área aproximada de 30 ha e tem cerca de 4.000 empregados. Sua produção média mensal está em torno de 30.000 t de produtos acabados e sua geração média mensal de resíduos é de aproximadamente 28.000 t, sendo que de 2.000 a 2.200 t compreendem o resíduo objeto desta pesquisa.

O aterro industrial da empresa ocupa uma área de 15 ha.

Suas principais matérias-primas são:

- Areia
- Bentonita
- Carvão
- Resinas
- óleo hidráulico
- óleo lubrificante
- solventes
- Catalisadores
- gusa líquido
- sucatas de aço
- carbureto de cálcio
- óleo protetivo
- tinta
- líquido penetrante e revelador

5.1.1.2 A geração do resíduo

A geração do resíduo ocorre conforme descrito em 4.1.1. A FIGURA 5.1 ilustra simplificada essa geração que pode chegar a 2.200 t por mês. Atualmente esse resíduo é disposto no aterro industrial da empresa devidamente licenciado pelo COPAM.

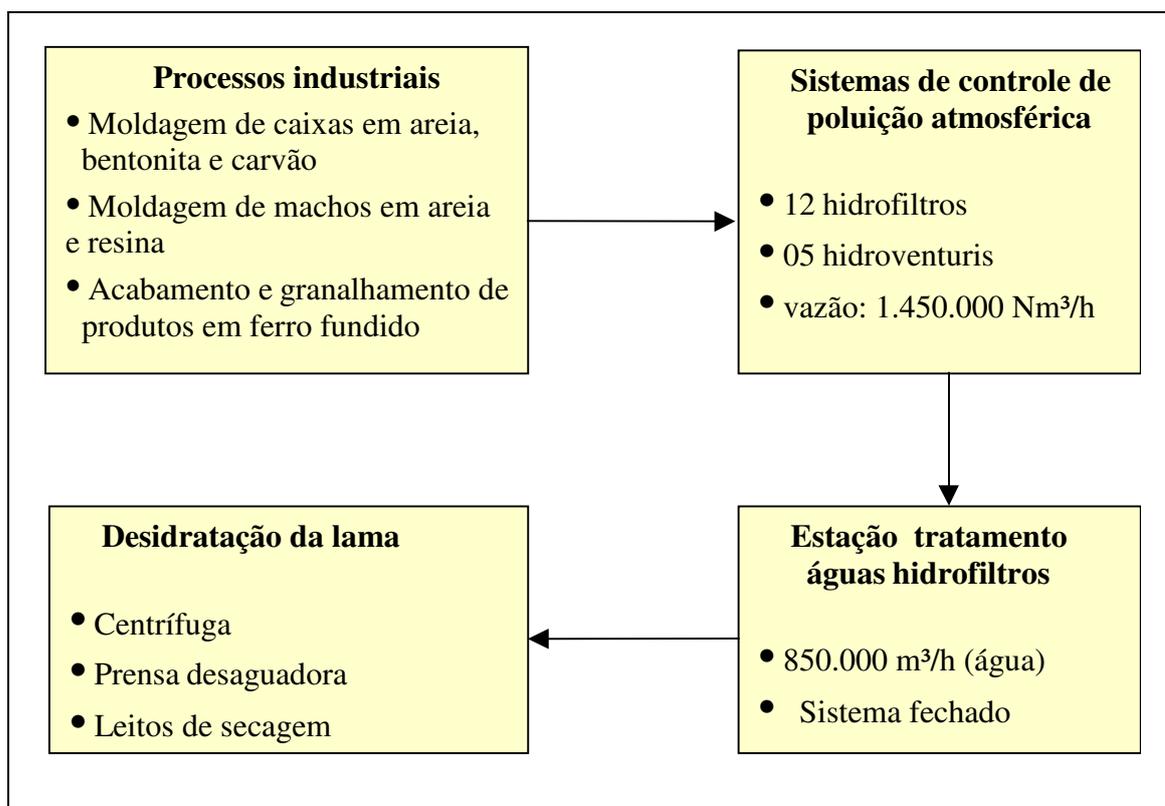


FIGURA 5.1 – Fluxo simplificado da geração do resíduo

5.1.2 Caracterização química e mineralógica do resíduo

A TABELA 5.1 apresenta os resultados das análises do resíduo.

TABELA 5.1 – Resultados das análises de caracterização química e mineralógica do resíduo

FASES IDENTIFICADAS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS-X	FÓRMULA MINERALÓGICA
Quartzo	SiO ₂
Hematita	Fe ₂ O ₂
Silicato de Zircônio	Zr(SiO ₄)
Composto	Teor (%)
SiO ₂	48,93%
Al ₂ O ₃	9,52%
Fe _T	11,91%
Fe ₂ O ₃	17,03%
CaO	0,004%
MgO	0,721%
TiO ₂	0,455%
Na ₂ O	0,860%
K ₂ O	0,521%
MnO ₂	0,229%
Cu	0,015%
Zn	0,019%
PPC	21,13%
C	14,04%
S	0,207%

Realizando a comparação do perfil químico/mineralógico do resíduo “lama dos hidrofiltros” com algumas argilas naturais utilizadas por indústrias de tijolos de cerâmica vermelha do estado de Minas Gerais, pode-se constatar que vários parâmetros encontram-se na mesma ordem de grandeza o que pode indicar ser o resíduo apropriado à incorporação à massa de argila para fabricação de componentes em cerâmica vermelha.

