



## **O PROBLEMA DO DESCARTE DA AREIA DE FUNDIÇÃO: ENSINO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

**Odney Carlos Brondino** – odneybrondino@utfpr.edu.br

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina

Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais

Avenida dos Pioneiros, 3131

CEP 86036-370, Londrina, PR

**João Paulo Galdino da Silva** – jpgaldino13@gmail.com

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina

Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais

Avenida dos Pioneiros, 3131

CEP 86036-370, Londrina, PR

**Nair Cristina Margarido Brondino** – brondino@fc.unesp.br

UNESP – Faculdade de Ciências – Departamento de Matemática

Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01

CEP 17033-360 – Bauru – SP

***Resumo:** Este trabalho apresenta uma proposta metodológica utilizada na disciplina de Seleção de Materiais. A proposta apresentada aqui visa a despertar nos alunos da disciplina uma visão global do impacto ambiental e econômico causado pelo descarte de resíduos sólidos que é gerado pelas fundições no processo de fabricação. O objeto escolhido foi a areia de moldagem, uma vez que, embora o processo de fundição seja de extrema importância para a economia do país, este promove uma geração de resíduos que não é recuperável em sua totalidade. O método proposto consiste de três etapas (apresentação do processo, análise do descarte e métodos de minimização dos impactos provocados por este descarte) e é baseado na premissa de que a educação de novos engenheiros para o desenvolvimento sustentável não pode se restringir ao processamento e escolha de materiais, mas também deve levar em consideração o impacto ambiental causado por tais processos e maneiras de minimizá-lo.*

***Palavras chave:** ensino para o desenvolvimento sustentável, fundição, seleção de materiais.*

### **1. INTRODUÇÃO**

A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada no Brasil em 1992, a Rio – 92, reuniu representantes de governos, organizações internacionais e não governamentais e sociedade civil e chamou a atenção do mundo para a necessidade de uma aliança global, com vistas ao desenvolvimento de uma sociedade sustentável. Como resultado de todas as discussões realizadas nesta Conferência, foi proposto um plano de ação para enfrentar os desafios deste século, denominado Agenda 21. Através desta Agenda,



buscou-se identificar os problemas prioritários, os recursos e meios para enfrentá-los e as metas para os próximos anos (CNUMAD, 1995). Sua implantação envolve, além de fortes mudanças sociais, mudanças no padrão de consumo e dos modelos produtivos.

De acordo com Almeida (2002), a sustentabilidade abrange três dimensões, a saber: econômica (diz respeito ao setor financeiro, trata de salários e benefícios, produtividade dos trabalhadores, criação de empregos, despesas com pesquisa e desenvolvimento, despesas com terceirização e investimentos em treinamento de recursos humanos), ambiental (trata dos impactos de processos, produtos e serviços sobre o ar, a água, o solo, a biodiversidade e a saúde humana) e social (envolve segurança do trabalho e saúde do trabalhador, direitos trabalhistas, rotatividade da mão-de-obra, direitos humanos e salários e condições de trabalho nas operações terceirizadas).

A Educação figura na Agenda 21 como instrumento fundamental para a efetivação das mudanças necessárias. Segundo Silva *et. al.* (2008), o capítulo 36 - “Promoção do Ensino, da Conscientização e do Treinamento” destina-se especificamente ao assunto e trata a educação, “... como sendo fundamental para se alcançar o desenvolvimento sustentável e melhorar a capacidade das pessoas em conduzir as questões de meio ambiente e de desenvolvimento”. Com relação ao ensino em si, este mesmo capítulo propõe uma reorientação no sentido do desenvolvimento sustentável nas esferas econômica, ambiental e social.

Tanto o ensino formal como o informal são indispensáveis para modificar a atitude das pessoas, para que estas tenham capacidade de avaliar os problemas do desenvolvimento sustentável e abordá-lo. O ensino é também fundamental para conferir consciência ambiental e ética, valores e atitudes, técnicas e comportamentos em consonância com o desenvolvimento sustentável e que favoreçam a participação pública efetiva nas tomadas de decisão. (CNUMAD, 1995, p. 429-430).

Dentro deste contexto, em Dezembro de 2002, em sua 57<sup>a</sup> seção, a Assembléia Geral das Nações Unidas elegeu o período 2005-2014 como a Década Internacional da Educação para o Desenvolvimento Sustentável (DEDS). Coube à UNESCO promover essa Década, através do estabelecimento de padrões de qualidade para a educação voltada para o desenvolvimento sustentável. De acordo com o documento apresentado pela UNESCO, para promover uma Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS), é necessário que

se reexamine a política educacional no sentido de reorientar a educação desde o jardim da infância até a universidade, para que esteja (*sic*) claramente focado na aquisição de conhecimentos, competências, perspectivas e valores relacionados com a sustentabilidade. Para isso é necessário revisar os objetivos e conteúdos dos currículos para desenvolver uma compreensão interdisciplinar da sustentabilidade social, econômica, ambiental e cultural e o aprendizado permanente na vida adulta. (UNESCO, 2005, p. 57).

