

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**REUTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE AREIA DE  
FUNDIÇÃO NO BRASIL E NO MUNDO  
O CONTEXTO DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

**Karine Dias da Silva**

**Belo Horizonte**

**2010**

**Karine Dias da Silva**

**REUTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE AREIA DE  
FUNDIÇÃO NO BRASIL E NO MUNDO  
O CONTEXTO DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em  
Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Minas  
Gerais, como requisito parcial à obtenção do certificado  
de Especialista em Tecnologia Ambiental.

Orientadora: Liséte Lange

Belo Horizonte  
Escola de Engenharia da UFMG

2010

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela força que tem me concedido durante essa caminhada.

A meus pais Wagner e Marilene pela paciência e compreensão.

À minha orientadora Prof<sup>a</sup> Liséte Lange pelo incentivo.

Aos colegas da Feam pelas contribuições.

A todos aqueles que contribuíram para a realização desse trabalho.

## RESUMO

A indústria de fundição de peças em ferro, aço e ligas não ferrosas é um segmento da economia nacional que emprega cerca de 60.000 trabalhadores, tendo faturado 11 bilhões de dólares em 2008, em cerca de 1.400 empresas. A areia de moldagem corresponde ao maior volume de resíduos gerados pela indústria de fundição, com características quantitativas e qualitativas diferenciadas em função das peculiaridades de cada processo em particular.

Segundo o Inventário de Resíduos Sólidos realizado no ano de 2009 (ano base 2008), em Minas Gerais, as empresas que declararam a areia de fundição como resíduo, foram responsáveis pela geração de 397.817 toneladas de areia, sendo que 99,71% de toda a areia gerada no estado de Minas Gerais em 2008 foi encaminhada para aterro (próprio ou de terceiros).

A preocupação quanto ao gerenciamento desse resíduo motivou o desenvolvimento dessa pesquisa, que consiste em uma revisão bibliográfica a respeito das práticas adotadas nos Estados Unidos, Europa e Austrália no que se refere ao reaproveitamento da areia de fundição e as iniciativas brasileiras visando a minimização dos problemas vinculados à disposição desse resíduo. Buscou-se também o levantamento dos estudos acadêmicos desenvolvidos no que se refere à reutilização do resíduo de areia de fundição.

A partir dos estudos e experiências pesquisadas, pôde-se concluir que a areia de fundição constitui-se em um resíduo com grande potencial de reaproveitamento principalmente nas atividades ligadas à construção civil. Essa prática já tem sido adotada internacionalmente e recentemente procedimentos foram adotados pelos estados de São Paulo (2007) e Santa Catarina (2008). A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT publicou, em 2009, a NBR 15702/2009 que estabelece as diretrizes para aplicação de areias descartadas de fundição como matéria-prima em concreto asfáltico e cobertura diária de aterro sanitário.

O estado de Minas Gerais já tem permitido a reutilização de resíduos, como o pó de balão na indústria cerâmica e na aplicação agrícola em áreas de plantio de florestas homogêneas de *Eucalyptus sp.* Dentro dessa tendência, verifica-se no estado uma grande oportunidade de incentivo à reutilização do resíduo de areia de fundição, de forma a viabilizar o desenvolvimento sustentável do setor.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>IV</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE QUADROS .....</b>	<b>VI</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS .....</b>	<b>VII</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
3.1 O PROCESSO DE FUNDIÇÃO.....	4
3.2 AREIA DE FUNDIÇÃO.....	8
3.2.1 <i>Tipos de Areia de Fundição</i> .....	8
3.2.2 <i>Areia como resíduo</i> .....	12
3.3 IMPACTOS AMBIENTAIS.....	14
3.4 REAPROVEITAMENTO DA AREIA DE FUNDIÇÃO.....	16
<b>4 METODOLOGIA .....</b>	<b>19</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>20</b>
5.1 ESTUDOS DESENVOLVIDOS NO BRASIL.....	20
5.2 ESTUDO DO RESÍDUO AREIA DE FUNDIÇÃO NOS ESTADOS UNIDOS.....	22
5.3 PANORAMA DA REUTILIZAÇÃO DA AREIA DE FUNDIÇÃO NOS ESTADOS UNIDOS, EUROPA E AUSTRÁLIA.....	25
5.3.1 <i>Estados Unidos</i> .....	25
5.3.2 <i>Reuso da Areia de Fundição na Europa e Austrália</i> .....	31
5.4 NORMAS E LEGISLAÇÕES BRASILEIRAS REFERENTES ÀS UTILIZAÇÃO DA AREIA DE FUNDIÇÃO.....	39
5.4.1 <i>Estado de São Paulo</i> .....	40
5.4.2 <i>Estado de Santa Catarina</i> .....	43
5.4.3 <i>Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT</i> .....	46
5.5 EXPERIÊNCIA BRASILEIRA NA REUTILIZAÇÃO DO RESÍDUO AREIA DE FUNDIÇÃO.....	48
5.6 O ESTADO DE MINAS GERAIS.....	48
5.6.1 <i>A Indústria de Fundição</i> .....	48
5.6.2 <i>Areia de Fundição no Estado de Minas Gerais</i> .....	49
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>55</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1: Fluxograma do processo de fundição com entradas e saídas.....	7
Figura 3-2: Fluxo típico da areia em processo de fundição.....	16

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1: Composição típica e propriedades da Areia Verde.....	10
Tabela 3-2: Composição química da Areia de Fundição por Fluorescência de Raios-X.....	13
Tabela 3-3: Concentração química do lixiviado, do solubilizado e da massa bruta do resíduo areia de fundição.....	14
Tabela 5-1: Parâmetros de referência para determinar a lixiviação de produtos contendo Areia de Fundição (EUA).....	26
Tabela 5-2: Concentração máxima de poluentes no lixiviado.....	41
Tabela 5-3: Concentração máxima de poluentes no extrato lixiviado neutro.....	42
Tabela 5-4: Concentração máxima de poluentes no extrato lixiviado.....	45
Tabela 5-5: Concentração máxima no extrato aquoso.....	45
Tabela 5-6: Concentração máxima no extrato lixiviado.....	47
Tabela 5-7: Concentração máxima no extrato aquoso.....	47

## LISTA DE QUADROS

Quadro 5-1: Principais compostos aromáticos presentes na areia de fundição.....	26
Quadro 5-2: Práticas de reúso de resíduos e fundição na Europa e Austrália.....	39

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABIFA - Associação Brasileira de Fundição

ADF - Areia de Fundição

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CADRI - Certificado de Aprovação de Destinação de Resíduos Sólidos Industriais

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo

EPA – *Environmental Protection Agency*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NPDWS - *National Primary Drinking Water Standard*

RCC - *Resource Conservation Challenge*

RRC (2) - *Resource Recovery Corporation*

RCRA - *Resource Conservation and Recovery Act*

SIFUMG - Sindicato da Indústria de Fundição de Minas Gerais

SPLP - *Synthetic Precipitation Leaching Procedure*

TCLP - *Toxicity Characteristic Leaching Procedure*

USEPA – *United States Environmental Protection Agency*

# 1 INTRODUÇÃO

A indústria de fundição de peças em ferro, aço e ligas não ferrosas é um segmento da economia nacional que emprega cerca de 60.000 trabalhadores, tendo faturado 11 bilhões de dólares em 2008, em cerca de 1.400 empresas. A maioria dessas empresas é de pequeno e médio porte, predominando o capital nacional. O setor de fundição tem como características principais o uso intensivo da mão de obra e o fato de sua matéria-prima ser toda de origem nacional, o que lhe confere uma independência do mercado externo. Sendo assim, o setor de fundição gera um número significativo de empregos diretos e indiretos na cadeia produtiva de fundição. Com exportações crescentes, não importando insumos, contribui para um resultado positivo na balança comercial do Brasil. O país se encontra em 7º lugar no ranking mundial na produção de fundidos que alcançou uma produção de quase 3.500.000 de toneladas em 2007 (ABIFA, 2009).

Segundo Dantas (2003) *apud* Scheunemann (2005), o setor de fundição apesar de consumir sucatas metálicas como matéria-prima, gera grandes volumes de resíduos sólidos, entre os quais areia de moldagem e poeiras diversas. O processo de fabricação de peças fundidas utiliza grande quantidade de areia para confecção dos moldes e machos. O índice de consumo de areia, dependendo do tipo de peça, varia de 800 a 1.000 Kg para cada peça de 1.000 Kg. Essa areia normalmente é extraída de jazidas de cava ou rios, sendo considerado um bem não renovável, cujo beneficiamento geralmente causa impactos ambientais. No preparo dos moldes, a areia é misturada com um ligante que pode ser bentonita e outros aditivos para o preparo da areia verde, utilizada na produção de peças de menor peso e tamanho. Para fabricação de peças maiores, geralmente são utilizados moldes e machos, constituídos por areia misturada com resina e catalisador, que conferem maior resistência às peças. A areia com resina dificulta a sua recuperação e reutilização, gerando assim grande quantidade de resíduo a ser enviado aos aterros industriais e, conseqüentemente, onerando ainda mais o custo de produção.

A areia de moldagem corresponde ao maior volume de resíduos gerados pela indústria de fundição, com características quantitativas e qualitativas diferenciadas em função das peculiaridades de cada processo. Depois de utilizada em moldes a areia fica contaminada por metais pesados, dependendo do material de fundição, e por resinas poliméricas empregadas na compactação. A areia de fundição é classificada, com base na NBR 10.004, como um resíduo

perigoso (CLASSE I) ou como não inerte (CLASSE II), dependendo do processo de moldagem/macharia (SCHEUNEMANN, 2005).

Segundo Inventário de Resíduos Sólidos realizado no ano de 2009 (ano base 2008), em Minas Gerais, as empresas que declararam a areia de fundição como resíduo, foram responsáveis pela geração de 397.817 toneladas de areia de fundição, sendo que 99,71% de toda a areia gerada no estado de Minas Gerais em 2008 foi encaminhada para aterro (próprio ou de terceiros).

Esse trabalho se constituirá de uma revisão bibliográfica a respeito dos estudos acadêmicos desenvolvidos no que se refere à reutilização do resíduo de areia de fundição e das práticas adotadas nos Estados Unidos, Europa e Austrália visando o reaproveitamento da areia, além das iniciativas brasileiras quanto à busca da minimização dos problemas para disposição do resíduo, de forma a avaliar a viabilidade de reutilização do resíduo de areia de fundição no estado de Minas Gerais.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 *Objetivo geral***

Elaborar uma revisão bibliográfica a respeito dos estudos acadêmicos desenvolvidos e das práticas adotadas nacionalmente e internacionalmente no que se refere à reutilização da areia de fundição.

### **2.2 *Objetivos específicos***

- Realizar um levantamento bibliográfico dos estudos desenvolvidos no Brasil sobre a reutilização da areia de fundição.
- Realizar um levantamento dos estudos e práticas de reaproveitamento já estabelecidas nos Estados Unidos, Europa e Austrália.
- Realizar um levantamento das normas brasileiras existentes referentes ao reaproveitamento da areia de fundição.
- Avaliar o contexto do estado de Minas Gerais visando analisar a viabilidade para reaproveitamento da areia de fundição.

## 3 REVISÃO DA LITERATURA

### 3.1 O processo de Fundição

O processo de fundição consiste na fusão de um metal que, em estado líquido, é vazado na quantidade necessária para o preenchimento de um molde e que, ao solidificar-se, gera uma peça com o formato desejado (FAGUNDES *et al.*, 2009).

A indústria de fundição pode ser dividida, de acordo com o tipo de produto fabricado, em dois grandes grupos: as que produzem lingotes e as que fabricam peças. Neste último grupo, as peças são obtidas aplicando-se técnicas de moldagem, como moldes em areia, moldes permanentes, injeção e cera perdida. Dentre estas, a técnica por areia é a mais aplicada em todo mundo, podendo ser estimada, segundo Mariotto (2000) *apud* Oliveira (2007), em mais de 80%.

Segundo Silva (2007) as operações em uma indústria de fundição podem ser resumidas como a seguir:

**Modelação:** é a confecção dos modelos com a forma final da peça a ser produzida. Estes modelos podem ser de madeira ou alumínio, mas na maioria das vezes são feitos de madeira.

O material usado na confecção do modelo depende do processo de moldagem que está sendo utilizado. O modelo deve ter ângulos favoráveis à saída do molde, senão o molde quebra durante a desmoldagem (SCHEUNEMANN, 2005).

**Macharia:** é a confecção dos machos em areia aglomerada com resinas, eventualmente necessários para proporcionar os espaços vazios e ocos na peça.

O macho é usado quando a peça a ser fundida necessita de reentrâncias ou furos, nesse caso o modelo já é projetado com os alojamentos dos machos, que são moldados em material refratário (geralmente o mesmo do molde) e montados dentro do molde (SCHEUNEMANN, 2005).

**Moldagem:** é a confecção do molde a partir do desenho da peça em areia virgem aglomerada com bentonita e pó de carvão.

A moldagem pode ser realizada de duas formas:

- Moldagem manual: consiste na obtenção do molde a partir do modelo proposto utilizando o método de prensagem manual. Neste caso, pode-se utilizar areias verdes, processo cura a frio, CO<sub>2</sub> e Shell. Este processo é utilizado para pequenas quantidades de peças e produz maior quantidade de resíduos por peça, ou seja, são restos de areia de moldagem e de preenchimento que por ventura caem no chão e não são mais aproveitadas.

- Moldagem mecanizada: é normalmente o mais empregado e consiste de um processo de moldagem em que se utiliza modelos em placas (dois lados) que são colocados em dois pinos guias de uma prensa pneumática juntamente com a caixa de moldar, onde em seguida joga-se areia neste sistema caixa-modelo, depois se aciona a máquina de processo pneumático e obtém-se o molde por prensagem uniforme. Este processo é utilizado para grandes quantidades de peças e somente usa-se areia verde (sem resinas).

**Seleção das areias:** é realizada por silos que preparam a areia fina e areia grossa e seus componentes: bentonita, pó de carvão e outros aditivos que se façam necessários.

**Preparação para a fusão:** são as atividades de acabamento e preparação para que o processo de fundição ocorra com bastante sucesso.

- Acabamento dos moldes: utilização de ar comprimido para limpeza e pintura a fim de se ter uma melhor retenção das inclusões de areia.

- Colocação dos machos nos moldes: colocação dos machos prontos nos vãos marcados para os mesmos.

- Fechamento dos moldes para vazamento: consiste no fechamento das partes dos moldes através de pinos guias.

- Seleção da sucata: consiste na escolha da sucata adequada para obtenção do metal requisitado. Esta sucata é proveniente, parte dos refugos reaproveitados de sobras de quebras

de canais ou massalotes das peças fundidas ou mesmo das lingoteiras, e parte é comprada de empresas de fora. Normalmente, a maior parte consiste de reaproveitamento de material.

- Colocação da sucata: pesa-se a quantidade de sucata desejada de acordo com a proporção química desejada, coloca-se no forno primeiramente a parte mais leve de sucata, em seguida a parte mais pesada. Funde-se o metal base que pode ser ferro ou aço, depois se acrescentam os metais-liga, a fim de chegar o mais próximo possível do metal desejado.

**Fusão:** É a passagem do estado sólido para o líquido da sucata e/ou do metal colocado nos fornos. A temperatura de fusão é de aproximadamente 1600 °C.

**Remoção da escória:** consiste no ato de retirar durante a fusão e no momento do vazamento todo o material indesejado (escória) que se forma na parte superior do metal líquido. A quantidade de escória gerada pelas fundições que utilizam o forno Cubilô é bem maior.