Tal comparação de perfis pode ser verificada na TABELA 5.2.

TABELA 5.2 – Comparativo do perfil químico/mineralógico do resíduo em relação a algumas argilas de Minas Gerais

Determinações (%)									
	PF	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO
Argila A	6,8	54,5	17,2	2,7	0,9	0,8	0,6	12,3	1,2
Argila B	11,2	42,3	19,4	4,9	0,7	0,4	0,8	11,6	0,8
Argila C	6,3	67,2	15,4	2,7	0,4	0,6	0,6	9,2	1,3
Argila D	6,4	67,0	17,9	3,9	0,5	2,1	0,4	0,2	0,4
Resíduo	--	48,93	9,52	17,03	0,46	0,52	0,86	0,004	0,72

Fonte: Modificado de ALMEIDA, 2005

5.1.3 Caracterização e classificação ambiental do resíduo

Uma análise dos laudos de análises dos ensaios de lixiviação e solubilização já realizados com o resíduo, ainda baseados na versão antiga da norma de classificação de resíduos, nos leva a conclusão de tratar-se de resíduo classe II – não inertes, em conformidade com a norma NBR-10004: Resíduos sólidos – classificação (ABNT, 1987).

No ensaio de solubilização três parâmetros ultrapassaram os limites máximos da listagem nº 8, Anexo H da citada norma.

São eles: o fluoreto com um teor de 2,0 mg/l contra um limite máximo de 1,5 mg/l; o alumínio com um teor de 0,52 mg/l contra um limite máximo de 0,20 mg/l e o ferro com um teor de 2,31 mg/l contra um limite máximo de 0,30 mg/l.

A seguir, as TABELAS 5.3 e 5.4 apresentam os resultados das análises realizadas nos extratos solubilizado e lixiviado do resíduo “lama do hidrofiltro”.

TABELA 5.3 – Resultados das análises do extrato lixiviado do resíduo

Parâmetro	Limite máx. mg/l	Teor mg/l	Parâmetro	Limite máx. mg/l	Teor mg/l
Arsênio	5,0	< 0,01	Fluoreto	150,0	< 0,10
Bário	100,00	3,14	Mercúrio	0,1	< 0,0002
Cádmio	0,5	0,035	Prata	5,0	< 0,01
Chumbo	5,0	0,08	Selênio	1,0	< 0,01
Cromo total	5,0	0,02	-	-	-

TABELA 5.4 – Resultados das análises do extrato solubilizado do resíduo

Parâmetro	Limite máximo mg/l	Teor mg/l	Parâmetro	Limite máximo mg/l	Teor mg/l
Arsênio	0,05	< 0,01	Alumínio	0,2	0,52
Bário	1,0	0,093	Cloreto	250	11,75
Cádmio	0,005	< 0,001	Cobre	1,0	< 0,01
Chumbo	0,05	< 0,01	Dureza	500	19,19
Cianeto	0,1	< 0,01	Ferro	0,3	2,31
Cromo total	0,05	< 0,01	Manganês	0,1	0,07
Fenol	0,001	< 0,001	Sódio	200	42,7
Fluoreto	1,5	2,00	Surfactantes	0,2	0,06
Mercúrio	0,001	< 0,0002	Sulfato	400	< 0,50
Nitrato	10,0	2,34	Zinco	5,0	< 0,01
Prata	0,05	< 0,01	-	-	-
Selênio	0,01	< 0,01	-	-	-

No ensaio de lixiviação, nenhum dos parâmetros ultrapassou os valores máximos permitidos na listagem nº 7, Anexo G da citada norma.

Portanto confirma-se tratar de resíduo classificado como Não inerte, Classe II, conforme a norma NBR-10004: Resíduos sólidos – classificação (ABNT, 1987).

5.2 Ensaios de funcionalidade / desempenho técnico dos tijolos

Nos próximos tópicos são apresentados os resultados dos ensaios a que foram submetidos os tijolos produzidos com as diferentes proporções de resíduos e argila no Laboratório de Materiais de Construção da Escola de Engenharia da UFMG.

5.2.1 Resistência à compressão

A TABELA 5.5 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão e as categorias de resistência dos tijolos.

TABELA 5.5 – Resultados dos ensaios de compressão dos tijolos

Percentual de resíduos	Amostras	Carga de ruptura (Kgf)	Área (cm ²)	Resistência à Compressão (MPa)	Média Resistência à Compressão (MPa)	Categoria (NBR7170)
0%	1	4800,0	84,05	5,7	6,3	C
	2	5500,0	81,04	6,8		
	3	5300,0	81,84	6,5		
10%	4	4850,0	79,65	6,1	6,2	C
	5	5050,0	80,48	6,3		
	6	4950,0	80,25	6,2		
20%	7	8000,0	78,31	10,2	8,3	C
	8	5650,0	80,05	7,1		
	9	6000,0	79,63	7,5		
30%	10	1750,0	79,31	2,2	4,8	C
	11	5600,0	79,64	7,0		
	12	4200,0	79,41	5,3		
40%	13	1200,0	79,33	1,5	3,0	B
	14	3000,0	78,68	3,8		
	15	2800,0	78,89	3,5		
50%	16	1100,0	76,49	1,4	2,4	A
	17	2400,0	75,34	3,2		
	18	2000,0	76,04	2,6		

A TABELA 5.6 apresenta as categorias dos tijolos em função de sua resistência à compressão em conformidade com a NBR-7170 (ABNT, 1983).