Ainda segundo o mesmo documento, o aprendizado voltado para o desenvolvimento sustentável deve ser parte integrante do currículo como um todo e não como tema de uma matéria separada das demais.

Dentro desta nova perspectiva, universidades de vários países têm buscado maneiras de incorporar o conceito de sustentabilidade aos currículos dos cursos de graduação. Silva *et. al.* (2005) defendem o enquadramento do ensino de engenharia em um universo em que as ciências de engenharia constituam a base para permitir evoluções e as ciências econômicas, ambientais e sociais e humanas constituam a base para permitir transformações. De acordo com Jones *et. al.* (2008), além do conteúdo curricular, a abordagem pedagógica também



determina a forma com que a Educação para o Desenvolvimento Sustentável é devidamente incorporada aos programas de graduação. Em uma pesquisa realizada na Austrália, Carell & Mitchell (2008) concluíram que em lugar de defender ferramentas específicas, conjuntos de ações ou resultados particulares como "sustentáveis", os acadêmicos podem desenvolver abordagens de ensino e aprendizagem, que considerem o papel de valores na tomada de decisão sustentável. Concluíram, ainda, que uma pedagogia que visa a desenvolver a consciência dos estudantes sobre como e porquê diferentes valores, pontos de vista e ações pode auxiliá-los a desenvolver suas capacidades no contexto profissional. O trabalho de Kumar *et. al.* (2005) fornece um panorama dos cursos de graduação em Engenharia nos Estados Unidos, em especial os da Universidade de Michigan, no quesito sustentabilidade. Eles defendem a idéia de que um engenheiro precisa aplicar os princípios de sustentabilidade no planejamento e na fabricação, além de ser capaz de avaliar e aplicar informação obtida em disciplinas que trazem um considerável nível de incertezas e ambigüidades como economia, ciência ambiental, ciência social e políticas públicas. Do ponto de vista destes autores, um engenheiro bem sucedido deve estar equipado com o conhecimento e as ferramentas necessários para gerenciar esta incerteza, com o objetivo de realizar o julgamento sobre a melhor forma de ação com base na evidência disponível. Eles concluem que para a integração bem sucedida de princípios e métodos de sustentabilidade no currículo de engenharia, as universidades precisam incorporar experiências multidisciplinares de aprendizagem com o objetivo de revelar uma ordem mais elevada do pensamento. Como conclusão, eles reforçam a importância da inclusão do conceito de sustentabilidade no currículo dos cursos de engenharia como ferramenta para enfrentar as questões desafiadoras de um futuro sustentável.

Após revisão da literatura e da aplicação de questionários a alunos de 13 cursos distintos nas áreas de Ciências e Engenharia, Mintz & Tal (2014) concluíram que a inclusão de conteúdos acerca das questões ambientais não conduz automaticamente a qualquer tipo de sensibilização por parte dos estudantes. Para eles, a promoção de resultados de aprendizagem que promovam sustentabilidade pode ser atingida tanto pela proposta de cursos que envolvam múltiplos resultados de aprendizagem quanto pela inclusão de disciplinas, que enfoquem o tema sob prismas variados. Porém, tendo em vista que a alta carga horária observada em muitos cursos inviabiliza a matrícula em várias disciplinas adicionais, é sugerido um planejamento cuidadoso das disciplinas que deverão tratar o tema não só na esfera profissional, mas também dos pontos de vista privado e cívico.

De acordo com Silva *et. al.* (2005), *"...os maiores problemas de engenharia estão associados à falta de conhecimentos dos engenheiros sobre os efeitos das ações que exercem sobre o meio ambiente..."*. Silva & Viude (2007), defendem que o engenheiro deve ter *"...formação que incentive e ative sua capacidade crítica e lhe forneça a consciência de que, seja qual for o uso social que se faça da técnica, a humanidade como um todo será afetada..."*.

No tocante à questão ambiental, para a formação do futuro engenheiro, um planejamento sustentável deve envolver a avaliação de como um produto ou processo pode causar impacto ambiental e priorizar estratégias que reduzam este impacto. A redução de resíduos, incluindo o desperdício de energia, demonstra, além de responsabilidade corporativa, um grande impacto do ponto de vista econômico (GAUGHRAN *et. al.*, 2007).