**Vazamento:** consiste no basculamento do forno jorrando o metal nas panelas ou cadinhos devidamente preparados. O metal líquido, cuja temperatura é de aproximadamente 1500 °C é vazado nos moldes preenchendo-os. Caso sobre metal nas panelas, estes vão para as lingoteiras e retornam ao processo.

**Desmoldagem:** os moldes vazados após o resfriamento seguem para uma caixa vibratória, constituída de uma grelha na parte inferior que serve para segurar a peça e de uma esteira na qual a areia cai e é levada para um dos silos de areia para ser reaproveitada no processo.

**Rebarbação e limpeza:** são as atividades de acabamento da peça fundida que envolve:

- Quebra de canais ou massalotes: consiste na quebra dos canais e massalotes que não fazem parte da peça com o uso de ferramentas como martelos ou marretas. As peças devem ser colocadas em um local apropriado contendo areia que não será mais reutilizada com a função de amortecimento. Os canais ou massalotes passam a ser sucatas e nesta etapa há uma grande geração de resíduos provenientes de areias incrustadas nas peças

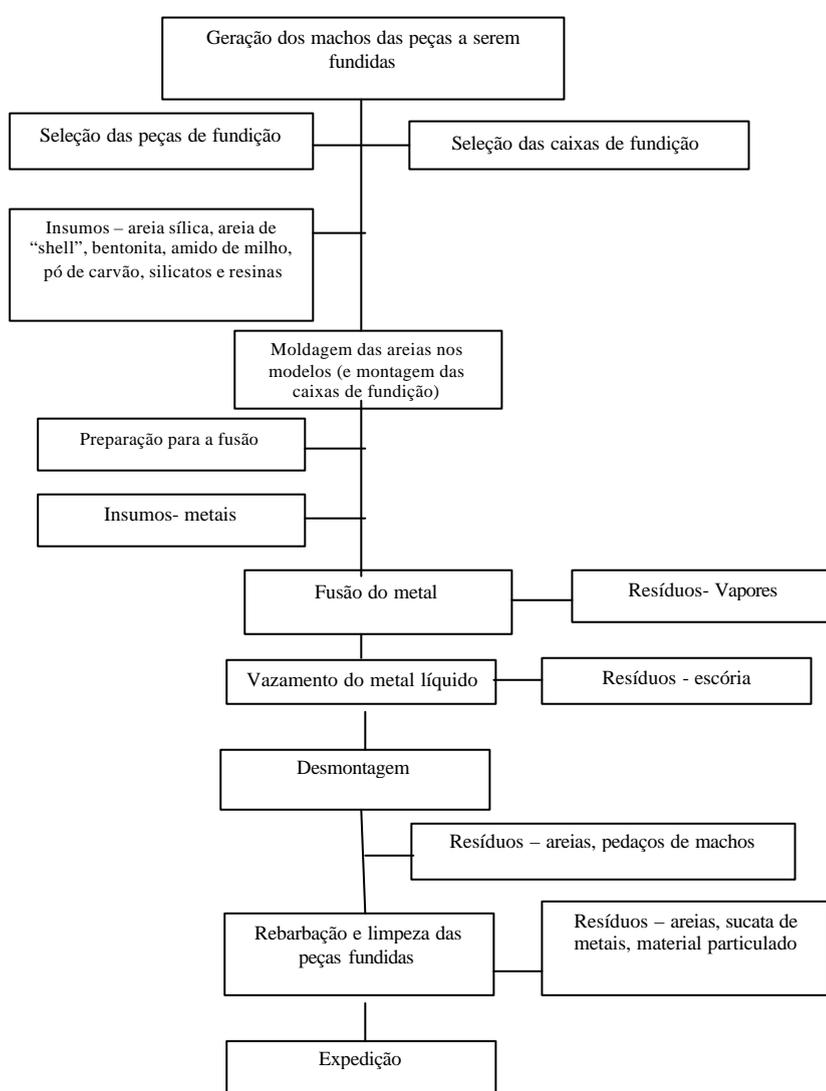
- Jateamento: a peça após passar pela quebra dos canais e massalotes deve ser levada para uma câmara na qual será realizado o jateamento com granalha de aço (pequenas esferas de aço) com a finalidade de limpar a peça. Os resíduos desta etapa são na maioria poeiras geradas pelo jateamento com a granalha.

- Acabamento: consiste na remoção de rebarbas das peças com esmeris. Neste ponto os resíduos são metais finos resultantes do processo de esmerilhagem da peça.

- Expedição: esta é a fase final na qual as peças fundidas são estocadas até sua entrega aos clientes.

As etapas dos processos de modelação que incluem a moldagem e macharia, a fusão e o acabamento são responsáveis pela geração dos seguintes resíduos: areias do sistema (mistura e preparo), areia de macharia, pó de exaustão, escórias e refratários, pó do acabamento.

A Figura 3-1 apresenta o fluxograma de todo o processo de fundição com as entradas e saídas.



**Figura 3-1:** Fluxograma do processo de fundição com entradas e saídas

Fonte: FAGUNDES *et al.*, 2009

## **3.2 Areia de Fundição**

### **3.2.1 Tipos de Areia de Fundição**

Os processos de fundição em todo o mundo utilizam, em sua grande maioria, como areia-base a areia de quartzo ou sílica como matéria-prima fundamental para a confecção de moldes e machos, para a obtenção de peças fundidas. Esta areia é encontrada com relativa abundância na natureza (SILVA, 2007).

As características geométricas exercem grande influência sobre o “empacotamento” ou “empilhamento” dos grãos de areia durante a moldagem. O tipo e a densidade do “empilhamento” dos grãos, por sua vez, exercem influência e determinam muitas propriedades intrínsecas ou ligadas ao comportamento de uma areia de moldagem como a escoabilidade, a permeabilidade, a difusividade térmica, a expansibilidade térmica (CASTRO 2001 *apud* SILVA,2007)

A areia utilizada no processo de fundição pode ser classificada segundo Loré (1978) *apud* Scheunemann (2005), quanto à sua origem, uso, emprego na caixa de fundição e tipo de metal:

a) Quanto à origem:

- Areias naturais, que são originadas de arenitos de cimento argiloso ou de alteração de rochas feldspáticas (saibros), que são usadas diretamente na moldagem, sofrendo apenas uma correção na umidade.
- Areias semi-sintéticas, que são resultantes das modificações introduzidas nas areias naturais, por meio de adição de substâncias que visam corrigi-las, melhorando a qualidade.
- Areias sintéticas, que são obtidas pela mistura correta da areia-base e aglomerantes em proporção adequada e umidade determinada.

b) Quanto ao uso:

- Areia nova, quando usada pela primeira vez na fundição.

- Areia usada, quando recuperada de processos anteriores.

c) Quanto ao emprego na caixa de fundição:

- Areia de faceamento é a parte da areia que faceia o modelo e entra em contato com o metal de vazamento.
- Areia de enchimento é a parte da areia que constitui o restante da caixa de moldagem.
- Areia de macharia é a areia destinada ao preparo dos machos, conformadores das cavidades internas das peças.

d) Quanto ao estado de umidade da areia:

- Areia úmida ou verde é a que mantém, no momento do vazamento, aproximadamente a mesma umidade do preparo.
- Areia estufada é aquela preparada com a composição adequada para machos e moldes e que sofrem cozimento em estufa antes do vazamento.

e) Quanto à qualidade do metal:

- Areias para metais ferrosos (ferro fundido cinzento, maleável e aço).
- Areia para metais não ferrosos (bronze e latão, cobre e níquel, alumínio e magnésio).

A areia verde de fundição é constituída basicamente por: areia, pó de carvão, bentonita e água. A areia verde recebe esta denominação devido ao seu processo de fabricação, no qual grãos com diferentes tamanhos são dispostos no compactador e com aplicação de uma força externa se acomodam, compactando-se (SILVA, 2007).

A bentonita é um silicato de alumina hidratado (contém em sua composição silício, alumínio, ferro, cálcio, magnésio, potássio e sódio). É formada por lamelas, sendo classificada pela espessura das mesmas. O pó de carvão é um aditivo formado por matéria volátil, carbono fixo, cinzas, água e enxofre. A função principal da água na mistura da areia de moldagem é tornar possível a propriedade coesiva dos elementos da mistura através do aumento da

umidade. Podem ser usados outros aditivos como dextrina, pó de madeira, entre outros (COSTA e GIÃO, 2001, *apud* SILVA, 2007).

A composição típica de uma mistura de areia verde é apresentada na Tabela 3-1, conforme descrito no *Foundry Sand Beneficial Reuse Manual - Special Report* (1996), *apud* CHEGATTI (2004):

**TABELA 3-1: Composição típica e propriedades da Areia Verde**

<b>Componente/Propriedade</b>	<b>Limites</b>
Areia	70-80%
Água	2-4%
Argila	5-15%
Aditivos	2-5%
Umidade	0-4%
Perda ao Fogo	0,2-8%
pH	3-12
Argila AFS	40-150
% Finos ( passado pela peneira 200 Mesh)	1-2%
Densidade	1,0 –1,6 g/cm <sup>3</sup>

Fonte: CHEGATTI, 2004

Para o preparo das areias de macharia utilizam-se resinas sintéticas misturadas à areia-base e a catalisadores. As primeiras resinas produzidas são as fenólicas e datam do ano de 1912 (TINTAS E VERNIZES, 2004 *apud* SCHEUNEMANN, 2005). As resinas fenólicas são também chamadas de resinas fenol-formol ou FF, são resinas sintéticas termofixas produzidas pela reação de fenol e formol. São denominadas de resóis ou alcalinas, e/ou por ácidas ou novolacas, de acordo com o processo pelo qual são produzidas, alcalino ou ácido, respectivamente. (SILVA, 2007). O emprego deste tipo de resina confere às peças um melhor acabamento e uma boa resistência aos machos. Contudo após a desmoldagem da peça a areia fica contaminada com a resina fenólica (MARIOTTO, 2000 *apud* SCHEUNEMANN, 2005).

Além das resinas fenólicas existem também as seguintes resinas (SILVA, 2007):

- Resinas Uréia-Formol: chamadas também resinas uréicas, produzidas pela reação de formol com uréia.

- Resinas Furânicas: são resinas mais complexas com três componentes ativos: uréia-formol/álcool furfúlico ou fenol-formol furfúlico.

Filipkowski *et al.* (2001) *apud* Oliveira (2007) apresentaram as principais características das matérias-primas empregadas na produção de resinas sintéticas. Pode-se relacionar:

- Metanol (álcool metílico): líquido incolor, tóxico, inflamável, miscível em água, outros álcoois e éteres.
- Formol (formaldeído): gás a temperatura ambiente, geralmente misturado com água para formar uma solução clara, incolor, irritante, com odor penetrante e forte efeito lacrimejante.
- Fenol: sólido, cristalino, incolor, tóxico e corrosivo. Solúvel em água, álcool e éter, sendo empregado na fabricação de resinas para fundição, resinas para abrasivos e materiais de fricção.
- Uréia: sólida, cristalina, branca, praticamente inodora e não inflamável.
- Álcool furfurílico (furforol): líquido tóxico, solúvel em álcool e éter, miscível em água, facilmente resinificável com ácidos.

Além dos constituintes das resinas, deve-se considerar os catalisadores, que têm função de promover a cura das resinas, quando misturadas à areia e aos aditivos, utilizados para melhorar uma determinada característica do aglomerante. Blackburn e Henry (1999) *apud* Oliveira (2007) mencionaram os solventes aromáticos e modificadores alifáticos como produtos químicos utilizados na fabricação de catalisadores. Outros possíveis produtos foram apresentados em Fan e Zu (2000) *apud* Oliveira (2007): ácido paratolueno sulfônico; ácido xileno sulfônico; ácido fosfórico; difenilmetileno diisocianato (MDI); etileno; triacetato glicol.

Conforme descrito por Silva (2007) o tipo de resina a ser empregado depende do processo usado pela fundição, os mais comuns são:

- Processo cura frio: neste processo a resina aglomerante da areia solidifica-se a temperatura ambiente, quando exposta a um conversor ácido e a cura é exotérmica. O macho pode ser

retirado da caixa em poucos minutos e sua resistência máxima é atingida em cerca de 4 a 5 horas.

- Processo CO<sub>2</sub>: os aglomerantes da areia usados aqui são silicatos na base de 5% do peso da areia. Na mistura são usadas 50% de areia fina e 50% de grossa e o catalisador da mistura é o gás carbônico (CO<sub>2</sub>).

- Processo Shell: este processo utiliza resinas fenólicas na base de 3 a 4% do peso da areia do grupo das novolacas, ou seja, ácidas. Emprega-se uma quantidade maior de fenol em relação ao formol. As vantagens deste processo são: um melhor acabamento superficial das peças fundidas, alta estabilidade dimensional, menor rebarbação, menor quantidade de refugos a ocorrência de gases, sinterização da areia e falta de enchimento.

### **3.2.2 Areia como resíduo**

As indústrias de fundição apesar de utilizarem sucata como matéria-prima para a fabricação de suas peças, é grande geradora de resíduos sólidos destacando-se em maior volume a areia de fundição advinda das atividades de moldagem e desmoldagem.

As areias de moldagem (areia verde) representam em geral cerca de 80% dos resíduos do processo de fundição e as areias de macharia o restante, conforme a Associação Brasileira de Fundição (SILVA, 2007)

Os resíduos gerados na confecção dos machos (areia de macharia) são compostos por aglomerantes à base de resinas fenólicas que são tóxicos e que, uma vez dispostos no meio ambiente de forma inadequada afetam a qualidade do solo e águas subterrâneas dependendo da quantidade lixiviada (WINKLER & BOL'SHAKOV, 2000 *apud* CHEGATTI, 2004)

Winkler & Bol'shakov (2000) *apud* Chegatti (2004), relatam que as areias de fundição ainda virgens constituem um material uniforme, contudo após a fundição a areia frequentemente contém metais, moldes e machos contendo ligantes parcialmente degradados.

Na Tabela 3-2 é apresentada a composição química de uma amostra de resíduo de areia de fundição.

**TABELA 3-2:** Composição química da Areia de Fundição por Fluorescência de Raios-X

Constituinte	Porcentagem (%)
SiO <sub>2</sub>	87,91
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,94
CaO	0,14
MgO	0,30
SO <sub>3</sub>	0,09
Na <sub>2</sub> O	0,19
K <sub>2</sub> O	0,25
TiO <sub>2</sub>	0,15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02
SrO	0,03
Perda ao Fogo	5,15

Fonte: CHEGATTI, 2004

Para se definir o gerenciamento de um resíduo é fundamental caracterizá-lo, permitindo assim a identificação de substâncias que possuem potencial de causar dano ao meio ambiente.

No Brasil, os resíduos devem se caracterizados através dos ensaios de solubilização e lixiviação segundo os critérios estabelecidos pela norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 10.004/2004. Segundo a referida norma, os resíduos são classificados em dois grupos: classe I (perigosos) e classe II, sendo esse último grupo dividido em dois subgrupos: classe IIA (não inertes) e classe IIB (inertes).

A classificação da areia de fundição como resíduo industrial gera conflitos de interesse entre as indústrias de fundição e os órgãos de fiscalização e regulamentação. Segundo McCombe (1998) *apud* Oliveira (2007) há por parte dos produtores o desejo de classificar a areia como inerte, que claramente resultaria na redução dos gastos com manuseio e disposição. Na norma ABNT, NBR 10004 a areia de fundição consta no Anexo H, como resíduo não perigoso. Contudo, há duas possíveis fontes de contaminação, que classificaria a areia de fundição como resíduo classe I: (i) as resinas do sistema aglomerante que podem conter constituintes orgânicos ou inorgânicos, tais como fenol, silicato de sódio e (ii) a presença de metais pesados, originários da etapa de vazamento (OLIVEIRA, 2007).