TABELA 5.6 – Resistência mínima à compressão em relação à categoria

Categoria	Resistência à compressão (MPa)
A	1,5
B	2,5
C	4,0

Fonte: ABNT – NBR-7170/1983

A FIGURA 5.2 representa, graficamente, os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos tijolos agrupados em função da proporção de mistura de resíduo à argila.

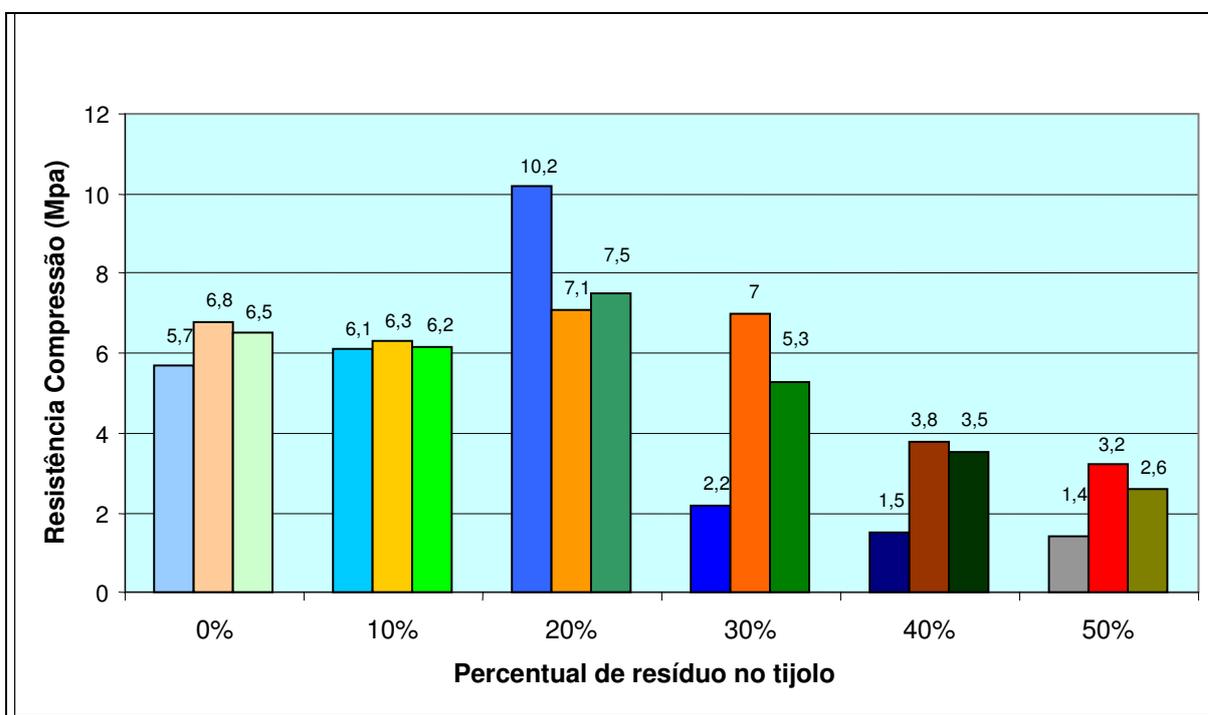


FIGURA 5.2 – Comportamento resistência à compressão das diversas proporções/misturas

Percebe-se uma tendência de queda da resistência à compressão quando se ultrapassa os 20% de proporção de resíduo em relação à argila.

Até na proporção de 30%, os tijolos podem ser considerados de primeira classe (categoria C). As proporções acima desse valor, isto é, 40 e 50%, também podem produzir tijolos que atendem às prescrições normativas, mas para categorias inferiores, isto é, categorias B ou A.

Nota-se que na proporção de 30%, uma das amostras apresentou um valor de resistência à compressão muito baixo e que se fosse analisado isoladamente, não seria aprovado para a categoria C.

A mistura com a proporção de 20% de resíduo para 80% de argila natural demonstra apresentar valores de resistência à compressão maiores até mesmo que para os tijolos produzidos com argila sem a adição de resíduo.

Sob o aspecto de resistência à compressão todas as proporções de misturas podem ser consideradas satisfatórias, sendo que até 30% de resíduo na massa, seriam produzidos tijolos de categoria C, conforme a norma ABNT:NBR-7170/1983; para 40% de resíduo na massa seriam produzidos tijolos de categoria B e para a proporção de 50% de resíduo e 50% de argila, seriam produzidos tijolos de categoria A.

5.2.2 Dimensional

A TABELA 5.7 apresenta os resultados das medições das dimensões dos tijolos.