Dentro deste contexto, este trabalho apresenta uma proposta metodológica utilizada na disciplina de Seleção de Materiais do Curso de Engenharia de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR - Campus Londrina. A proposta apresentada aqui tinha por objetivo despertar nos alunos da disciplina uma visão global do impacto ambiental e



econômico causado pelo descarte de resíduos sólidos que é gerado pelas fundições no processo de fabricação. A motivação para o tema escolhido originou-se no fato de que a grande utilização de materiais metálicos em vários tipos de produtos como na indústria automotiva, meios de transportes, dispositivos e na construção civil faz com que a indústria metalúrgica seja uma grande produtora de resíduos.

A abordagem propõe a divisão dos temas a serem tratados em três etapas, sendo que a primeira (seção 2) consiste em introduzir ideias sobre processo de fundição por moldagem a areia, com ênfase na composição da areia antes e depois da realização do vazamento do metal, momento em que resíduos poluentes são formados. Nessa etapa, espera-se que os alunos identifiquem quais são os elementos químicos gerados no processo. Com o objetivo de conscientizar os alunos sobre as consequências do descarte dessa areia, a segunda etapa, apresentada na seção 3, consiste em uma discussão sobre os números e as formas de descarte da areia de moldagem. Posteriormente, a última etapa, apresentada na seção 4, consiste na apresentação de algumas soluções para minimizar os impactos desse descarte.

## **2. PROCESSO DE FUNDIÇÃO POR MOLDAGEM A AREIA**

A etapa de apresentação do processo de fundição por areia tem por objetivo fornecer o referencial teórico que vai embasar a metodologia proposta. Nesta etapa, são apresentadas as possibilidades de matérias-primas destinadas à confecção dos moldes de areia, acompanhada de discussões breves acerca de sua composição e custo.

Um dos processos mais utilizados nas indústrias metalúrgicas é o processo de fundição por moldagem em areia. Ele é caracterizado pelo uso de moldes de areia, que podem ser constituídos de areia natural e/ou sintética.

Um processo de fundição tem como objetivo a fusão de ligas metálicas e posterior vazamento sobre condições apropriadas em moldes pré-moldados com o formato final da peça. É um processo economicamente viável, em especial para peças de grandes portes e de geometria complexa, que são de difícil obtenção por outros tipos de processos de fabricação.

Confecções de modelos, moldes e machos geralmente são necessárias para obtenção da peça final. Os modelos são construídos em formato aproximado ao da peça fundida e os moldes possuem o papel de receber o vazamento do metal líquido. Os machos são utilizados em conjunto com os moldes e dão formas necessárias a algumas peças, como furos e vazios.

Porém, não é tão simples a realização dos procedimentos de fundição por moldagem em areia. Há diversos fatores que devem ser analisados para se obter um resultado satisfatório para o produto desejado.

Existem alguns tipos de areias que são utilizadas nos processos de moldagem, como a areia verde, constituída por uma mistura de sílica, água, argila e aglomerantes. Este tipo de areia a verde, em particular, é empregada em larga escala na produção de componentes automotivos e de eletrodomésticos. Outros tipos de areias são empregadas nas quais se faz a utilização de resinas sintéticas. Essas areias definem e são responsáveis pela qualidade superficial das peças.

O conhecimento sobre as características mecânicas da areia a ser utilizada é de extrema importância. Através de ensaios mecânicos, é possível a determinação da qualidade da areia e sua utilidade no processo. Grande parte de materiais perdidos ou rejeitados em processos de fundição que utilizam moldagem com areia decorre do mau controle dessa matéria prima. Um dos fatores benéficos nestes processos em que o controle da matéria é rigorosamente seguido

é a eliminação parcial da usinagem, pois são obtidos materiais finais de alta qualidade denominados de “*near net shape*” (BROSCH & RÉ, 1995).

O processo de fundição evolui de forma constante com o avanço na tecnologia e certas necessidades na fabricação de metais dependem diretamente deste método.

### **2.1. Processos de fundição e moldagem**

Existem vários processos de fundição que utilizam a areia. Cada processo possui uma aplicação específica, tanto na viabilidade econômica quanto de qualidade.

Como todo material utilizado, há meios de classificação para essa matéria-prima que, nesse caso, são os seguintes: natureza, uso, parte utilizada, molde, processo metalúrgico utilizado e tamanho. Cada parte deve ser analisada de forma rigorosa, pois qualquer ação inapropriada acaba trazendo prejuízo ao fabricante. Assim, como geralmente ocorre em indústrias, é visada a melhor relação entre custo/benefício.