Albuquerque (2000), em um estudo sobre a decomposição de resina fenólica por meio de microrganismos, analisou a areia de fundição aglomerada com resina fenólica aplicada em processo de macharia, segundo a norma ABNT, NBR 10004, em sua primeira edição de 1987.

A Tabela 3-3 exibe resultados da análise, através da qual a areia foi classificada como resíduo classe I, em razão da concentração de fenol na massa bruta ser superior a 10 mg/kg. No entanto, o parâmetro massa bruta deixou de ser aplicado para classificação do resíduo após a revisão da norma. Considerando a norma em sua recente versão a classificação da areia analisada estaria mais corretamente definida como sendo resíduo não inerte classe II A, em razão de ter a concentração de fenóis totais acima do limite estabelecido no Anexo G da norma para a solubilidade em água.

**TABELA 3-3:** Concentração química do lixiviado, do solubilizado e da massa bruta do resíduo areia de fundição

Poluente	Lixiviado [mg/l]		Solubilidade [mg/l]		Massa Bruta [mg/kg]	
	Resultado	Limite max.	Resultado	Limite max.	Resultado	Limite max.
Alumínio	NA	NC	< 0,1	0,2	NA	NC
Arsênio	< 0,05	5,0	< 0,05	0,05	< 0,1	1000
Bário	0,15	100,0	0,16	1,0	NA	NC
Cádmio	< 0,05	0,5	< 0,05	0,05	NA	NC
Chumbo	< 0,05	5,0	< 0,05	0,05	0,5	1000
Cianetos	NA	NC	< 0,1	0,1	< 0,5	1000
Cloretos	NA	NC	161,0	250	NA	NC
Cobre	NA	NC	0,25	1,0	NA	NC
Cromo total	0,13	5,0	0,04	0,05	NA	NC
Cromo VI	NA	NC	NA	NC	0,51	100
Dureza	NA	NC	10,0	500	NA	NC
Fenol	NA	NC	0,9	0,001	33,3	10,0
Ferro	NA	NC	0,42	0,3	NA	NC
Fluoreto	< 0,5	150	< 0,5	1,5	NA	NC
Manganês	NA	NC	0,24	0,1	NA	NC
Mercurio	< 0,01	0,1	< 0,001	0,001	< 0,1	100
Nitrato – N	NA	NC	< 0,1	10	NA	NC
pH	NA	NC	6,9	NC	7,0	> 2 < 12,5
Prata	< 0,05	50	< 0,05	0,05	NA	NC
Selênio	< 0,01	1,0	< 0,01	0,01	< 0,1	100
Sódio	NA	NC	21,1	200	NA	NC
Sulfatos	NA	NC	< 5,0	400	NA	NC
Surfactante	NA	NC	< 0,1	0,2	NA	NC
Vanádio	NA	NC	NA	NC	< 2,0	1000
Zinco	NA	NC	0,15	5,0	NA	NC

NA: parâmetro não analisado; NC: parâmetro não consta na Norma 10004.

Fonte:ALBUQUERQUE, 2000 adaptado OLIVEIRA, 2007

### 3.3 Impactos Ambientais

Dos resíduos gerados no processo de fundição, é importante diferenciar as areias de moldagem das areias de macharia. As areias de moldagem são compostas por areia, bentonita

e pó de carvão, e não possuem potencial de lixiviação de constituintes perigosos ou tóxicos. Já para as areias de macharia, compostas por ligantes à base de resinas fenólicas que possuem toxicidade, é possível que a sua disposição afete a qualidade do solo e de águas subterrâneas, dependendo das quantidades envolvidas e lixiviadas (WINKLER & BOL'SHAKOV, 2000 *apud* CHEGATTI, 2004).

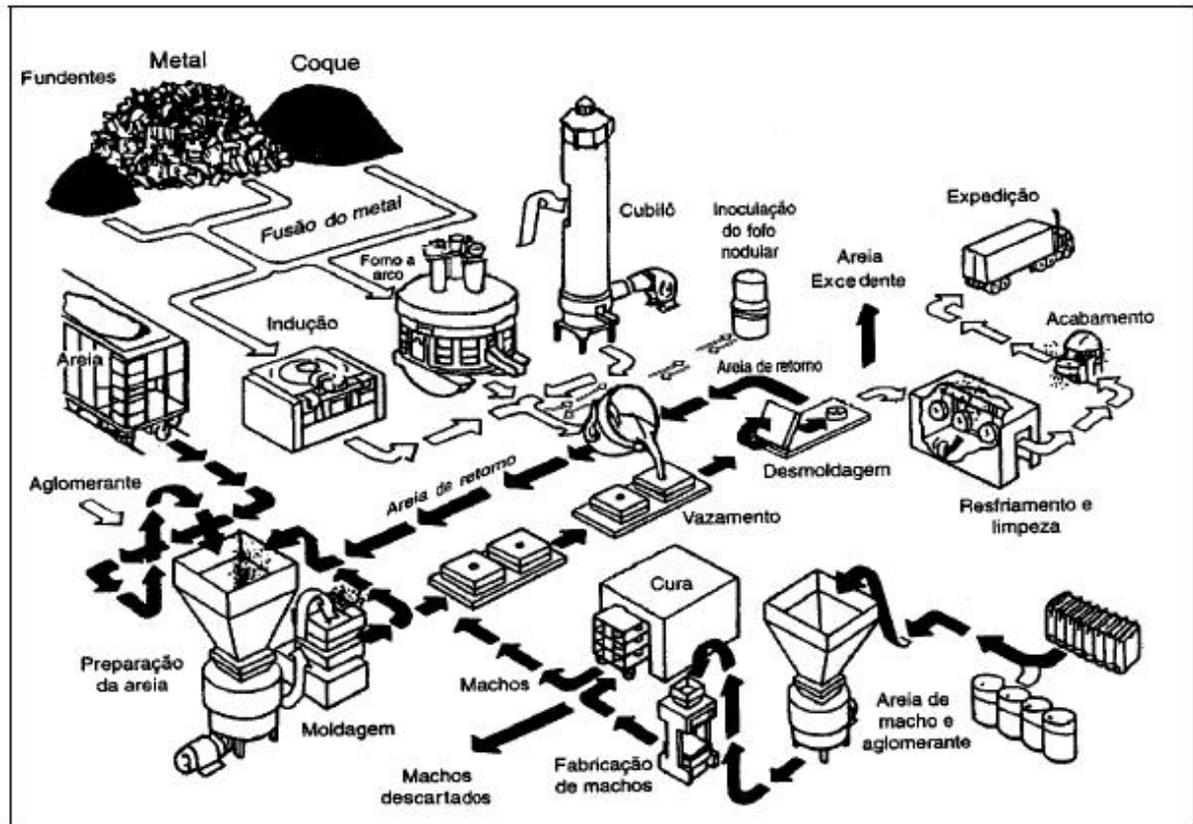
A areia de moldagem, resultante da desmoldagem de peças metálicas e de excedentes do processo, constitui-se em um grande problema ambiental para as empresas do setor metal mecânico por ser um resíduo classificado como não inerte e pelo fator principal da disposição de grandes quantidades em aterros. Os impactos ambientais estariam ligados ao consumo dos recursos naturais (areia, bentonita, pó de carvão) e à criação de locais para aterro, provocando a desertificação de áreas de preservação, proteção ambiental ou produtivas. Adicionalmente, a implementação de regulamentos ambientais mais restritivos nos últimos anos tem obrigado as fundições a destinar seus excedentes de areia para aterros controlados, muitas vezes distantes até 200 km, onerando consideravelmente seus custos (CHEGATTI, 2004).

Para Wright (2001) *apud* Chegatti (2004), 90% da areia de fundição é disposta em aterros como resíduos não perigosos. Entretanto, aspectos ambientais e econômicos têm demonstrado que fazer dos resíduos um atrativo do processo de fundição é uma maneira apropriada de reutilizá-los. E, das pesquisas complementares de Winkler & Bol'shakov (2000) *apud* Chegatti (2004), os resultados indicaram também que as areias de fundição poderiam ser beneficiadas através de reuso sem causar impactos ao meio ambiente ou riscos à saúde humana.

Segundo Bonet (2002), para minimizar os custos de disposição do resíduo areia de fundição em aterros industriais e seus impactos ambientais, as fundições poderiam adotar medidas que favorecessem a utilização externa dos resíduos das areias de fundição, por exemplo, em substituição parcial do agregado fino nos concretos de baixo custo e nos pavimentos asfálticos. As fundições também devem regenerar as areias, através de tratamentos mecânicos e/ou tratamentos térmicos, com o objetivo de reconduzir a areia usada a uma condição semelhante à de uma areia nova, permitindo a sua reutilização no processo sem afetar a qualidade dos moldes produzidos.

### 3.4 Reaproveitamento da areia de fundição

A Figura 3-2 apresenta o fluxo típico de uma planta de fundição, com o trajeto do minério, do metal fundido e da areia. O fluxo destacado se refere à areia que é reaproveitada, após a etapa de desmoldagem em um novo ciclo de produção de moldes.



**Figura 3-2:** Fluxo típico da areia em processo de fundição

Fonte: OLIVEIRA, 2007

Segundo Oliveira (2007), a areia proveniente dessa etapa incorpora elementos diferentes à sua composição inicial relacionados, por exemplo, às partículas de tinta, aos resíduos de macho ou à liga fundida e a influência desses elementos inviabiliza o reaproveitamento total da areia de retorno, pois diminuem as propriedades mecânicas da areia.

A solução comumente adotada é a adição de areia nova, promovendo a diluição e atendendo assim as especificações técnicas para a areia de moldagem (TILCH e HASSE, 1997 *apud* OLIVEIRA, 2007).

Diehl (1998) *apud* Oliveira (2007) menciona que os índices de reaproveitamento da areia de retorno empregada no ciclo produtivo variam de 90 a 98%, para um processo de areia verde.

A areia de retorno, no entanto, não pode ser utilizada no processo de macharia, já que esse requer a utilização de areia nova devido à rigidez das especificações. Dessa forma, há nas fundições um excedente de areia a ser descartado.

O reaproveitamento do resíduo pode ser concebido através da recuperação, regeneração ou reutilização:

#### 1- Recuperação

A recuperação (também conhecida em fundição como recirculação) consiste em trazer de volta ao processo produtivo original as areias já utilizadas no vazamento de peças onde, após feita a desmoldagem e retirados os resíduos metálicos e os torrões de areia, a mesma é esfriada e, devido à presença de uma parcela de materiais alterados pelo contato direto com o metal fundido, torna-se necessário retirar uma porcentagem dessa areia usada (porcentagem essa que varia de acordo com as características necessárias à areia no processo inicial) acrescentando areia nova à mistura na mesma proporção da areia usada que foi retirada, a fim de manter a qualidade dos machos e moldes produzidos (ABIFA 1999 *apud* FAGUNDES *et al*, 2009).

#### 2 – Regeneração

A regeneração é o processo ao qual as areias descartadas de fundição são submetidas a fim de proporcionar a limpeza da superfície dos grãos da areia-base, removendo os materiais aderidos, com o propósito de devolver a eles características mais próximas possíveis às das areias novas, de forma a permitir novamente sua introdução como matéria-prima no processo de fundição. Os principais processos de regeneração estão atrelados à utilização de tratamentos mecânico, térmico, úmido e químico, de forma individual ou combinada (ABIFA 1999 *apud* FAGUNDES *et al*, 2009).

### 3 – Reutilização

Consiste no uso repetido de um produto ou substância em um determinado processo produtivo na sua forma original, isto é, sem processamento, exceto por processo de limpeza ou classificação. Dentro deste conceito a reutilização de Areia de Fundação - ADF pode acontecer em atividades tais como: fabricação de concreto, construção civil em geral, material para construção, cobertura de aterros e na preparação de solos especiais (ABIFA 2008 *apud* FAGUNDES *et al* 2009).

Considerando a reutilização, diversos estudos têm sido feitos no Brasil e no mundo para identificação de alternativas para aplicação das areias de fundição de forma a minimizar o encaminhamento a aterros industriais.

## 4 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho se baseou no levantamento bibliográfico referente às práticas e os estudos desenvolvidos quanto ao gerenciamento do resíduo areia de fundição no país e no mundo e abordando posteriormente o contexto do estado de Minas Gerais.

Para realizar o levantamento bibliográfico dos programas de reuso e dos estudos desenvolvidos sobre a areia de fundição foram pesquisadas diferentes bases de dados como Portal Periódicos da Capes para busca de artigos técnicos, *sites* de órgãos ambientais (*Environmental Protection Agency* -EPA, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB e Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina - FATMA), teses de doutorado e dissertações de mestrado, além dos *sites* de associações como Associação Brasileira de Fundição (ABIFA) e Sindicato da Indústria de Fundição de Minas Gerais (SIFUMG). Empregou-se na pesquisa a busca por palavras-chave: *Foundry Sand*; Areia de Fundição; Processo de Fundição; Reutilização de Areia de Fundição e Reaproveitamento de Areia de Fundição.

Seguiu-se com a seleção das referências encontradas, a fim de identificar os programas de reuso de resíduos de fundição e seus respectivos regulamentos.

Foram relacionados artigos técnicos nacionais e internacionais, além de teses de doutorado e dissertações de mestrado a fim de obter informações quanto ao estado da arte da reutilização do resíduo de areia de fundição no mundo.

Foram abordadas práticas internacionais de reuso da areia de fundição em diversos países da Europa como: Bélgica, Finlândia, Dinamarca, Suécia, Alemanha e França; Austrália e Estados Unidos. Para esse último, foram apresentados estudos de casos coordenados pela USEPA na utilização do resíduos de areia de fundição em outras atividades

Buscou-se também referências de iniciativas brasileiras quanto ao gerenciamento do resíduo e foram apresentados procedimentos já adotados pela CETESB pela FATMA. A nível nacional, foi abordada a norma Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, a NBR 15702/2009, que estabelece as diretrizes para aplicação de areias descartadas de fundição como matéria-prima em concreto asfáltico e cobertura diária de aterro sanitário.

Por fim avaliou-se o contexto do estado de Minas Gerais, quanto à expressiva participação da indústria de fundição mineira no país e à preocupação quanto ao gerenciamento dos resíduos de areia de fundição, já que quase sua totalidade tem sido encaminhados para aterros.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A crescente preocupação com o meio ambiente, principalmente em função da minimização da disponibilidade de recursos tais como energia, matérias primas, áreas para aterros e da preservação do meio natural, e a cobrança cada vez mais rígida dos órgãos ambientais tem motivado as indústrias a aperfeiçoar seus processos de modo a consumir menos materiais na produção, gerar menor quantidade de resíduos e aperfeiçoar o aproveitamento de seus subprodutos através da valorização de seus resíduos. Além disso, a valorização de resíduos pode auxiliar as empresas a reduzirem seus custos tornando-se cada vez mais competitivas.

Diante do grande montante de resíduo gerado, dos altos custos de disposição em aterro e da crescente preocupação ambiental, diversos estudos têm sido desenvolvidos visando o reaproveitamento do resíduo areia de fundição, seja ele dentro da própria indústria geradora ou como substituto de matéria-prima em outros processos.