TABELA 5.7 – Resultados das medições das dimensões dos tijolos

Teor de Resíduo	Amostras	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Média Comprimento (mm)	Média Largura (mm)	Média Altura (mm)
0%	A1	194,1	86,6	46,0	190,2	86,6	46,1
	A2	187,6	86,4	46,2			
	A3	188,8	86,7	46,1			
10%	B4	188,3	84,6	46,5	189,5	84,6	46,0
	B5	190,7	84,4	45,4			
	B6	189,5	84,7	46,1			
20%	C7	190,3	82,3	46,1	190,5	83,3	44,4
	C8	190,6	84,0	43,3			
	C9	190,5	83,6	43,9			
30%	D10	189,5	83,7	46,0	189,4	83,9	45,5
	D11	189,4	84,1	45,5			
	D12	189,3	83,9	45,0			
40%	E13	186,0	85,3	44,0	187,7	84,1	44,2
	E14	189,6	83,0	44,5			
	E15	187,6	84,1	44,2			
50%	F16	186,1	82,2	45,0	185,6	81,8	43,5
	F17	185,1	81,4	42,4			
	F18	185,7	81,9	43,0			

A FIGURA 5.3 representa, graficamente, a média das dimensões obtidas nas medições dos tijolos agrupadas em função do percentual de adição de resíduo à argila.

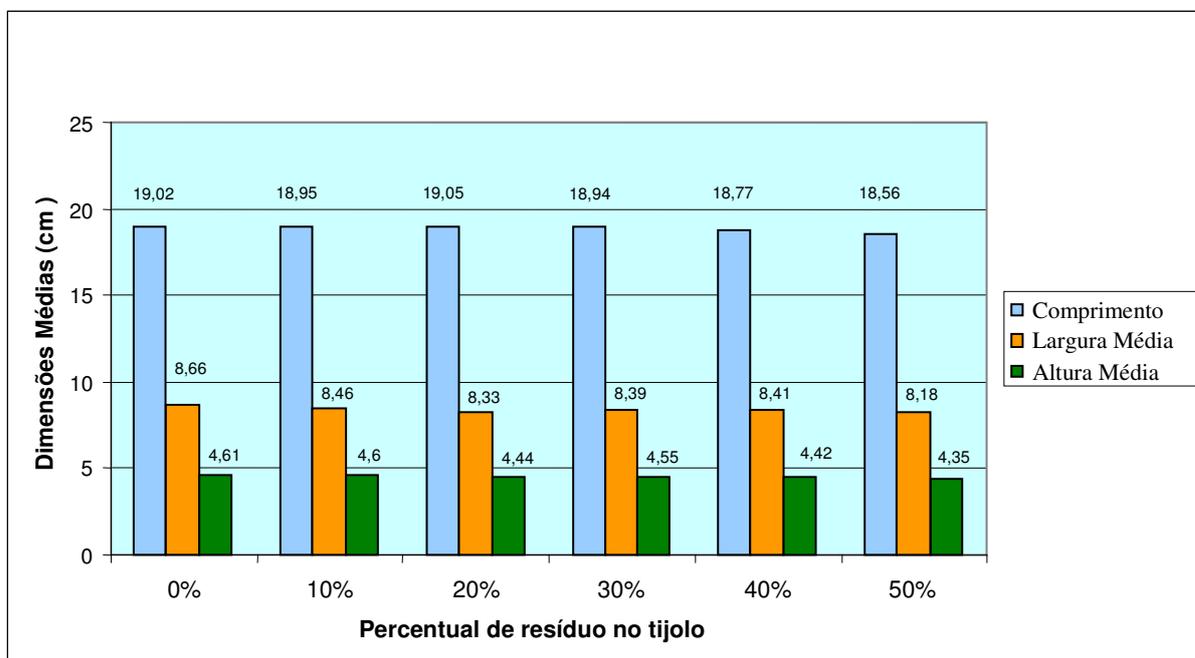


FIGURA 5.3 – Retração linear em relação à proporção de resíduo na mistura

Percebe-se uma pequena retração em todas as dimensões à medida que se aumenta a proporção de adição do resíduo à argila. Segundo SANTOS (1975), “elevados teores de ferro divalente, elementos alcalinos e alcalino-terrosos são prejudiciais pelo fato de causar uma excessiva retração, reduzir a faixa de vitrificação e causar colorações indesejáveis”. Como pode ser verificado na TABELA 5.2, o teor de Fe_2O_3 no resíduo é muito superior aos teores encontrados nas argilas da referida tabela.

A TABELA 5.8 apresenta as dimensões preconizadas pela norma NBR-8041 (ABNT, 1983) para tijolos cerâmicos maciços.

TABELA 5.8 – Dimensões nominais

Comprimento	Largura	Altura
190	90	57
190	90	90

Fonte: ABNT – NBR-8041/83

Quando se compara as dimensões médias dos tijolos aos valores da TABELA 5.8, constata-se que mesmo os tijolos produzidos sem a adição de resíduos não atendem às prescrições normativas. Por isso, deve-se analisar adotando os tijolos produzidos sem a adição de resíduo como padrões para se analisar as retrações diferenciais. Assim sendo, exceto a mistura de proporção 50% de resíduo para 50% de argila, todas as demais misturas atendem à norma ABNT – NBR-8041/1983 que prescreve uma tolerância máxima de 3 mm para mais ou para menos, nas três dimensões.