As areias naturais e sintéticas possuem diferentes características, em virtude de sua obtenção. Uma vantagem de extrema importância da areia sintética é sua elevada qualidade quando comparada com a natural, ainda que seu processamento seja mais caro.

As areias de fundição são compostas por quatro partes fundamentais:

- Areia base: adicionada em maior quantidade. As mais utilizadas são as areias de sílica, muito abundantes na crosta terrestre, de fácil purificação e custo baixo. As areias de zirconita possuem preços mais elevados, porém as propriedades como expansão térmica e refratariedade são melhores. Outro tipo é areia de cromita que apresenta maior refratariedade e é inerte quimicamente, porém, é de difícil obtenção e custo elevado. O tipo de granulometria para a areia ideal irá depender do tipo de material processado, das dimensões, geometrias e peso das peças a serem produzidas.

- Aglomerantes: o objetivo de sua inclusão é a fixação da areia e melhoria de propriedades mecânicas do molde. As argilas são consideradas aglomerantes, pois dão ao material a necessária plasticidade. Dentre essas, a bentonita é a mais utilizada (PAPP, 2013). A farinha de milho gelatinizado, mais conhecida como mogul, promove alta flexibilidade de trabalho com a areia. Já a dextrina e o breu em pó proporcionam aumentos na resistência mecânica do molde.

- Aditivos: o objetivo principal de sua inclusão é sua capacidade de suprir algumas necessidades específicas e fundamentais, tais como: melhorar a colapsibilidade do molde, reduzir as aderências modelo/molde e peça/molde e evitar o escape do metal vazado.

- Água: empregada em processos a verde, confere plasticidade às argilas empregadas.

A granulometria, permeabilidade, propriedades térmicas e propriedades mecânicas da areia são de extrema importância para o sucesso do processo. Areias com granulometria grosseira refletem diretamente no acabamento superficial da peça, deixando-a com maior rugosidade. A qualidade da superfície aumenta conforme o tamanho das partículas de areia diminui. De forma equivalente, a permeabilidade refere-se à passagem de gás liberada pelo processo de fundição e solidificação do metal.

Durante o processo de moldagem em areia verde, a areia preparada com aditivos e aglomerantes é compactada sobre o modelo padrão. Após ou durante a moldagem, são feitos os canais de alimentação, que permitem a entrada e preenchimento do metal líquido na cavidade do molde produzido, anteriormente ao processo de solidificação do metal. Após o



processo de solidificação e resfriamento do metal, há a quebra do molde, processo conhecido como desmoldagem (JOAQUIM *et. al.*, 2012).

Existem processos de moldagem que empregam outros tipos de areias como a *shell*, cura a quente, e processos de cura a frio, que utilizam resinas que aglomeram os grãos de areia e ajudam na resistência mecânica do molde (KLINSKY & FABRI, 2008). Essas resinas auxiliam o processo de moldagem e estão associadas à resistência a frio/quente do molde, tempo de bancada no qual o processo pode ser feito, tempo de cura e a colapsibilidade da areia, conforme ocorre a solidificação do metal. Suas desvantagens se encontram no custo, pois necessitam de um alto investimento, apesar de fornecer um melhor acabamento quando comparado com o processo de moldagem com areia verde.

A cada processo a ser realizado, deve-se analisar qual o emprego da areia e o que terá prioridade para a indústria, com vistas a um bom acabamento final ou uma alta permeabilidade do molde. Impurezas como a hematita, ilmenita, calcita e o feldspato também podem ser encontradas na areia bruta.

Após a desmoldagem, faz-se uma análise visual da qualidade da peça produzida. Procedimentos de limpeza e extração de excesso de rebarbas são realizados na peça e seguidos de avaliações quanto à integridade da peça, através da análise das propriedades mecânicas e microestruturais da mesma. Processos de acabamento fino, como usinagem e tratamentos térmicos podem vir na sequência, com o objetivo de atender as especificações da peça.

A areia dos processos de fundição pode ser reutilizada, mas de forma limitada, pois a cada etapa concluída, impurezas agem sobre ela, o que a deixa mais contaminada e inviabiliza sua reutilização ou aproveitamento.

### 3. O DESCARTE DA AREIA DE MOLDAGEM

Esta etapa consiste na apresentação dos números relativos ao descarte da areia e é apresentada aos alunos para que eles tenham uma noção não só do impacto ambiental, mas também do impacto econômico provocado pelo despejo destes materiais. Também são apresentadas várias soluções possíveis com vistas a uni-los de ferramentas adequadas, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental.