### **5.1 Estudos desenvolvidos no Brasil**

Mazariegos (2008) realizou um estudo que investigou a viabilidade técnica para a reciclagem de resíduos de descarte de areia de fundição aglomeradas com argila, para aplicação no setor de construção civil. Para isso foi avaliada a estabilização do resíduo em matrizes solidificadas de cimentos Portland, melhoradas através de adições de argila, bentonita sódica e/ou sílica ativa. A estabilização do resíduo foi verificada através de ensaio de solubilização, o qual submeteu as matrizes solidificadas a contato direto e estático com água destilada. Os desempenhos mecânicos das matrizes foram avaliados em ensaios de resistência à compressão, absorção de água e permeabilidade do ar. Os resultados obtidos demonstraram que, tanto a bentonita sódica, quanto a sílica ativa contribuíram para o aumento da eficiência de fixação dos metais Al, Fe e Cr por parte das matrizes de cimentos Portland. As composições que obtiveram os melhores desempenhos mecânicos, físico e químico foram utilizadas na confecção de tijolos maciços, visando aplicação na execução de alvenarias. Para moldagem de tijolos foi empregada uma prensa hidráulica, o que possibilitou manter a

regularidade dimensional das faces. Ao mesmo tempo, o formato dos tijolos foi concebido com *design* diferenciado, proporcionando modulação e encaixes que podem reduzir significativamente o consumo de argamassa de assentamento. Os tijolos foram submetidos aos ensaios de solubilização, resistência à compressão e absorção de água, apresentando resultados satisfatórios e comprovando a viabilidade técnica para aplicação na execução de alvenarias.

Costa *et al.* avaliaram o comportamento de misturas asfálticas a quente, obtidas a partir da adição de resíduo “areia verde” de fundição em substituição ao agregado fino convencionalmente utilizado (areia de cava ou rio). O comportamento das misturas foi caracterizado por meio de um programa experimental utilizando diferentes teores de rejeitos e alguns métodos de ensaio: dosagem Marshall, resistência à tração por compressão diametral, módulo de resiliência e fadiga à compressão diametral sob tensão controlada. Os resultados obtidos em laboratório mostraram que existe a viabilidade técnica para o uso de areia de fundição de ferro descartada em substituição a agregados finos em massa asfáltica para pavimentação, embora os resultados sejam ligeiramente diferentes, são todos aceitáveis do ponto de vista mecânico. Entretanto, conforme consta na conclusão dos autores, esse estudo será complementado levando-se em consideração aspectos mecânico de comportamento e desempenho de uma pista experimental localizada no município de Extrema-MG (verificação em condições reais, sob atuação de cargas do tráfego, variações climáticas de temperaturas e efeito da umidade, bem como a avaliação estrutural através de medidas deflectométricas com viga benkelman) já executada com misturas asfalto-resíduo de areias de fundição, conforme programado no prosseguimento da pesquisa.

Chegatti & Soares avaliaram amostras de resíduos de fundição com o objetivo de verificar sua aplicabilidade em massas asfálticas do tipo CBUQ – classe C e cerâmica vermelha. Os resíduos testados foram areias de fundição geradas nos processos de moldagem, quebra de canais e exaustão. Os corpos de prova foram executados utilizando-se diferentes percentuais de areia e posteriormente avaliados quanto às propriedades de qualidade e ambientais. As peças em asfalto foram analisadas quanto a vazios da mistura, vazios do agregado, relação betume vazios, fluência e estabilidade. As peças em cerâmica vermelha (tijolos) foram analisadas quanto à retração térmica linear, absorção d’água e módulo de ruptura a flexão. De acordo com os autores, os resultados obtidos no estudo mostraram que a adição dos resíduos de areia de fundição em peças cerâmicas e massa asfáltica não afetou significativamente os

resultados encontrados para as amostras padrão. Adicionalmente, comparando-se os resultados encontrados nos lixiviados das amostras com os padrões de potabilidade de água para o consumo humano, conforme decreto n.º 1.469 de 29/12/00, a massa asfáltica e as peças cerâmicas formuladas com resíduos não apresentam potencial de contaminação pois não foram encontrados contaminantes nos lixiviados analisados em concentrações acima ou próximas das estabelecidas pela referida legislação. Uma vez que os resultados dos testes de lixiviação não afetaram a qualidade dos corpos de prova em ambos os casos, a conclusão do estudo foi que é possível utilizar até 10% em peso de resíduo de fundição sendo ele areia do sistema, areia da quebra de canais ou pó da exaustão do sistema de areia em substituição da areia natural na massa asfáltica e em torno de 10% em peso de resíduo em massa cerâmica, deixando desta forma de descartar o resíduo em aterros e poupando recursos naturais, preservando por mais tempo as jazidas de areia e argila.

Gomes *et al* (2007) avaliaram a viabilidade técnica de se utilizar o resíduo areia usada de fundição (areia verde de processos de moldagem para fabricação de ferro fundido), como camada de cobertura intermediária de aterros sanitários de resíduos sólidos domésticos. Foram testados outros dois materiais: solo local do município de Portão – RS e entulho da construção civil, no sentido de se avaliar qual desempenharia melhor a função de camada de cobertura intermediária e final. Os resultados indicaram que o último material, o entulho, é o mais adequado para o uso como camada intermediária, já o solo e o resíduo areia de fundição apresentaram maior potencial de utilização como camada de cobertura final.

## **5.2 Estudo do Resíduo Areia de Fundição nos Estados Unidos**

Segundo Dayton *et al* (2009), há aproximadamente 2.000 fundições nos Estados Unidos, sendo que 93% produzem fundidos de ferro e alumínio, gerando cerca de 9,4 milhões toneladas de resíduos de areia de fundição anualmente. Desse total, 28% é utilizado na construção, como um componente de concreto e asfalto; na construção de estradas e / ou em misturas de solo.

Em 2002, 18 estados norte-americanos implementaram programas para incentivar e regulamentar a utilização benéfica de resíduo de areia de fundição (USEPA, 2002 *apud* Dayton *et al*, 2009). Para promover o desenvolvimento e para auxiliar a gestão dos programas de reuso da ADF dos estados, a Agência de Proteção Ambiental Americana – EPA lançou o *State Toolkit for Developing Beneficial Reuse Programs for Foundry Sands* (Conjunto de

ferramentas estatais para o desenvolvimento de programas de reuso benéfico da areia de fundição). O *Toolkit* fornece exemplos e abordagens atualmente utilizadas pelos estados que poderiam ser adaptados por outros e discute opções para melhoria da eficiência. Além disso, o escritório de Recuperação e Conservação de Recursos da EPA lançou em 2002 o *Resource Conservation Challenge- RCC* (o Desafio da Conservação de Recursos), cujos objetivos, entre outros, abrangem a promoção da reutilização e da reciclagem dos resíduos industriais não perigosos, tais como a areia de fundição, restos de materiais de construção / demolição, escórias e produtos da combustão do carvão. A expectativa é que a reciclagem de resíduos industriais minimize a poluição da água, ar e os recursos do solo, conservando a energia e matérias-primas.

Para a agência americana, os resíduos de areia de fundição são identificados como um material de prioridade para o uso benéfico, apresentando um potencial de reutilização em misturas de solo (USEPA 2009 *apud* Dayton *et al*, 2009 ).

O estudo de Dayton *et al* (2009) teve como objetivo mensurar: (1) a seleção das propriedades físicas e químicas importantes para a qualidade e função do solo (2) o conteúdo total elementar solúvel de 39 resíduos de areia de fundição, a fim de avaliar a adequação como um componente em solos fabricados. A concentração elementar total da ADF foi menor que os níveis encontrados em solos naturais para a maioria dos elementos analisados, sugerindo a não contaminação da areia virgem durante a fundição de metais. O conteúdo total e elementar solúvel indicam uma contribuição potencial de nutrientes para as plantas. Alface (*Lactuca sativa*) plantadas em misturas de ADF tiveram uma taxa média de germinação de 96,9% em relação ao controle. A conclusão que os autores chegaram é que misturando ADF em diferentes proporções com outros materiais permitirá uma "emenda" das propriedades físicas e químicas de solos fabricados para atender necessidades específicas.

Dungan & Dees (2009) caracterizaram os metais presentes nos resíduos de areias de moldagem da fundição de ferrosos e não ferrosos e avaliaram seu potencial de lixiviação utilizando o *Toxicity Characteristic Leaching Procedure – TCLP* (método para testar a mobilidade dos compostos orgânicos e inorgânicos presentes nas fases líquida e sólida), *Synthetic Precipitation Leaching Procedure – SPLP* (teste realizado com amostras líquidas, isto é, aquelas que contêm menos de 0.5% de massa seca de resíduo) e *American Society for Testing and Materials - ASTM*. A análise elementar total de Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co,

Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, V, e Zn foi realizada em 36 amostras de areia ligadas com argila e sete ligadas quimicamente.

A concentração total de metais na maioria dos resíduos das areias de moldagem foi inferior ao intervalo medido em solo agrícola. Com exceção de poucas amostras, apenas Co, Cu e Ni ficaram acima dos valores encontrados nos solos. Quando submetido ao TCLP, as areias apresentaram característica de toxicidade devido aos níveis elevados de As, Ag, Ba, Cd, Cr e Pb. Apesar de Hg e Se não terem sido avaliados neste estudo, os dados de pesquisas anteriores mostram que é improvável esses metais serem lixiviados em níveis considerados perigosos de acordo com o *Resource Conservation and Recovery Act – RCRA* (Conservação e Recursos e Ato de Recuperação). Globalmente, os dados revelaram que os resíduos de areias de moldagem têm um potencial de lixiviação de metais baixo nas condições de ensaio especificadas e metais, como As, Ba, Cr e Cu foram, em geral bem abaixo do *National Primary Drinking Water Standard- NPDWS* (Padrão Nacional de água potável). Uma avaliação do Be, Cd, Pb e Sb não poderia ser feita, já que o limite de detecção do método utilizado estava acima do NPDWS.

Siddique *et al* (2009) pesquisaram a possível utilização, em grande escala, do resíduo de areia de fundição, na produção de concreto, como substituto parcial do agregado fino. O estudo apresentou os resultados de uma investigação experimental realizada para avaliar as propriedades mecânicas das misturas de concreto no qual o agregado fino (areia regular) foi parcialmente substituído por resíduo de areia de fundição. O agregado fino foi substituído em três porcentagens (10%, 20% e 30%) de ADF em peso. Os testes foram realizados para as propriedades do concreto fresco. A resistência à compressão, à tração, à flexão e o módulo de elasticidade foram determinados em 28, 56, 91 e 365 dias. Os resultados do teste indicaram um aumento das propriedades mecânicas do concreto pela inclusão da ADF como substituição parcial do agregado fino (areia), sendo que essas foram mais expressivas quanto maior fosse o teor de ADF e a idade da mesma. A conclusão do estudo é que o resíduo de areia de fundição pode ser efetivamente utilizado na produção de concreto de boa qualidade e em materiais de construção.

## **5.3 Panorama da Reutilização da Areia de fundição nos Estados Unidos, Europa e Austrália**

### **5.3.1 Reuso da Areia de Fundição nos Estados Unidos**

Segundo a USEPA - *US Environmental Protection Agency* - uma variedade de fatores contribuem para o baixo nível de reaproveitamento da areia de fundição. Esses fatores afetam cada um dos interessados que podem desempenhar um papel importante na reutilização benéfica do resíduo.

Para os estados, o desenvolvimento de uma estrutura regulatória que, simultaneamente, garanta proteção ambiental e incentive a reutilização benéfica pode ser muito desafiador. Além disso, a falta de um processo estabelecido para avaliação e permissão do reuso pode ser uma barreira significativa.

Usuários finais podem não saber que a areia de fundição é reutilizável. Dessa forma, podem assumir equivocadamente que a areia de fundição pode não ter uma boa performance a partir de um ponto de vista da engenharia, ou que podem conter concentrações inaceitáveis de componentes tóxicos.

Finalmente, as fundições podem não estar cientes dos usos potenciais para suas areias, ou podem não ter considerado mudanças operacionais simples que podem gerar fortes efeitos nas características da areia (por exemplo, a segregação do fluxo de resíduos) e assim reforçar a sua capacidade para encontrar alternativas para a eliminação de aterros.

Com o objetivo de estimular a reutilização desse resíduo, a USEPA desenvolveu em 2002 um trabalho de pesquisa de processos de reuso de areia existente; de condução de estudos de caso para avaliar uma situação real de reutilização do resíduo; condução da caracterização da areia de fundição e de sugestão de abordagens que estimulem o reuso desse resíduo (EPA, 2002)

#### Contaminantes em potencial

Conforme trabalho desenvolvido pela USEPA, quanto ao potencial de contaminação das areias de fundição, têm-se as seguintes considerações:

##### 1-Metais e outros contaminantes inorgânicos

Em geral, os resultados TCLP mostram que as concentrações de metais em areia de fundição estão abaixo dos limites estabelecidos na regulamentação, tais como os especificados para os resíduos perigosos pela *Resource Conservation and Recovery Act* (RCRA). Muitas das concentrações dos lixiviados foram menores do que as estabelecidas nas normas federais de água potável, indicando que é geralmente seguro reutilizar estas areias. Estudos de areia de fundição também indicam que as concentrações de contaminantes metálicos estejam na mesma ordem de grandeza que os de areia virgem e areia de solos.

Por outro lado, em mistura de subprodutos de fundição de metais não ferrosos (que contém uma combinação de areia, poeiras e escórias) foram encontrados ocasionalmente concentração de metais no lixiviado acima do que preconiza RCRA, por exemplo, algumas poeiras de fundição possuíam maior concentração de metais do que as areias.

## 2- Contaminantes orgânicos

O sistema aglutinante é a principal fonte de contaminantes orgânicos na areia. O principal contaminante orgânico a partir de núcleos de areia de fundição é a acetona, o 1,1,1 – tricloroetano e um número de compostos aromáticos, como mostrado no QUADRO 5-1.

**QUADRO 5-1:** Principais compostos aromáticos presentes na areia de fundição

Acetone <sup>1</sup>	Formaldehyde <sup>2</sup>
Benzene <sup>1</sup>	Isopropylbenzene <sup>1</sup>
2-chlorophenol <sup>2</sup>	1- and 2-Methylnaphthalene <sup>1,2</sup>
m/p-Cresol <sup>2</sup>	Naphthalene <sup>1</sup>
1,2-Dichlorobenzene <sup>2</sup>	Phenol <sup>2</sup>
1,4-Dichlorobenzene <sup>2</sup>	Tetrachloroethane <sup>2</sup>
Diethylbenzenes <sup>1</sup>	Toluene <sup>2</sup>
Dimethylnaphthalenes <sup>1</sup>	1,1,1-Trichloroethane <sup>1</sup>
2,4-Dimethylphenol <sup>2</sup>	1,2,4-Trimethylbenzene <sup>1</sup>
Ethylbenzene <sup>2</sup>	1,3,5-Trimethylphenol <sup>2</sup>
p-Ethyltoluene <sup>1</sup>	Xylenes <sup>1,2</sup>

Fonte: USEPA, 2002

Fundição em areia verde, que geralmente não envolve a utilização de ligantes orgânicos, têm demonstrado menor potencial de lixiviação de compostos orgânicos dos que os sistemas quimicamente ligados.

Durante o processo alguns dos componentes ligantes podem ser alterados a partir de sua composição original. Os compostos orgânicos mais reativos comumente usados em pastas e resinas são de especial preocupação, porque podem ser transformados em novos compostos perigosos em condições de combustão incompleta. Entretanto, o teste não indicou que estes compostos reativos são encontrados em concentrações significativas na areia.

Dos 45 mil compostos testados no lençol freático nas proximidades de aterros de fundição em Wisconsin, em nenhum foi encontrada concentração acima de  $1\mu\text{g/L}$ . Vários contaminantes foram encontrados em quantidades traço a menos de 1 ppb nos testes de lixiviação em laboratório, com os sistemas ligantes com compostos de uretano fenólico e isocianato fenólico contribuindo com o mais alto teor de compostos orgânicos, mas nenhum contaminante excedeu os padrões de água potável da EPA. Em fundições de alumínio, que ocorre a uma temperatura mais baixa, menor quantidade de ligante orgânico é queimado, aumentando o potencial de residual de contaminantes orgânicos presentes na areia.