5.2.3 Absorção d'água

A TABELA 5.9 apresenta os resultados obtidos nas determinações de massa seca, de massa saturada e do índice de absorção para cada um dos corpos de prova ensaiados, bem como a absorção média para cada grupo de corpos de prova com o mesmo teor de resíduo em suas massas.

TABELA 5.9 – Resultado do ensaio de absorção de água

Teor de resíduo	Amostras	Massa seca (g)	Massa Saturada (g)	Absorção (%)	Absorção Média (%)
0%	*1	1151,3	1310,0	13,8	13,7
	*2	1117,1	1266,2	13,3	
	*3	1135,4	1295,2	14,1	
10%	*4	1034,7	1186,8	14,7	14,8
	*5	1069,0	1228,8	14,9	
	*6	1055,3	1210,8	14,7	
20%	*7	1052,8	1205,7	14,5	14,6
	*8	1049,1	1205,2	14,9	
	*9	1051,6	1202,7	14,4	
30%	*10	1023,8	1191,1	16,3	16,4
	*11	996,1	1151,1	15,6	
	*12	999,4	1171,1	17,2	
40%	*13	977,3	1153,8	18,1	18,0
	*14	1003,0	1183,8	18,0	
	*15	995,9	1173,8	17,9	
50%	*16	937,4	1106,9	18,1	18,0
	*17	931,0	1096,9	17,8	
	*18	936,8	1105,9	18,1	

A FIGURA 5.4 representa, graficamente, os índices de absorção de água de cada corpo de prova ensaiado, agrupados em função do teor de resíduo em suas massas.

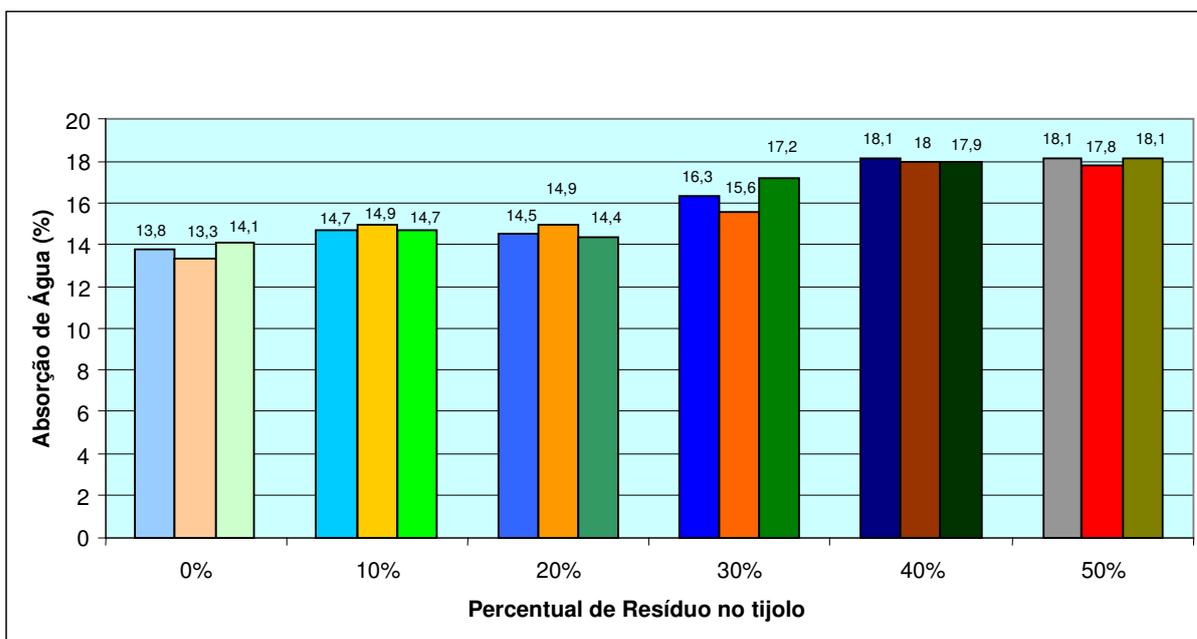


FIGURA 5.4 – Absorção de água em relação à proporção de adição de resíduo à argila

Constata-se que há uma tendência de aumento da absorção de água à medida que aumenta a proporção de adição do resíduo à mistura com argila. A presença da bentonita no resíduo pode ter provocado esse fenômeno.

A faixa de absorção de água recomendada tanto pela norma ABNT – NBR-15270-1 para blocos cerâmicos para alvenaria de vedação quanto pela norma ABNT – NBR-15270-2 para blocos cerâmicos para alvenaria estrutural é um índice de absorção de água que não deve ser inferior a 8% e nem superior a 22%. Para tijolos maciços não há uma prescrição normativa quanto ao índice de absorção de água, mas, para efeito comparativo, na pesquisa adotou-se os parâmetros acima.