O USEPA divide o país em regiões, e cada uma destas regiões é coordenada por um escritório local da Agência, sendo que os estados estudados estão distribuídos pelas regiões: West Virginia e Pensilvânia; Alabama e Tennessee; Illinois, Indiana, Ohio e Wisconsin; Texas; e Iowa (SILVA, 2007).

Alguns destes regulamentos classificam os resíduos segundo critérios, como o emprego ou pela suas características, determinando-as através de métodos e ensaios que analisam seus constituintes químicos.

Silva (2007) compilou as informações quanto às categorias de classificação de cada regulamento, os métodos utilizados para esta classificação e os tipos de aplicação praticados em cada estado americano.

Os parâmetros considerados pelos regulamentos estudados e que são tomados como referência para aplicação de resíduos de fundição, bem como outros requerimentos adotados por estes programas podem ser observados na Tabela 5-1, na qual são também apresentados os parâmetros adotados no Brasil.

**TABELA 5-1- Parâmetros de referência para determinar a lixiviação de produtos contendo areia de fundição**

Parâmetros/Referências Legais (mg/L)	Portaria 518/04 - Potabilidade	NBR 10.004 Lixiviação	CETESB(intervenção)	Alabama	Illinois	Indiana*	Iowa	Ohio	Pensilvânia	Tennessee	Texas	West Virginia	Wisconsin**
Arsênio	0,01	1,00	0,010	2,50	0,050	0,50	4,50	1,50	1,25	..	1,80	0,05	0,050
Bário	0,70	70,00	0,700	50,00	2,000	10,00	90,00	60,00	50,00	20,00	100,00	1,00	4,000
Cádmio	0,01	0,50	0,005	0,50	0,005	0,10	0,90	0,15	0,13	0,05	0,50	0,01	0,005
Cromo	0,05	5,00	0,050	2,50	0,100	0,50	4,50	3,00	2,50	1,00	5,00	0,05	0,100
Chumbo	0,01	1,00	0,010	2,50	0,008	0,50	4,50	1,50	1,25	0,50	1,50	0,05	0,015
Mercúrio	0,00	0,10	0,001	0,10	..	0,02	0,18	0,06	0,05	0,02	0,20	0,002	0,002
Selênio	0,01	1,00	0,010	0,50	0,050	0,10	0,90	1,00	1,00	0,50	1,00	0,01	0,100
Prata	..	5,00	0,050	2,50	..	0,50	4,50	..	2,50	..	5,00	0,05	..
Benzeno	0,01	5,00	0,005	..	0,005	..	0,45	..	0,005	..	0,50	..	..
Cloretos	250,00	..	-	..	250,00	250,00	..	..	..	..	..	..	..
Cobre	2,00	..	2,000	..	5,00	2,50	..	..	32,50	13,00	..	1500	..
Cianetos	0,07	..	-	..	..	0,20	..	0,60	0,20	2,00	..	0,600	..
Fluoreto	1,50	150,00	-	..	4,00	..	..	12,00	7,50	..	..	12	8,00
Formaldeído	..	..	-	..	..	..	..	..	..	300,00	..	..	..
Ferro	0,30	..	0,300	..	5,00	1,50	..	..	7,50	..	..	..	1,50
Manganês	0,10	..	0,100	..	0,15	0,05	..	..	1,25	..	..	..	0,250
Molibidênio	..	..	0,250	..	..	..	..	..	4,38	..	..	18	..
Níquel	..	..	0,050	..	..	0,20	..	..	2,50	1,00	..	200	..
Nitrato	..	..	-	..	10,00	..	..	..	..	0,00	..	..	..
Fenóis	..	..	0,0001	..	..	0,30	..	10,50	21,00	15,00	2,00	10,5	12,00
pH	6 a 9	..	-	..	..	6 a 9	5 a 10	..	..	..	..	..	..
Sódio	200,00	..	-	..	..	2,50	..	..	..	..	..	..	..
Sulfato	250,00	..	-	..	400,00	2,50	..	..	..	..	..	..	..
Sulfeto	0,05	..	-	..	..	5,00	..	..	..	..	..	..	..
Zinco	5,00	..	5,000	..	5,00	2,50	..	..	125,00	..	..	2800	..
Alumínio	0,20	..	0,200	..	..	..	..	..	5,00	..	..	..	15,00
Frequência de Monitoramento	diária semestral anual	NA	NA	trimestral	anual	de 2 a 5 anos	trimestral	anual	análise para cada 1ton escavada relatório anual	A cada 2 anos	NA	anual	cada 1 a 5 anos
Submissão de Relatórios	Vigilância Sanitária para laudos	para cada resíduo/ certificado destinação órgão ambiental	NA	registros na fundição	para cada projeto aprovação do órgão ambiental de controle	registros na fundição	registros na fundição	registros na fundição	para cada fonte de resíduo	registros na fundição/ submissão do reutilizador	notificação ao órgão controle 90 dias antes de iniciar atividade	aprovação órgão de controle	certificação anual
Requerimentos	ensaios por contribuição percapita e pontos de rede	ensaios lixiviação com base procediment o NBR 10.005	NA	NA	descrição processo geração e reúso, avaliação impacto ambiental, descrição e análise física resíduo, resultados teste lixiviação, dados de monitoramento lençol freático	classificação do resíduo e análise das amostras com reúso	descrição do procediment o de reúso, estocagem e controles	atendimento 30 x padrão para água potável	análises	gerador e reúso do material; estimativa do volume a ser utilizado, controle areia carreada, descrição do local de uso	descrição química e física do resíduo, descrição processo de geração - origem resíduo, descrição do local de reúso, descrição do método de reúso.	descrição química-física do resíduo, descrição processo geração (incluindo informações sobre constituintes, descrição local de reúso, descrição do método de reúso, autorização empresa reúso p/ vistoria órgão de controle	dados da geração, não aumentar ruído, submissão quando não atende parâmetros
Limitações	NA	NA	NA	áreas alagadas e com menos de cinco metros acima do aquífero	NA	áreas alagadas ou alagadiças e áreas de habitação críticas	NA	áreas alagadas, nascentes, áreas sujeitas a lixiviação	áreas alagadas, fontes de água, uso em contato direto com água, vales	áreas alagadas, alguns solos, nascentes	NA	áreas alagadas, certo tipo de solo	áreas alagadas, áreas habitação crítica, águas subterrâneas e superficiais

Fonte: SILVA, 2007

Silva (2007) fez uma análise comparativa, com as normas brasileiras, dos limites considerados para o extrato lixiviado de alguns dos regulamentos adotados nos Estados Unidos e que servem para determinar a possibilidade de reutilização deste resíduo, que é apresentada a seguir:

- Em muitos estados americanos, as concentrações máximas ultrapassam os valores estabelecidos pela NBR 10.004, ou seja, os resíduos seriam classificados como perigosos pela norma brasileira. É o caso dos estados de Iowa, Ohio e Pensilvânia para os constituintes Arsênio, Bário, Cádmiio, Chumbo e Mercúrio.
- Os limites considerados pelo Estado de Wisconsin referem-se aos resíduos classificados nas Categorias 2 e 3 que permitem a reutilização dos resíduos para emendas de solo, construção de estradas e em artefatos decorativos.
- O regulamento formulado por Indiana classifica os resíduos de fundição em quatro classes: Tipo I, Tipo II, Tipo III e Tipo IV baseado nos limites dos constituintes químicos em mg/L. De acordo com esta classificação os resíduos que apresentarem limites estabelecidos na classe Tipo I (maiores concentrações) não podem ser reutilizados devendo ser dispostos em aterro. Já para o Tipo II é permitida a aplicação como cobertura de aterro. Os Tipos III e IV apresentam menores concentrações, permitindo um maior número de alternativas de reuso como, por exemplo, material de enchimento em trincheiras e barreiras, matéria-prima em outros processos de manufatura como concreto e cimento, emendas de solo e como cobertura ou camada drenante em aterros.
- Em Ohio, os limites de lixiviado considerados para Arsênio e Chumbo são menos restritivos, ou seja, têm maiores concentrações que os considerados na NBR para os mesmos elementos, sendo que o regulamento para reuso de resíduos de fundição de Ohio apresenta-se como um dos mais exigentes quanto aos testes de caracterização dos resíduos, exigindo licença do órgão de controle para reuso.
- Os elementos Alumínio, Ferro e Manganês, que geralmente estão presentes em altas concentrações nas areia de fundição, encontram-se como espécies de menor restrição no regulamento da Pensilvânia para aplicação em pavimentação asfáltica, que são respectivamente 5; 7,50 e 1,25 mg/L na análise de seu lixiviado.

- A grande maioria dos limites de lixiviado apresentados pelos regulamentos de reuso são menos restritos que os limites considerados pela Portaria 518/2004 (padrões de potabilidade da água) e Intervenção de solo da CETESB.
- Quanto aos ensaios para analisar as características do lixiviado, Indiana, Ohio e Wisconsin seguem os métodos do SW-846, o mesmo método empregado pela norma brasileira de classificação de resíduos sólidos.

#### 5.3.1.1 Estudo de Caso

Quatro projetos de reuso foram selecionados como estudos de caso para demonstrar a amplitude das atividades de reaproveitamento da areia de fundição e implementação do reuso do resíduo industrial em vários estados. Em cada um dos quatro estados, a areia de fundição deve atender determinados critérios com relação à concentração de contaminantes ser certificada para reutilização. Cada estado especifica a forma como a areia pode ser usada (EPA, 2002).

##### Alteração do solo – Ohio

Em Ohio há uma empresa que já tem reutilizado areia de fundição há 20 anos. A empresa produz uma grande variedade de mistura de solo que são vendidos diretamente e através de centros de jardinagem em toda Ohio. Uma fundição em Ohio foi a maior fornecedora de areia para a empresa que fabrica solos nos últimos 15 anos, fornecendo mais de 240.000 toneladas de areia em 2001. Como parte de um acordo com o estado, a empresa fornecedora realiza testes de lixiviação de areia anualmente, e a que reutiliza, realiza testes de lixiviação e teste de metais totais trimestralmente em seus produtos de solo fabricado com areia de fundição. A segunda também apresenta um relatório anual à EPA Ohio, descrevendo os resultados dos testes e quaisquer problemas que surgirem com a reutilização. A principal barreira para aumentar a reutilização de areia são os elevados custos de transporte associados à expansão da rede de fornecimento de fundição de areia.

##### Aterros - Wisconsin

Em Wisconsin há uma empresa que fornece areia para ser utilizada em aterros. Oitenta mil toneladas foram usadas no último projeto. A areia é misturada com argila bentonítica, por isso

é relativamente impermeável. O aterro exige apenas uma cobertura de argila, nenhuma outra camada é necessária. O volume de lixiviado do aterro é medido duas vezes por ano.

### Asfalto – Michigan

A *Resource Recovery Corporation (RRC)* responsabiliza-se por projetos de reuso de areia de fundição coletada nas fundições associadas. Através da consolidação de areia, a RRC pode proporcionar uma fonte consistente e confiável para seus usuários finais. RRC produz agregado fino para uso na fabricação de asfalto. Em 2001, RRC enviou mais de 31.000 toneladas de agregado de fundição processado para Asphalt Paving, Inc. API começou a usar o agregado em seus produtos em 1997 e usou mais de 125 mil toneladas desse material até Dezembro de 2001.

### Construção de Estacionamento – Oeste da Virginia

Desde que o Oeste da Virginia aprovou a reutilização de areia de fundição em 2000, uma fundição completou dois projetos de reutilização de 21 mil toneladas de areia, como sub-base para estacionamentos. A fundição produz 5.000 - 6.000 toneladas de areia por ano, e os projetos de estacionamento têm reutilizado todo o seu excesso armazenado de areia.

Para cada projeto, a fundição apresenta um plano de reuso para o estado que inclui a utilização, a localização e a quantidade de areia proposta para reutilização. O estado fiscaliza o local de reutilização da areia para garantir o cumprimento de todos os quesitos. Ele também tem a autoridade para controlar e monitorar o local a qualquer momento antes, durante ou após o projeto de reutilização da areia.

### **5.3.2 Reuso da Areia de Fundição na Europa e Austrália**

Na Europa a prática de reutilização de resíduos de fundição ainda é muito recente, mas é considerada como uma prioridade dentro da indústria européia no ponto de vista ambiental e econômico e que se encontra em crescente desenvolvimento, pois a preocupação do setor é de que no futuro as fundições tenham que se instalar fora da Europa, em locais onde as exigências dos órgãos ambientais sejam menores, e isto não resolve os problemas ambientais globais, pelo contrário, agrava-os ainda mais.

Nos últimos 15 anos alguns países europeus, especialmente aqueles com as áreas limitadas para instalação de aterros, aumentaram o valor dos impostos que decorrem sobre a disposição em aterros a fim de reduzir a quantidade de resíduos gerados e para incentivar a reutilização (SILVA, 2007).

Segundo Silva (2007) as práticas de reuso de resíduos de fundição na Europa nem sempre são controladas por regulamentos ou normas; e quando regidas por algum regulamento, este é baseado no tipo de reuso e nas características dos resíduos.

Assim como observado nos programas de reuso de resíduos de fundição nos Estados Unidos, na Europa a incorporação de resíduos de fundição como subproduto em outros processos depende em grande parte de acordos entre as fundições e a indústria que reutilizará os resíduos.

Em alguns países europeus, como Espanha e França, a legislação e as exigências dos órgãos ambientais para a atividade de fabricação de asfalto são menos restritivas, fazendo com que a abertura deste mercado seja mais fácil, envolvendo apenas os interesses comerciais das usinas e fundições (SILVA, 2007).

Silva (2007) realizou uma pesquisa visando fazer o levantamento da utilização do resíduo areia de fundição no mundo. O resultado dessa pesquisa em relação à Europa são apresentados resumidamente a seguir.

#### 5.3.2.1 Bélgica

As areias de fundição na Bélgica são classificadas como resíduos industriais e deveriam ser dispostas em aterros licenciados, mas em 1993 foi formado um consórcio entre as fundições da Bélgica para avaliar a qualidade das areias com base nos limites e métodos de análise química estabelecidos pelo OVAM (*Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij*). Os testes foram realizados em laboratório acreditado e de referência na região de Flandres para garantia dos resultados.

Os resultados foram muito satisfatórios, mas as areias apresentaram excesso na maioria dos compostos aromáticos e por este motivo não seria permitido um certificado para reuso. Essa

contaminação ocorria devido a problemas na segregação dos resíduos nas próprias fundições. O problema foi solucionado as análises prosseguiram.

Atualmente está permitido o uso de areias de fundição somente como subproduto ou material para construção civil incluindo fabricação de tijolos e de cimento e construção de estradas. Para estas aplicações é exigido que a fundição obtenha um certificado para reuso emitido pelo OVAM, onde devem constar as seguintes informações: origem do resíduo (etapa do processo na qual foi gerado), relatório da análise química realizado por laboratório acreditado e propriedades técnicas do resíduo para o uso pretendido. Se estas condições forem atendidas, o certificado é válido por 5 anos; caso o certificado não seja concedido, o pretendente deve refazer as análises até provar que as características do resíduo são adequadas para reuso.

Além dos estudos realizados pelo consórcio, o Instituto de Pesquisas da Construção de Estradas da Bélgica também investigou a aplicação dos resíduos de fundição em diferentes etapas da construção de estradas como material da fundação, base ou de enchimento; o que deu mais credibilidade ao reuso de areia de fundição.

#### 5.3.2.2 Finlândia

Muitos dos resíduos são potencialmente apropriados para serem usados em obras de terraplanagem. Há também uma demanda para que estes materiais sejam usados como substitutos de agregados naturais nos processos de compostagem já que quase todos os municípios da Finlândia têm uma planta de compostagem.

Os aspectos ambientais desta forma de reutilização foram estudados pelo programa de tecnologia da Ecogeo e financiado pela Agência Nacional de Tecnologia.

Neste projeto foram selecionadas duas fundições que cederiam areia para serem aplicadas na compostagem, em substituição a areia natural que habitualmente é usada na Finlândia. No procedimento experimental utilizaram-se 50 toneladas de areia de moldagem (areia verde), 50 toneladas de areia contendo resinas furânicas e 50 toneladas de areia fenólica. As areias correspondiam a 20% dos compostos usados para mistura numa leira de compostagem. Os testes foram realizados na planta de compostagem *de Hyötykapula Oy* na cidade de *Hyvinkää*.

As amostras de areia foram analisadas pelo laboratório *VTT Chemical Technology* antes de serem misturadas nas leiras de compostagem para verificação dos índices de metais pesados presentes no resíduo. Os resultados obtidos mostraram que o efeito dos metais pesados presentes na areia de fundição eram insignificantes para o produto da compostagem, bem como os compostos orgânicos, que volatilizam durante o processo devido às altas temperaturas do interior das leiras. Os procedimentos experimentais incluíam também testes em plantas especiais para avaliar a influência das areias na germinação das plantas e os resultados se mostraram normais quando comparados aos produtos da compostagem sem a areia de fundição. Os compostos que continham a areia verde tiveram desempenhos mais satisfatórios, sendo que o composto apresentou-se estabilizado, com maturidade adequada e não foram observadas substâncias tóxicas às plantas.

Este estudo estabeleceu critérios ambientais e técnicos para a utilização das areias de fundição nos processos de compostagem servindo de orientação para esta prática na Finlândia.

#### 5.3.2.3 Dinamarca

Desde 2001, a aplicação de resíduos sólidos como material de enchimento e na construção de estradas é regulamentada na Dinamarca. Os critérios dos ensaios de lixiviação são baseados nos procedimentos de avaliação de risco de contaminação da água propostos pela Agência de Proteção Ambiental Dinamarquesa.

A Dinamarca considera que a indústria de fundição já recicle uma vez que utiliza sucatas metálicas para produção das peças, e que para cada tonelada produzida seja gerada uma tonelada de resíduo. Deste total, 75% correspondem a areia proveniente dos moldes e machos e o restante refere-se aos demais resíduos do processo de fundição.

O grande volume de resíduos gerados pelas fundições e as altas taxas para disposição em aterros levou o país a comprometer-se em reciclar 80% dos resíduos de fundição até 2008 e para isto esteve investindo em pesquisas para encontrar diferentes possibilidades de reuso destes resíduos como subprodutos em outros processos de manufatura, priorizando o reuso das areias.

#### 5.3.2.4 Suécia

Na Suécia, bem como em vários outros países europeus há diversos aterros em operação ou já inativos, que necessitam receber cobertura final, mas os custos associados a esta atividade estão consideravelmente elevados, impossibilitando que muitos aterros sejam encerrados, o que pode vir a causar contaminações do solo e problemas ambientais graves.

Diversos subprodutos podem ser usados na estrutura de aterros em substituição aos materiais naturais, entre eles estão as areias de fundição e a escória granular dos fornos.

Um trabalho realizado em cooperação com a comunidade de Jönköping, com Volvo Powertrain Corporation - Divisão da Volvo, com o Instituto Geotécnico Sueco, com a Associação Suéca Och Samhällsteknik (Associação de Gerenciamento de Resíduos), com a Companhia de Água - Vatten e com a Associação Suéca de Fundição, testou a aplicação de resíduos em aterros em escala laboratorial e de campo, obtendo uma boa aceitação das areias de moldagem (areia verde) como barreira protetora e da escória granulada dos fornos, como material de drenagem.

Os resultados dos testes em laboratórios demonstraram que a areia de fundição deve conter mais de 8% de bentonita ativa para se alcançar um índice de compactação superior a 80% e um índice de umidade aproximado de 10% para se ter uma camada de cobertura eficiente.

Para assegurar as características técnicas como, impermeabilidade e durabilidade das camadas do aterro, a cobertura final deve ter duas camadas, uma que serve como barreira e uma outra de proteção final; além de camadas intermediárias, de material drenante.

As exigências para a reutilização de areias e escórias de fundição como cobertura de aterros dependem do possível risco ambiental e à saúde, eliminada esta possibilidade, e desde que atendendo às características funcionais das camadas de proteção, estes resíduos estão aprovados para serem usados nos aterros da Suécia.

#### 5.3.2.5 Alemanha

Na Alemanha aproximadamente 1,2 milhões de toneladas de areia são geradas a cada ano, as maiores fundições são responsáveis por quase a metade desta quantidade e as fundições de

médio porte, que representam a maioria, geram entre 2.000 e 10.000 toneladas de areia anualmente.

Há um total de 250 usinas de asfalto na Alemanha que individualmente produzem em média de 100 a 120.000 toneladas de mistura de asfalto. Se todas estas usinas estivessem usando areia de fundição não haveria mais problemas para a disposição deste material, mas como a legislação alemã só permite que 50% da areia usada seja misturada ao asfalto, e que somente alguns tipos de asfalto podem receber a areia de fundição; aproximadamente 3.000 a 6.000 toneladas de resíduo são consumidos por usina por ano.

O reuso de areias de fundição pode apresentar algumas desvantagens como a forma arredondada dos grãos que dificultam a sustentação da massa asfáltica; por isso os regulamentos permitem o uso de 50% de resíduo. Outra exigência da legislação alemã é que o asfalto contendo areia de fundição não seja empregado em áreas de proteção de mananciais ou do solo.

Quando a geração de resíduos de uma fundição for muito elevada, excedendo a quantidade de 100.000 toneladas, a alternativa de aplicação em asfalto resolve apenas parcialmente o problema de disposição do resíduo.

Nem todas as areias podem ser reutilizadas neste processo, pois é exigido determinado nível de qualidade que geralmente as pequenas fundições não atendem. As usinas requerem um produto que já esteja pronto para o reuso, portanto, as fundições devem observar os limites de bentonita e de resinas furânicas de suas areias para certificar-se que estão dentro dos valores estabelecidos.

Os testes e análises do material devem ser executados a cada seis meses, independente das quantidades produzidas e monitorados por um instituto do governo.

#### 5.3.2.6 França

A iniciativa de reusar as areias de fundição partiu do Ministério de Meio Ambiente da França (*Ministère de l'Environnement*) que reuniu dados e informações que serviriam de base para a formulação de regulamentos.

Foram selecionadas as categorias de resíduos que são propícios à reciclagem e entre eles estão as areias de fundição. Esse trabalho definiu como cenários para a reutilização dos resíduos de fundição a construção de estradas nas etapas de base, sub-base e material de enchimento.

Através de ensaios de lixiviação dos resíduos em laboratório, verificaram-se as concentrações máximas dos constituintes e estes valores foram comparados aos limites estabelecidos pelos padrões de qualidade do solo e da água franceses.

O Diretório de Estradas da França, apoiando o desenvolvimento sustentável através da aplicação de resíduos de fundição em substituição aos materiais naturais, também lançou um projeto de reuso, publicando um documento que traz as exigências técnicas e ambientais para promover o uso destes materiais na construção de estradas.

Atualmente a França reutiliza resíduos de fundição na fabricação de asfalto, o que depende apenas dos acordos entre as usinas de asfalto e as fundições; uma vez que a legislação francesa para esta atividade não possui muitas restrições.

#### 5.3.2.7 Austrália

Em Sidney, na Austrália, estima-se que aproximadamente 60.000 toneladas de areia de fundição são geradas na área metropolitana e enviadas para aterro. Algumas fundições maiores, que têm equipamentos de recuperação e regeneração, ainda reaproveitam parcialmente a areia para o uso nos processos internamente, mas as pequenas e médias fundições só têm a alternativa de depositar seus resíduos em aterro, pois o custo desta tecnologia é muito elevado.

Seguindo os exemplos da Europa e América do Norte que reusam os resíduos de fundição na manufatura do cimento, na mistura asfáltica, no concreto, tijolos e demais obras de construção civil e correção de solo, a Austrália começou a adotar algumas destas alternativas objetivando reduzir os impactos ambientais e também os custos com a disposição e transporte de resíduos.

Para receber aprovação de reuso, os resíduos de fundição devem ser testados de acordo com as normas ambientais do EPA Austrália (Environment Protection Agency); além de serem avaliados dentro dos padrões estabelecidos pela gerência de resíduos líquidos e sólidos, seguindo os métodos chamados Australian AS-114; classificando-os como resíduo inerte,

contínuo, industrial ou perigoso. As areias de fundição são classificadas como inerte; e portanto podem ser reutilizadas.

A URS Austrália desenvolveu um projeto visando o estudo da aplicação de resíduos de fundição como subprodutos, como utilização na produção de concreto, na adição em asfalto (nas etapas de base e sub-base), material de enchimento, condicionante de solo para agricultura, produção de cimento, fabricação de tijolos, como material de drenagem e aditivo no processo de compostagem.

Ao final dos testes, a URS Austrália emitiu um relatório onde fornecia detalhes do projeto e uma listagem de companhias que expressaram interesse em reutilizar as areias de fundição na fabricação de concreto e cimento, como aditivo para compostagem e como material de enchimento. Este relatório também apresentava as vantagens do uso de areia de fundição do ponto de vista técnico:

- A areia verde, por possuir bentonita, tem boa aceitação na agricultura quando usada como condicionante do solo, uma vez que este aditivo permite ao solo reter mais água e nutrientes.
- As areias alcalinas (resinadas) podem ser aplicadas em solos ácidos para elevar o pH.
- Algumas fundições australianas utilizam silicone misturado a areia em seus processos de moldagem e quando se reutiliza este tipo de areia com silicone na fabricação do cimento, melhoram-se as propriedades da argamassa.
- A areia de fundição apresenta óxido de alumínio e ferro que também são constituintes do cimento.
- A areia de fundição apresenta menor custo que a areia estabilizada quando utilizada como material de enchimento e a presença de bentonita aumenta a permeabilidade e dá mais sustentabilidade quando usada em trincheiras ou áreas em desmoronamento.

O QUADRO 5-2 apresenta as formas de reutilização de resíduos de fundição e a classificação adotada pela Austrália e alguns países europeus.

**QUADRO 5-2: Práticas de resúso de resíduos e fundição na Europa e Austrália**

País	Tipo de areia	Uso/Aplicação	Outros Requerimentos
Alemanha	Mistura asfáltica areias furânicas  Escória granulada	Mistura asfáltica  Material de construção civil	O asfalto contendo areia de fundição não pode ser aplicado em áreas de proteção de mananciais e solo.
Austrália	Areias moldagem areia resinadas (alcalinas)	Manufatura de cimento, concreto e tijolos Cosntrução civil, Mistura asfáltica Corretivo de solo	Para aprovação do reuso os resíduos de fundição devem atender aos limites estabelecidos pela gerência de resíduos da Agência de Proteção Ambiental da Austrália
Bélgica	Todos tipos de areia de fundição	Subproduto da construção civil, de estradas, fabricação de cimento e de tijolos	Certificado para reuso emitido pelo OVAM, com descrição, processo de geração, relatório da análise química realizado por laboratório acreditado e propriedades técnicas do resíduo para o uso pretendido
Dinamarca	Todos os tipos de areia de fundição	Material de enchimento Material base e sub-base para estradas	Os critérios dos ensaios de lixiviação são baseados nos procedimentos de avaliação de risco de contaminação da água propostos pela agência ambiental
Finlândia	Areias de moldagem	Aditivo de processos de compostagem	Devem ser realizados testes para verificação dos índices de metais pesados presentes nas areias antes de reutilizá-las
França	Todos os tipos de areias de fundição	Mistura asfáltica	As concentrações máximas dos constituintes das areias de fundição devem atender os limites estabelecidos pelos padrões franceses de qualidade da água e do solo
Suécia	Areia de fundição  Escória granulada	Cobertura final de aterros  Camadas internas de drenagem	As areia s devem conter mais de 8% de bentonita e índice de compactação superior a 80% para atender as exigências técnicas para cobertura de aterros e apresentar isenção de risco à saúde e meio ambiente.

Fonte: Adaptado de SILVA, 2007

#### **5.4 Normas e Legislações Brasileiras referentes à utilização da Areia de Fundição**

A crescente preocupação em reduzir a quantidade de resíduos encaminhados para aterros industriais tem motivado empresas e órgãos ambientais a buscar soluções que priorizem a reutilização do resíduo.

Diversos estudos têm sido conduzidos no mundo e no Brasil, mas no caso deste, a existência de legislação para regulamentar o reuso ainda é recente em alguns estados como São Paulo e Santa Catarina e inexistente nos demais estados o que dificulta o reaproveitamento do resíduo de areia de fundição no país, e a conseqüente minimização de exploração de recursos naturais.

#### 5.4.1 Estado de São Paulo

Em 2007 a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo) aprovou documento intitulado “Procedimentos para gerenciamento de areia de fundição” (Decisão de Diretoria N° 152/2007/C/E, de 08 de agosto de 2007) que contém exigências técnicas obrigatórias a serem atendidas pelas empresas geradoras do resíduo areia de fundição, assim como, pelas empresas destinatárias destes resíduos.

Tal procedimento foi elaborado considerando-se, dentre outros fatores:

- Que a reutilização criteriosa do resíduo areia de fundição pode contribuir para o aumento da vida útil dos aterros;
- Que, de acordo com referências bibliográficas internacionais, o resíduo industrial areia de fundição tem apresentado viabilidade ambiental para a sua reutilização na produção de concreto asfáltico e artefatos de cimento ou de concreto, desde que observados critérios específicos estabelecidos;
- Que o resíduo industrial areia de fundição tem sido classificado como classe II-A – não perigoso e não inerte, segundo a Norma NBR 10004/2004 - Resíduos Sólidos - Classificação, da Associação Brasileira de Normas Técnicas- ABNT;
- A grande quantidade do resíduo industrial areia de fundição gerada no Estado de São Paulo;
- A crescente demanda de empresas solicitando manifestação da CETESB sobre a possibilidade da reutilização do resíduo areia de fundição;
- A necessidade de se estabelecer critérios para a reutilização do resíduo industrial areia de fundição, na produção de concreto asfáltico e artefatos de cimento ou de concreto, evitando-se, desta forma, a sua reutilização de forma inadequada.

Dessa forma, o documento descreve procedimentos para a reutilização do resíduo areia de fundição, em concreto asfáltico e de artefatos de cimento ou de concreto.

A CETESB (2007) estabelece alguns critérios para avaliação da proposta para reutilização do resíduo areia de fundição, quais sejam:

- a) O resíduo areia de fundição deverá ser classificado como classe II-A ou II-B, de acordo com a norma NBR 10004/2004.
- b) O resíduo areia de fundição deverá apresentar concentrações de poluentes no extrato lixiviado, obtido conforme a norma NBR 10005/2004, menores ou iguais às concentrações constantes da Tabela 5-2. Caso um ou mais resultados de análises estejam acima dos valores máximos estabelecidos na Tabela 5-2 (obtidos em áreas de disposição inadequada), alternativamente, a empresa poderá apresentar uma análise estatística dos dados, por meio do cálculo da média dos resultados, com limite superior de confiança de 95%. Os resíduos poderão ser reutilizados, caso essa média atenda aos valores máximos estabelecidos na Tabela 5-2
- c) O resíduo areia de fundição deverá apresentar concentrações de poluentes no extrato lixiviado neutro, obtido conforme metodologia descrita no Anexo B da norma, menores ou iguais às concentrações máximas constantes da Tabela 5-3.
- d) O resíduo areia de fundição deverá apresentar pH na faixa entre 5,0 e 10,0, determinado conforme procedimento constante do Anexo B da norma.