Portanto, sob o aspecto do índice de absorção de água, apesar de um índice crescente em função do aumento do teor de resíduo na mistura, todas as proporções de misturas analisadas estão dentro da faixa prescrita pelas citadas normas.

5.3 Ensaios de caracterização e classificação ambiental do produto

Os fragmentos dos tijolos usados nos ensaios de desempenho técnico foram enviados a laboratório de análises para proceder à análises e a classificação ambiental dos mesmos.

5.3.1 Ensaios de solubilização

A TABELA 5.10 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de solubilização realizados a partir dos fragmentos dos tijolos das proporções de 0, 20 e 30% de resíduos e os compara ao limite máximo estabelecido para cada parâmetro pela NBR-10004 (ABNT, 2004).

TABELA 5.10 – Resultados das análises nos extratos solubilizados dos tijolos

Parâmetro	0% (mg/l)	20% (mg/l)	30% (mg/l)	Limite máximo (*) (mg/l)
Arsênio	0,0101	0,0017	0,0238	0,01
Bário	0,1921	0,2431	0,4268	0,70
Cádmio	0,0005	0,0007	0,0005	0,005
Manganês	0,0212	0,0056	0,0218	0,10
Chumbo	0,0065	0,0089	0,0086	0,01
Cianetos	ND	ND	ND	0,07
Cobre	0,0062	0,0040	0,0040	2,00
Cromo total	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,05
Ferro	0,1811	0,0968	0,2772	0,30
Fenóis	ND	ND	ND	0,01
Fluoreto	ND	ND	ND	1,50
Mercurio	<0,0002	0,0003	<0,0002	0,001
Nitrato	ND	ND	ND	10,00
Prata	<0,0010	0,0070	<0,0010	0,05
Alumínio	0,3501	0,1840	0,2844	0,20
Selênio	0,0010	0,0009	0,0012	0,01
Sulfatos	13,79	50,80	75,86	250,00
Cloretos	ND	ND	ND	250,00
Sódio	11,25	7,63	11,88	200,00
Agente tensoativo aniônico	ND	ND	ND	0,50
Zinco	0,0670	0,0430	0,0442	5,00

(*) Anexo G – ABNT - NBR 10004:2004

5.3.2 Ensaios de lixiviação

A TABELA 5.11 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de lixiviação realizados a partir dos fragmentos dos tijolos das proporções de 0, 20 e 30% de resíduos e os compara ao limite máximo estabelecido para cada parâmetro pela NBR-10004 (ABNT, 2004).

TABELA 5.11– Resultados das análises nos extratos lixiviados dos tijolos

Parâmetro	0% (mg/l)	20% (mg/l)	30% (mg/l)	Limite máximo (**) (mg/l)
Arsênio	0,0031	0,0046	0,0006	1,00
Bário	3,4146	0,9722	1,7073	70,00
Cádmio	0,0070	0,0009	0,0054	0,50
Chumbo	0,0602	0,0129	0,0430	1,00
Cromo total	0,0025	0,0045	0,0051	5,00
Fluoreto	ND	ND	ND	150,00
Mercúrio	< 0,0002	0,0024	< 0,0002	0,10
Prata	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	5,00
Selênio	0,0003	< 0,0002	0,0003	1,00

(**) Anexo F – ABNT-NBR 10004:2004

Nenhum parâmetro ultrapassou os limites estabelecidos no Anexo F nos ensaios de lixiviação, portanto tratam-se de resíduos não perigosos conforme a ABNT – NBR 10004:2004 Resíduos sólidos – classificação.

Primeiramente, os ensaios foram realizados com os fragmentos de tijolos sem a adição de resíduo e dos tijolos com a adição de 30% de resíduo em função desse ter sido o maior teor em que os tijolos tiveram o desempenho técnico adequado para tijolos de primeira categoria. Mas nos ensaios de solubilização, os tijolos fabricados com a adição de 30% de resíduo apresentaram o parâmetro “alumínio” e o parâmetro “arsênio” acima do limite máximo

estabelecido no Anexo G da NBR 10004 (ABNT,2004), devendo portanto serem considerados resíduos Classe IIA – não perigosos – não inertes, segundo a referida norma.

Os tijolos fabricados sem a adição de resíduo também apresentaram o parâmetro “alumínio” acima do limite máximo estabelecido no Anexo G da NBR 10004 (ABNT,2004) indicando que a própria argila natural apresenta a possibilidade de solubilização desse parâmetro acima do limite estabelecido pela citada norma. Pode-se verificar em outros estudos que essa é uma ocorrência freqüente em ensaios de solubilização de argilas naturais de Minas Gerais, bem como em componentes cerâmicos fabricados a partir dessas argilas. Das quatro argilas apresentadas na TABELA 5.2, estudadas por ALMEIDA (2005), três apresentaram o parâmetro “alumínio” acima do limite estabelecido pelo citado Anexo G, além de outros parâmetros que também ultrapassaram seus respectivos limites máximos.

Após esses resultados, optou-se por analisar também os tijolos fabricados com a adição de 20% de resíduos e, nesse caso, tanto o parâmetro “arsênio” quanto o parâmetro “alumínio” apresentaram-se abaixo dos limites máximos estabelecidos, portanto eles podem ser considerados resíduos Classe IIB – Não perigosos – inertes.