**TABELA 5-2 - Concentração máxima de poluentes no lixiviado**

Parâmetros	Concentração Máxima no Extrato Lixiviado <sup>(1)</sup> (mg/L)
Arsênio	0,50
Bário	10,00
Cádmio	0,10
Cromo total	0,50
Chumbo	0,50
Mercúrio	0,02
Selenio	0,10

(1) Extrato Lixiviado obtido conforme a norma da ABNT, NBR 10005/2004.

Fonte: CETESB , 2007

**TABELA 5-3:** Concentração máxima de poluentes no lixiviado neutro

Parâmetros	Concentração Máxima no Extrato Lixiviado Neutro <sup>(2)</sup> (mg/L)
Cloreto	2500,0
Cobre	2,5
Cianeto	2,0
Fluoreto	14,0
Ferro	15,0
Manganês	0,50
Níquel	2,0
Fenóis (total)	3,0
Sódio	2500,0
Sulfato	2500,0
Sulfito (total)	5,0
Sólidos Dissolvidos Totais	5000,0
Zinco	25,0

2) Extrato Lixiviado Neutro, obtido conforme descrito no Anexo B Decisão de Diretoria Nº 152/2007/C/E da CETESB

Fonte: CETESB , 2007

A CETESB estabelece também um teste de toxicidade aguda com a bactéria luminescente *Vibrio fischeri* para que seja viável a reutilização da areia na fabricação de artefatos de cimento ou de concreto. O teste deve ser realizado de acordo com a norma técnica CETESB L5.227 e as amostras que apresentarem a média da porcentagem de inibição superior a 20% serão consideradas como tóxicas.

Além disso, são descritas outras condições básicas para viabilizar a reutilização do resíduo areia de fundição, tanto para artefatos de cimento ou concreto, quanto para a fabricação de concreto asfáltico:

- O resíduo areia de fundição não poderá ser misturado ou diluído com outros tipos de resíduos ou outros materiais para se enquadrar nas condições descritas nas Tabelas 5-2 e Tabela 5-3.

- O resíduo areia de fundição, depositado de forma inadequada, em área de propriedade da empresa ou fora de sua propriedade, não poderá ser reutilizado, caso o histórico do uso da área ou as informações constantes da investigação confirmatória realizada indicarem que houve a deposição no local de outros tipos de resíduos não inertes, especialmente resíduos perigosos.
- Para a reutilização do resíduo industrial areia de fundição, a empresa destinatária, produtora de concreto asfáltico e de artefatos de cimento ou de concreto, deverá obter as devidas licenças ambientais junto à CETESB.
- A empresa geradora do resíduo areia de fundição, para o envio deste resíduo para a fabricação de concreto asfáltico ou artefatos de cimento ou de concreto, deverá solicitar a autorização junto à CETESB, por meio de solicitação de CADRI – Certificado de Aprovação de Destinação de Resíduos Sólidos Industriais.
- A aprovação e emissão do CADRI somente será efetuada desde que sejam atendidos os critérios estabelecidos no procedimento e a empresa destinatária estiver devidamente licenciada.

#### **5.4.2 Estado de Santa Catarina**

A Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina - FATMA, elaborou a Resolução Consema (Conselho Estadual de Meio Ambiente) N°. 011, de 26 de agosto de 2008 visando estabelecer critérios para a utilização da areia descartada de fundição de materiais ferrosos na produção de concreto asfáltico e artefatos de concreto sem função estrutural.

Como justificativa para elaboração da resolução, a FATMA considerou que a utilização criteriosa da areia descartada de fundição pode contribuir para o aumento da vida útil dos aterros sanitários e industriais, bem como para a preservação de recursos naturais e que de acordo com referências bibliográficas internacionais e nacionais, a areia descartada de fundição tem apresentado viabilidade ambiental para ser utilizada na produção de concreto asfáltico e artefatos de concreto sem função estrutural, desde que observados os critérios específicos estabelecidos.

De acordo com a referida resolução, para que a areia de fundição possa ser reutilizada, deverão ser obedecidas as seguintes condições:

- Fornecer à FATMA os dados de caracterização do processo industrial, contendo indicação do processo de moldagem, matérias-primas principais (material a ser fundido e tipo de aglomerante), fluxograma com a indicação das operações unitárias e da quantidade de ADF gerada.
- Apresentar à FATMA os laudos de caracterização e de classificação da ADF, segundo a norma NBR 10004.
- Apresentar à FATMA os resultados de análises químicas do extrato lixiviado, obtido em pelo menos 3 amostras da ADF, para os parâmetros listados na Tabela 5-3 utilizando a metodologia apresentada na norma NBR 10005, para a obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos.
- Apresentar à FATMA os resultados das análises químicas do extrato aquoso, obtido em pelo menos 3 amostras de resíduo, para os parâmetros listados na Tabela 5-4, utilizando a metodologia apresentada no Anexo A da referida resolução.
- Realizar de forma adequada a segregação da ADF.
- Estabelecer plano de gerenciamento de resíduos, de acordo com o art. 19 da Lei N°. 13.557/05, dentro da própria área da indústria, para o armazenamento temporário da ADF, dimensionado estritamente com a função de dar o apoio logístico necessário para a posterior recuperação interna ou externa, utilização ou disposição final, seguindo os critérios da NBR 11174 - Armazenamento de Resíduos Classe II - Não Inertes e III – Inertes.
- Apresentar resultados de testes de toxicidade, conforme metodologia estabelecida pela Portaria FATMA N°. 17, de 18 de abril de 2002.
- Encaminhar a ADF não recuperada ou não recuperável para a destinação final adequada.
- Manter atualizado um cadastro dos destinatários da ADF.

A ADF para ser utilizada deverá apresentar os seguintes critérios:

- Ser classificada como resíduo classe II-A ou II-B, de acordo com a NBR 10004.
- Apresentar concentrações de poluentes no extrato lixiviado, obtido conforme a norma NBR 10005, menores ou iguais às concentrações constantes da Tabela 5-4.
- Apresentar concentrações de poluentes no extrato aquoso, obtido conforme metodologia descrita no Anexo A da referida resolução, menores ou iguais às concentrações máximas constantes da Tabela 5-5.
- Apresentar pH na faixa entre 5,5 e 10,0, determinado conforme procedimento constante do Anexo A da resolução.
- O extrato solubilizado, obtido conforme estabelecido na Portaria FATMA nº 17/02, não deve apresentar toxicidade.

**TABELA 5-4 : Concentração máxima de poluentes no extrato lixiviado**

<b>Parâmetros</b>	<b>Concentração Máxima Permitida no Extrato Lixiviado<sup>(1)</sup> (mg/L)</b>
Arsênio	0,50
Bário	10,00
Cádmio	0,10
Cromo total	0,50
Chumbo	0,50
Mercúrio	0,02
Selênio	0,10

(1)extrato lixiviado obtido conforme a norma da ABNT NBR 10005.

Fonte: CONSEMA, 2008

**TABELA 5-5 - Concentração máxima de poluentes no extrato aquoso**

<b>Parâmetros</b>	<b>Concentração Máxima Permitida no Extrato aquoso<sup>(2)</sup> (mg/L)</b>
Cloreto	2500,0
Cobre	2,5
Cianeto	2,0

Fluoreto	14,0
Ferro	15,0
Manganês	0,50
Níquel	2,0
Fenóis (total)	3,0
Sódio	2500,0
Sulfato	2500,0
Sulfeto (total)	5,0
Sólidos Dissolvidos Totais	5000,0
Zinco	25,0

(2) extrato aquoso obtido conforme descrito no Anexo A da Resolução Resolução Consema Nº. 011, de 26 de agosto de 2008

Fonte: CONSEMA,2008

Além dessas condições, a FATMA ainda exige o cadastramento do destinatário da ADF e o controle de transporte.

#### **5.4.3 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT**

Em 05-05-2009, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou a norma NBR 15702/2009 que estabelece as diretrizes para aplicação de areias descartadas de fundição como matéria-prima em concreto asfáltico e cobertura diária de aterro sanitário.

Segundo a referida norma, as areias de fundição devem estar enquadradas nas seguintes condições para poderem ser utilizadas:

- Serem classificadas como classe II – não perigoso, de acordo com a norma ABNT NBR 10004 e amostrada conforme a norma ABNT NBR 10007.
- Apresentar pH no intervalo entre 5,0 e 10,0 determinado no extrato aquoso, obtido conforme procedimento constante do Anexo C da referida norma.
- Atender as concentrações máximas estabelecidas nas Tabelas 5-6 e 5-7, utilizando o método de ensaio apresentado na ABNT NBR 10005, para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos e procedimento estabelecido no Anexo C , respectivamente.

- Não ter sido misturada ou diluída com quaisquer outros tipos de resíduos ou outros materiais para se enquadrar nas concentrações máximas estabelecidas na Tabelas 5-6 e 5-7.
- Os geradores, fornecedores e usuários devem obter as devidas autorizações ambientais junto aos órgãos competentes.
- Os laudos analíticos dos ensaios de cada parâmetro deverão ser apresentadas por laboratório acreditado pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial ) conforme ABNT ISO IEC 17025.

**TABELA 5-6 - Concentração máxima no extrato lixiviado**

<b>Parâmetros</b>	<b>Concentração Máxima no Extrato Lixiviado (mg/L)</b>
Arsênio	0,50
Bário	10,00
Cádmio	0,10
Cromo total	0,50
Chumbo	0,50
Mercúrio	0,02
Selênio	0,10

Fonte: ABNT - NBR 15702:2009

**TABELA 5-7 - Concentração máxima no extrato aquoso**

<b>Parâmetros</b>	<b>Concentração Máxima no Extrato aquoso (mg/L)</b>
Cloreto	2500
Cobre	2,5
Cianeto	2,0
Fluoreto	14,0
Ferro	15,0
Manganês	0,5
Níquel	2,0
Fenóis (total)	3,0
Sódio	2500
Sulfato	2500
Sulfeto (total)	5,0
Sólidos Dissolvidos Totais	5000
Zinco	25,0

## **5.5 Experiência Brasileira na Reutilização do Resíduo Areia de Fundição**

No interior de São Paulo há uma empresa que fabrica tijolos a partir da areia de fundição criada a partir da implantação em 1998 de um projeto de uma fundição, com sede em Piracicaba, que visava reutilizar a areia de fundição para produzir blocos de concreto para a construção civil.

A fundição conta com um sistema de recuperação de areia de fundição em suas próprias instalações que permite o reuso de 85% do material em seus próprios processos. A partir do momento em que as características deste insumo já não atendem ao trabalho de moldagem, a areia, depois de novamente recuperada, torna-se matéria-prima para a produção de artefatos de concreto, como blocos e pavimentos.

Atualmente, o total de resíduo gerado, cerca de 200 toneladas/mês de areia de fundição, é totalmente consumido pela fábrica de blocos. Por causa dos processos de fundição empregados, o cimento é adicionado à areia já no seu primeiro uso. Quando esta areia com cimento chega à fábrica de blocos, pode-se considerar a matéria-prima como uma areia aditivada, pois o cimento só será hidratado na fabricação dos blocos.

As vantagens ambientais se devem a uma menor utilização de cimento já que, como a areia já vem com cimento da fundição, a adição de mais cimento pela fábrica de blocos é menor. Além disso, a areia é 100% reciclada, havendo ganho por dois lados: evitando o acúmulo desse material em aterros e a retirada de areia nova para a produção de blocos. Tanto no caso do cimento quanto da areia, ainda há outro benefício: a economia na utilização desses materiais reduz o CO<sub>2</sub> que seria liberado pela produção e transporte da matéria-prima não-consumida. (RECIBLOCO, 2010)

## **5.6 O Estado de Minas Gerais**

### **5.6.1 A Indústria de Fundição**

Minas Gerais conta com 853 municípios e possui o terceiro maior parque industrial do país, atrás de São Paulo e Rio de Janeiro. Os principais tipos de indústrias que atuam no estado são

extrativa (mineração), metalúrgica, automobilística, alimentícia, têxtil, construção civil, produtos químicos e minerais não-metálicos. As regiões em que a indústria apresenta maior destaque são Central, Rio Doce (Leste), Zona da Mata, Sul e Triângulo.

Segundo a Pesquisa Industrial 2008 realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, o Estado de Minas Gerais aparece entre os principais produtores de peças e acessórios para veículos automotores; lingotes, blocos, tarugos ou placas de aços carbono e peças diversas de ferro fundido, cujas atividades estão diretamente ligadas à geração de areia de fundição.

Segundo o SIFUMG – Sindicato da Indústria de Fundição de Minas Gerais - a produção mineira de fundidos tem apresentado um crescimento significativo, passando de 560.000 t/ano em 2002 para 640.000 em 2003, 940.000 em 2004 e ultrapassando a marca de um milhão de toneladas em 2005, com precisamente 1.069.374 toneladas produzidas por 379 empresas instaladas no Estado. Os dados publicados pelo sindicato apontam que a média produzida entre os anos de 2006 e 2007 foi de 1.072.114,00 toneladas de metal fundido entre aço, alumínio, bronze, chumbo, estanho e ferro, sendo esse último responsável por 917.024,00 toneladas do total de fundidos produzidos no estado. Ressalta-se que o estado conta com a segunda maior planta de fundição do Brasil.

A gama de peças fundidas, segundo o sindicato, é variada, sendo que a de autopeças representam 56% do total, seguida por peças de saneamento básico, equipamentos agrícolas, mineração, ferroviário e utensílios domésticos. O universo das empresas é representado por 2% de grande porte, 15% de médio e 83% de pequenas e micro empresas. O arranjo produtivo local da região Centro Oeste de Minas concentra o maior número de plantas industriais de fundição, com uma representatividade de 25% de toda a produção mineira.

### **5.6.2 Areia de Fundição no Estado de Minas Gerais**

Segundo o Inventário de Resíduos Sólidos realizado no ano de 2009 (ano base 2008), em Minas Gerais, as empresas que declararam a areia de fundição como resíduo foram responsáveis pela geração de 397.817 toneladas de areia, classificadas como Classe IIA, segundo a norma 10.004/2004 da ABNT, de acordo com as informações prestadas pelas empresas. (FEAM, 2010)

O Inventário de Resíduos Sólidos aponta a areia de fundição como sendo um dos dez resíduos mais gerados em três atividades específicas: Indústria Metalúrgica – Metais Não ferrosos, Indústria de Material de Transporte e Indústria Metalúrgica - Metais ferrosos, sendo que essa última é responsável pela geração de 320.719,530 toneladas do total gerado no estado. Vale destacar que a areia de fundição é o resíduo mais gerado por essa atividade representando 81,75% da quantidade total de resíduos gerados.

Do montante gerado no estado, 396.681 toneladas estão sendo encaminhadas para aterro, ou seja, 99,71% de toda a areia de fundição gerada no estado de Minas Gerais em 2008 foi encaminhada para aterro (próprio ou de terceiros), segundo informações prestadas pelas empresas quando da declaração do inventário de resíduos sólidos. Tal dado chama atenção, já que sabe-se que a disposição em aterros deve ser a última alternativa de destinação de resíduos.

A disposição em aterros, além de demandar grandes áreas, é preocupante quanto à segurança ambiental, já que para evitar ou minimizar a possibilidade de contaminação de águas subterrâneas é necessário um rígido controle na operação dos mesmos.

A Lei nº 18.031, de 12 de janeiro de 2009 que dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos no Estado de Minas Gerais tem por objetivo, entre outros, conforme consta no artigo 8º, de “estimular a gestão de resíduos sólidos no território do Estado, de forma a incentivar, fomentar e valorizar a não-geração, a redução, a reutilização, o reaproveitamento, a reciclagem, a geração de energia, o tratamento e a disposição final adequada dos resíduos sólidos.” E para alcançar os objetivos, cabe ao poder público, segundo o artigo 9º, fomentar “a ampliação de mercado para materiais reutilizáveis, reaproveitáveis e recicláveis”.

Verifica-se o avanço no estado de Minas Gerais na intenção de fomentar a valorização do resíduo de forma que ele possa ser redirecionado a um dado processo, seja através da reutilização, reaproveitamento ou reciclagem, de forma que a disposição final seja a última alternativa.

O órgão ambiental de Minas Gerais, através da Secretaria de Meio Ambiente, já tem concedido licenças que visam o reaproveitamento de resíduos como, por exemplo, a utilização de pó de balão e lama de alto forno na fabricação de tijolos.

Além disso, há também a Deliberação Normativa Copam 115 de 2008 que dispõe sobre a aplicação agrícola do resíduo siderúrgico pó de balão, em áreas de plantio de florestas homogêneas de *Eucalyptus sp.*

Conforme consta na referida norma, as justificativas apresentadas para elaboração da mesma são:

- A necessidade de promover a disposição tecnicamente adequada do resíduo siderúrgico pó de balão, gerado no tratamento de emissões atmosféricas do alto-forno a carvão vegetal da indústria siderúrgica não-integrada e integrada.
- Comprovação científica, por meio de testes em escala de laboratório e campo, que o uso agrícola do resíduo siderúrgico pó de balão em florestas homogêneas, de forma ordenada, permite um bom desenvolvimento agrônomico da espécie *Eucalyptus sp.*, mostrando-se uma alternativa economicamente viável para disposição adequada do resíduo.
- A utilização do resíduo siderúrgico pó de balão como fonte de matéria orgânica para os solos no cultivo de *Eucalyptus sp.* pode melhorar a fertilidade, contribuir para a reposição de nutrientes e condicionamento do solo em áreas exploradas pela atividade de silvicultura.
- A aplicação de resíduos industriais no solo a partir do emprego de métodos tecnicamente adequados e controlados enquadra-se no princípio básico de reutilização de materiais com foco na sustentabilidade ambiental.
- A necessidade de prevenção da contaminação do solo visando à manutenção de sua funcionalidade e a proteção da qualidade das águas superficiais e subterrâneas.
- A necessidade de estabelecer critérios gerais para a aplicação do resíduo sólido siderúrgico denominado pó de balão em áreas de plantio de florestas homogêneas de *Eucalyptus sp.*

Dessa forma, pode-se concluir que a reutilização de resíduos deve seguir três princípios básicos:

- Ter segurança ambiental baseada em testes científicos.
- Ser tecnicamente viável.
- Contribuir para a minimização dos impactos ambientais.

Apesar do resíduo areia de fundição estar recebendo uma destinação considerada adequada, uma vez que tem sido disposto em aterro industrial, que é, a princípio, impermeabilizado, garantido a segurança ambiental, deve-se estimular a reutilização desse resíduos em usos mais nobres contribuindo para uma menor exploração de recursos naturais.

A crescente preocupação com a destinação desse resíduo tem despertado iniciativas para busca de alternativas para o reaproveitamento de areia. Rodrigues & Brito (2008) pesquisaram formas de tratamento para o resíduo de ADF e minimização de impactos ambientais, através de um estudo de caso realizado em parceria entre uma indústria de peças fundidas em alumínio e uma empresa de recuperação de areia no estado de Minas Gerais. Esse estudo de caso foi voltado para a regeneração térmica do resíduo fazendo com que este retornasse ao processo ou entrasse como matéria-prima em outros processos produtivos. Conforme afirmam os autores, a estratégia de se regenerar termicamente a ADF permite a diminuição de gastos com a gestão ambiental e dos custos na produção, já que dessa forma, aumenta-se o ciclo de vida da areia, tornando o processo mais eficiente.

O estudo mostrou que existe viabilidade econômica e ecológica em se utilizar ADF regenerada em processos onde se utiliza areia virgem extraída do meio ambiente. Do ponto de vista financeiro, foi percebida uma redução de 45,1% quando comparados os custos com destinação em aterros e com regeneração da ADF. Não obstante, com a regeneração do resíduo, os custos com a manutenção dos aterros por 20 anos após seu encerramento deixam de existir, uma vez que o passivo ambiental também deixa de existir.

## 6 CONCLUSÃO

A areia de fundição, um dos resíduos mais gerados do setor de fundição, tem sido objeto de preocupação quanto à sua destinação final no Brasil e no mundo devido aos grandes volumes gerados. Somente no estado de Minas Gerais, em 2008, foram gerados 397.817,61 toneladas de areia de fundição que, em quase sua totalidade, tem sido encaminhada para aterros industriais.

Esse fato, motivou o desenvolvimento dessa pesquisa que consiste em uma revisão bibliográfica a respeito das práticas adotadas nos Estados Unidos, Europa e Austrália no que se refere ao reaproveitamento da areia de fundição e as iniciativas brasileiras buscando a minimização dos problemas para disposição do resíduo. Buscou-se também o levantamento dos estudos acadêmicos desenvolvidos no que se refere à reutilização do resíduos de areia de fundição.

A partir dos estudos e experiências pesquisadas, pode-se concluir que a areia de fundição constitui-se em um resíduo com grande potencial de reaproveitamento principalmente nas atividades ligadas à construção civil. Essa prática já tem sido adotada internacionalmente e recentemente procedimentos foram adotados pelos estados de São Paulo e Santa Catarina. A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT também publicou em 2009 a NBR 15702/2009 que estabelece as diretrizes para aplicação de areias descartadas de fundição como matéria-prima em concreto asfáltico e cobertura diária de aterro sanitário.

O estado de Minas Gerais já tem tomado iniciativas no que se refere à reutilização de resíduos, como o pó de balão na indústria cerâmica bem como na aplicação agrícola em áreas de plantio de florestas homogêneas de *Eucalyptus sp.* No entanto, não há ainda uma norma estadual que regulamente a reutilização da areia de fundição.

Diante do exposto, considerando o grande volume de resíduo de areia de fundição gerado no estado de Minas Gerais; a necessidade pela busca de alternativas para reaproveitamento do mesmo; a minimização da exploração de recursos naturais; a já constada viabilidade de reaproveitamento principalmente na construção civil e as práticas adotadas internacionalmente e nacionalmente, recomenda-se a avaliação pelo Governo de Minas

Gerais, a elaboração de procedimentos que viabilize a reutilização da areia de fundição no estado de forma a incentivar um desenvolvimento sustentável do setor de fundição.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO – ABIFA. Guia ABIFA de Fundição Anuário 2009, São Paulo.

\_\_\_\_\_. ADF – Soluções para areias descartadas com o trabalho da ABIFA. **Revista Fundição & Matérias-primas**, 97ªed., São Paulo, maio, 2008b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15702: Areia descartada de fundição – Diretrizes para aplicação em asfalto e em aterro sanitário. Rio de Janeiro. ABNT, 8p., 2009.

\_\_\_\_\_. NBR 10.004: Classificação dos Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004(a).

ALBUQUERQUE, A. F. *Biodegradação de Compostos Fenólicos Incorporados em Areia de Moldagem Utilizando Microrganismos do Solo*. 2000. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2000.

AMERICAN FOUNDRYMEN'S SOCIETY, INC. Foundry sand beneficial reuse manual: special report. Illinois: Department of Commerce and Community Affair, 1996.

BLACKBURN, P.A.; HENRY, C.M. Desenvolvimento e Vantagens do Aglomerante Fenólico- Uretânico para Cold-Box. *Fundição e Serviço*, n. 77, p. 14-20, mai 1999.

BONET, I.I. *Valorização do Resíduo Areia de Fundição (RAF). Incorporação nas massas asfálticas do tipo C.B.U.Q.* 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

CASTRO, César A. G. A produção de areia base para fundição e o meio ambiente: Sibelco Mineração Ltda. In: CONGRESSO DE FUNDIÇÃO, 2001, São Paulo.

CHEGATTI, S.; SOARES, S. R. Valorização de resíduos de fundição – ensaios de aplicabilidade em massa asfáltica e cerâmica vermelha. Disponível em: <[http://www.solucoesadf.com.br/img\\_paginas/Artigo\\_simposio.pdf](http://www.solucoesadf.com.br/img_paginas/Artigo_simposio.pdf)>. Acesso em: 24-04-2010

CHEGATTI, S. *Aplicação de resíduos de fundição em massa asfáltica, cerâmica vermelha e fritas cerâmicas*. 2004. 122p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

COMISSÃO DO MEIO AMBIENTE DA ABIFA. **Manual de Regeneração e Reuso de Areias de Fundição**. São Paulo: ABIFA, 1999

COSTA, C; PINTO, S; VENTORINI, L.A; VIEIRA, A. Areia descartada de fundição em substituição ao agregado fino em misturas asfálticas para pavimentação .Disponível em: <[http://www.solucoesadf.com.br/img\\_paginas/Artigo\\_clauber.pdf](http://www.solucoesadf.com.br/img_paginas/Artigo_clauber.pdf)>. Acesso em 24-04-2010.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Decisão de Diretoria da CETESB N°152/2007/C/E**: procedimentos para gerenciamento de areia de fundição. São Paulo, 2007.

CONSELHO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE (Santa Catarina). Resolução n. 011, de 26 de agosto de 2008. Estabelece critérios para a utilização da Areia Descartada de Fundição de materiais ferrosos na produção de concreto asfáltico e artefatos de concreto sem função estrutural. Santa Catarina, 2008

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (Minas Gerais). Deliberação Normativa n. 115, de 23 de abril de 2008. Dispõe sobre a aplicação agrícola do resíduo siderúrgico, denominado pó de balão, em áreas de plantio de florestas homogêneas de *Eucalyptus sp.* **Minas Gerais**, Belo Horizonte, 26 abr. 2008.

COSTA, O. GIÃO, D. **Tecnologia de fundição em areia verde**. Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia. Portugal, 2001.

DANTAS, J. M. **Montagem, Comissionamento e Operação de um Sistema de Recuperação de Areia de Fundição: Regenerador Térmico** - Plano de Trabalho da Fase II. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – São Paulo. Nov. 2003.

DAYTON, E.A.; WHITACRE S.D.; DUNGAN, R. S.; Basta N.T. Characterization of physical and chemical properties of spent foundry sands pertinent to beneficial use in manufactured soils. *Plant and Soil*. v.329, n 1-2, p.27-33, 2009.

DIEHL, M. D. Planejamento da Regeneração de Areias de Fundição. *Metalurgia & Materiais*, v. 54, n. 475, p. 188-193, 1998.

DUNGAN, R.S.; DEES, N.H. The characterization of total and leachable metals in foundry molding sands. *Journal of Environmental Management*. v.90, n 1, p.539-548, 2009.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S. EPA). Summaries of States Guidelines and Regulations on Reuse of Industrial By-Products – Appendix A. Dezembro, 2002. Disponível em: <<http://www.epa.gov>>. Acesso em: 25-06-2010.

FAGUNDES, A. B. ; VAZ, C. R. ; OLIVEIRA, I. L. Caminhos para a Sustentabilidade do Setor de Fundição no Brasil. In: XII SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS, 2009, São Paulo.

FAN, S.J.Z; Zu, P. The Chemical Characteristics and Leachability of Spent Foundry Sands. *The International Journal of Environmental Studies*, v. 3, p. 1-9, 2000.

FILIPKOWSKI, L., CORRÊA, R.B., SCHNEIDER, J.H. Recuperação da Areia Utilizada em Processo de Moldagem por Cura a Frio. In: CONGRESSO NACIONAL DE FUNDIÇÃO, 10, 2001. São Paulo. *Anais do CONAF/FENAF*. São Paulo: Associação Brasileira de Fundição, 2001. p. 1-26.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM. Inventário de resíduos sólidos Industriais – Belo Horizonte, 2010.

GOMES, L. P; MORAES, C. A.M; BOFF, R. D. Emprego de areia usada de fundição em coberturas intermediária e final de aterros sanitários de RSU. In: *Tecnologia em Metalurgia e Materiais*, São Paulo, v.3, n.4, p. 71-76, abr.-jun. 2007

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE.PIA-PRODUTOS: Pesquisa Industrial 2008. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/pia/produtos/produto2008/piaputo2008.pdf>>. Acesso em : 02-07-2010.

LORÉ, V. Areias de Fundição: generalidades, classificação, técnicas de preparo, componentes. IN: Fundição. SIEGEL coord., Associação Brasileira de Metais-ABM. 10.ed., aula n.8, 1978.

MARIOTTO, C.L. Regeneração de Areias: Uma Tentativa de Discussão Sistemática. Fundição & Matérias – Primas: Caderno Técnico, p. A a T, 2000a

MAZARIEGOS, J.P. *Estudo para reutilização do resíduo sólido constituído pelas areias de fundição aglomeradas com argila, através da técnica de solidificação/estabilização em matrizes de cimento Portland, para aplicação no setor da construção civil*. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo, 2008.

McCOMBE, Conheça os Principais Sistemas de Recuperação de Areia. Fundição e Serviços, p. 18-35, fev., 1998.

MINAS GERAIS. Lei n. 18.031, de 12 de janeiro de 2009. Dispõe sobre a política estadual de resíduos sólidos. **Minas Gerais**, Belo Horizonte, 13 jan. 2009.

OLIVEIRA, J.C.D. Estudo Experimental da Regeneração Térmica de Areia de Macharia em Leito Fluidizado. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2007.

RECILOCO < <http://www.recibloco.com.br/ecologico.html>>. Aesso em 24-04-2010

RODRIGUES,A.E.B; BRITO, F.D. *Regeneração de Areia de Fundição: Estudo de caso na Indústria de Fundição em Minas Gerais*. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Minas Gerais, como requisito para graduação no curso de Engenharia de Produção, Belo Horizonte, 2008.

SCHEUNEMANN, R. *Regeneração de areia de fundição através de Tratamento Químico via Processo Fenton*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

SIDDIQUE, R.; SCHUSTTER,G;NOUMOWE.A. Effect of used-foundry sand on the mechanical properties of concrete.*Construction and Building Materials*. v.23, n 2, p.976-980, 2009.

SIFUMG: Sindicato da Indústria da Fundição no Estado de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.sifumg.com.br/>>. Acesso em: 02 de julho de 2010

SILVA, T.C. *Comparativo entre os regulamentos existentes para reutilização de resíduos de fundição*. Trabalho apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Florianópolis, 2007.

TINTAS E VERNIZES – Resina Fenólica. Disponível em:  
<http://geocities.yahoo.com.br/tintasevernizes/fenolicas.htm>. Acesso em: abril 2004.

TILCH, W.; HASSE, S. Interações entre as Areias de Macho e a Areia do Circuito. *Fundição e Serviços*, n. 53, p.30-47, maio, 1997.

WINKLER, E. S.; BOL'SHAKOV, A. A. Characterization of foundry sand waste. Massachusetts: Chelsea Center for Recycling and Economic Development, 82 p., October, 2000. (Technical Report number 8).

WRIGHT, J. R. Take a new look at sand reclamation *Foundry Management & Technology*, p. 22, March, 2001.