Esses resultados surpreenderam, pois os tijolos produzidos com a argila natural também ultrapassaram o limite do parâmetro “alumínio” na solubilização e, portanto, era esperado que tal parâmetro permanecesse acima do limite também para essa proporção de mistura. Mas, de qualquer forma, o importante foi o fato do parâmetro “arsênio” apresentar-se abaixo do limite máximo, o que indica que a mistura com 20% de resíduo e 80% de argila natural pode produzir tijolos que não causam nenhum prejuízo ambiental quando comparados com tijolos produzidos exclusivamente com argila natural.

6 CONCLUSÕES

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar a utilização de um resíduo pastoso denominado “lama dos hidrofiltros” gerado na estação de tratamento de água de lavagem de gases em sistemas de exaustão e filtragem por via úmida (hidrofiltros) de uma indústria de fundição na fabricação de artefatos da construção civil em substituição parcial ao recurso natural.

E como objetivos específicos desta pesquisa tivemos:

- Avaliar tecnicamente o aproveitamento de lama de hidrofiltros na fabricação de tijolos de cerâmica vermelha em substituição parcial à argila;
- Avaliar o risco ambiental da incorporação de lama dos hidrofiltros em tijolos de cerâmica vermelha;

Pode-se concluir que é perfeitamente possível a utilização do resíduo estudado em condições determinadas, isto é, os ensaios de desempenho técnico demonstraram que até na proporção de 30% de resíduo para 70% de argila pode-se confeccionar tijolos de primeira qualidade (categoria C) e que, aumentando-se esta proporção até 50% pode-se produzir tijolos que atendem as especificações normativas, mas com qualidade inferior (categorias A e B).

Considerando-se as avaliações ambientais realizadas sobre os fragmentos dos tijolos produzidos, pode-se concluir que os tijolos produzidos sem a adição de resíduos não são inertes por apresentarem teor de alumínio um pouco acima do valor máximo permitido no ensaio de solubilização. Isto demonstra que da própria argila natural, o contaminante (alumínio) se solubiliza em teor superior ao limite máximo preconizado, isto é, a própria argila natural se analisada como resíduo deve ser classificada como não inerte.

Os tijolos produzidos com a proporção de 30% de resíduo e 70% de argila apresentaram em seu extrato solubilizado os parâmetros “alumínio” e “arsênio” acima dos padrões estabelecidos para a solubilização, tornando esta proporção inviável sob o ponto de vista ambiental em função, principalmente, da presença do “arsênio” acima do limite máximo permitido.

Através dos resultados dos ensaios de solubilização e de lixiviação verificou-se que a proporção de 20% de resíduo para 80% de argila atende tanto aos requisitos de desempenho técnico quanto aos de desempenho ambiental, isto é, não oferece risco ambiental.

7 RECOMENDAÇÕES

Tendo em vista que a pesquisa foi realizada, até mesmo propositalmente, dentro da realidade predominante nesse setor, isto é, com condições precárias de controle de processo, pode-se recomendar:

- Realizar experimentos em indústrias cerâmicas tecnologicamente mais avançadas para melhor análise do comportamento da lama na mistura mecanizada e na operação de sinterização controlada;
- Estimar a eficiência energética promovida pela incorporação do resíduo em função da presença de carvão em sua massa;
- Realizar a caracterização e classificação das argilas empregadas;
- Produzir número mais representativo de tijolos para os ensaios de forma a obter maior consistência e confiabilidade nos resultados;
- Levantar a capacidade de absorção do resíduo pelo mercado regional;
- Levantar as necessidades de adaptações a serem realizadas nas plantas das indústrias cerâmicas para recebimento do resíduo, e estimar os custos associados;
- Realizar balanço econômico do processo pesquisado em relação à destinação atual.

8 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. M. *Avaliação da incorporação de lama do sistema de lavagem de gases de altos-fornos de usinas siderúrgicas integradas a coque em tijolos de cerâmica vermelha*. 2005. 119p. (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA – *Cerâmica no Brasil e Informações Técnicas*. Disponível em: <www.abceram.org.br>. Acesso em 04 Nov. 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO – *Manual de regeneração e reuso de areias de fundição*. São Paulo, 1999. 49p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO – *Cadernos técnicos e índices de mercado*. Disponível em: <www.abifa.org.br>. Acesso em 03 Out. 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR-10004: Resíduos sólidos – classificação*. Rio de Janeiro, 1987. 63 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR-10004:2004 Resíduos sólidos – classificação*. Rio de Janeiro, 2004. 71p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR-10005: Lixiviação de resíduos – procedimentos*. Rio de Janeiro, 1987. 10 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR-10005:2004 Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro, 2004. 16p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR-10006: Solubilização de resíduos – procedimentos*. Rio de Janeiro, 1987. 2p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR-10006:2004 Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro, 2004. 3p.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR-10007: Amostragem de resíduos – procedimentos*. Rio de Janeiro, 1987. 25p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR-10007:2004 Amostragem de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro, 2004. 21p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR-6460: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria – verificação da resistência à compressão – Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1983. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR-7170: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria*. Rio de Janeiro, 1983. 4 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR-8041: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria – forma e dimensões – Padronização*. Rio de Janeiro, 1983. 2p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR-15270-1: Componentes cerâmicos, Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – terminologia e requisitos*. Rio de Janeiro, 2005. 11 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR-15270-2: Componentes cerâmicos, Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – terminologia e requisitos*. Rio de Janeiro, 2005. 11 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR-15270-3: Componentes cerâmicos, Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – métodos de ensaio*. Rio de Janeiro, 2005. 27 p.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA – *Informações gerais – dados do setor*. Disponível em: <www.anicer.com.br>. Acesso em 05 Out. 2006.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. *Indústria brasileira de fundição - segmento de peças para o setor automotivo*. Brasília, 2002. 24p

- BINA, P. *Metodologia de utilização de rejeitos industriais na pavimentação – estudo de caso de uso de areia de fundição*. 2002. 124p. (Mestrado profissional em habitação, IPT, São Paulo, SP)
- BONET, I. I. *Valorização do resíduo areia de fundição (RAF). Incorporação nas massas asfálticas do tipo C.B.U.Q.* 2002. 131p (Mestrado em engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina).
- BONIN, A.L. *Reutilização da areia preta de fundição na construção civil*. 1994. 56p. (Dissertação de Mestrado, Universidade de Campinas, Limeira, SP) *apud* CASTRO, P. R. F. *Estudo de viabilidade técnica para o emprego de areia de fundição de descarte como agregado miúdo na produção de concreto de cimento portland*. 2003. 114 p. Dissertação (Mestrado profissional em habitação, IPT, São Paulo, SP)
- CALLISTER, W. D. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 2002, 589 p.
- CASTRO, P. R. F. *Estudo de viabilidade técnica para o emprego de areia de fundição de descarte como agregado miúdo na produção de concreto de cimento portland*. 2003. 114 p. Dissertação (Mestrado profissional em habitação, IPT, São Paulo, SP)
- ENBRI. *Development of a framework for environmental assessment of building materials and components* (ENBRI Proposal to European community BRITE EURAM Program) 1994 *apud* GIFFONI, P. O. *A utilização de borra de fostato como matéria-prima alternativa para a fabricação de tijolos*. 2004. 81p. (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Introduction to Pollution Prevention – Training Manual, EP3 – Environmental Pollution Prevention Project*, EPA/742/B-95/003, 1995.

- GIFFONI, P. O. *A utilização de borra de fostato como matéria-prima alternativa para a fabricação de tijolos*. 2004. 81p. (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.
- JOHN, V. M. *Reciclagem de resíduos na construção civil – Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. 2000. 113P. (Tese apresentada para obtenção de título de Livre Docente) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- LANGE, L. C. *Notas de aula da disciplina Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais*. 2004 (Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.
- LOPEZ, M. G. *Manual de Cerâmica*. Buenos Aires: Editorial Albastros, 1945, 364p.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS *Agenda 21 – Resumo da Conferência das Nações Unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento 1992*: ONU – Cinub, Rio de Janeiro, 1993, 45p.
- SANTOS, P. S. *Tecnologia de Argilas – Aplicada às argilas brasileiras – Vol. 1 Fundamentos*: Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1975, 339p.
- SANTOS, P. S. *Tecnologia de Argilas – Aplicada às argilas brasileiras – Vol. 2 Aplicações*: Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1975, 462p.
- SENAI.RS. *Implementação de Programas de Produção mais Limpa*. Porto Alegre, Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS/UNIDO/UNEP, 2003. 42 p.
- SENAI. RS. *O perfil da indústria cerâmica vermelha no Brasil; estudo piloto – O perfil da indústria cerâmica no Rio grande do Sul – relatório de pesquisa*. Porto Alegre, Diretoria Regional/ Assessoria de Planejamento, 2000. 37p.

SJÖSTRÖM, C. *Service life of the building. In: Applications of the performance concept in building. Proceedings...* CIB: Tel Aviv, 1996 v. 2 *apud* JOHN, V. M. *Reciclagem de resíduos na construção civil – Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.* 2000. 113P. (Tese apresentada para obtenção de título de Livre Docente) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

SOARES, S. R. (Coord). *Análise do ciclo de vida de produtos (revestimento, blocos e telhas) do setor cerâmico da indústria de construção civil.* Relatório parcial II/IV-Indústria cerâmica e o meio ambiente . Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002 *apud* ALMEIDA, M. M. *Avaliação da incorporação de lama do sistema de lavagem de gases de altos-fornos de usinas siderúrgicas integradas a coque em tijolos de cerâmica vermelha.* 2005. 119p. (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

TOCHETTO, M.R.L. *Resíduos sólidos industriais: Gerenciamento e destinação final – Módulo 1.* Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental-Seção RS, 2000 *apud* BONET, I. I. *Valorização do resíduo areia de fundição (RAF). Incorporação nas massas asfálticas do tipo C.B.U.Q.* 2002. 131p (Mestrado em engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina).

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. *Declaração internacional sobre produção mais limpa.* Disponível em <www.pmais1.com.br>. Acesso em: 14 Set. 2005, 2002.