A produção anual de fundidos no Brasil nos últimos anos atingiu uma média de três milhões de toneladas e os valores FOB desses fundidos ficou em torno de US\$2,74/kg, totalizando um giro de oito bilhões de dólares, o que demonstra que este seguimento se constitui em um grande setor da economia do Brasil (ABIFA – 2014). O gráfico apresentado na figura 1 apresenta como esta produção foi distribuída de acordo com o produto. Levando em consideração que mais de 10% deste total constituem-se em resíduos que não podem ser recuperados, temos que o descarte promovido por este setor chega a aproximadamente 300 mil toneladas.

Os resíduos sólidos são classificados de acordo com os riscos que podem causar ao meio depositado. Segundo a norma ABNT NBR 10004/2004 (ABNT, 2004), os resíduos sólidos da areia de fundição são considerados como não perigosos e não inertes e seu depósito deve ocorrer em aterros industriais. Entretanto, há muitos casos nos quais as empresas geradoras não utilizam esse meio apropriado, descartando os resíduos em locais impróprios, como lixões e aterros clandestinos, o que ocasiona graves pontos de poluição (OKIDA, 2006). Como o volume gerado por empresas que utilizam fundição por moldagem em areia é muito alto, a

formação de novos aterros industriais tem acelerado o processo de desertificação, o que atinge diretamente populações que dependem do plantio e também as áreas de preservação.

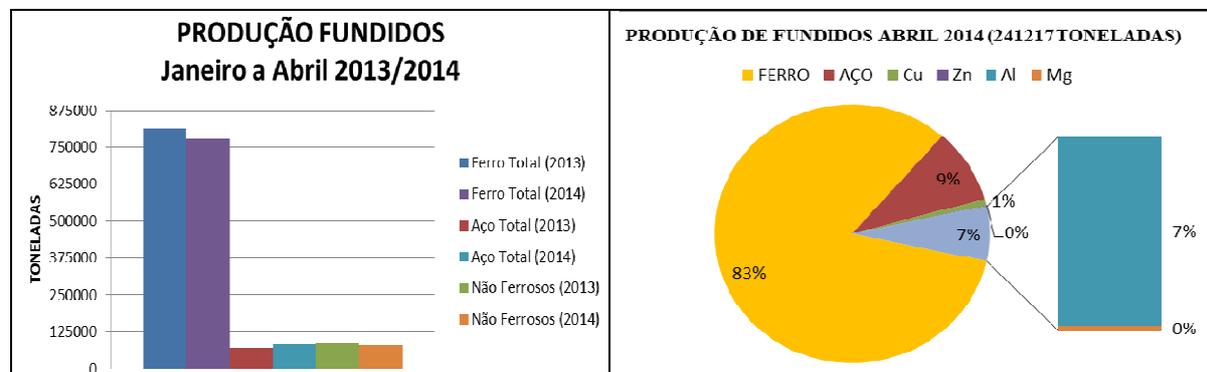


Figura 1 – Produção Brasileira de fundidos. Fonte: ABIFA (2014).

Projetos para construções de depósitos exclusivos devem também seguir as classificações IIA dos resíduos sólidos, sendo necessário o controle de reações provenientes do depósito de areia, como o elevado teor de gases gerados (ABLP, 2013) No Brasil, produtos fundidos geraram uma tonelada de resíduos a cada tonelada de metal produzida (KLINSKY & FABRI, 2008).

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS – na parte específica de parte de resíduos sólidos possui um programa de controle para os despejos de material de fundição. O sistema é separado em quatro esferas, sendo o primeiro os órgãos gestores municipais, nos quais estão presentes as indústrias, o segundo definido pelas unidades de processamento, no caso os aterros industriais para deposição dos resíduos gerados na indústria de fundição, o terceiro determinado pelo fluxo e quantidade descartada e o quarto, a realização da apresentação média dos cálculos realizados. São encontrados somente cinco aterros industriais por todo Brasil, sendo três na região sudeste e dois na região sul. Cerca de 410 mil toneladas foram recebidas em quatro destas cinco unidades de processamento, sendo a região sudeste a maior produtora de resíduos sólidos, com cerca de 99,2% da produção total (SNIS, 2011).

Na região sudeste, um dos aterros industriais é localizado em Betim/MG (BETIM INDUSTRIAL, 2014). Este aterro é operado por empresa privada, iniciou suas atividades em 2003 e recebe resíduos de outros municípios, sendo responsável por 100 mil toneladas de resíduos por ano. O município de Rio Claro/SP possui a Vala para Resíduos Industriais, sendo que a prefeitura local é a responsável pelo aterro. O início de sua operação foi em 2001 e neste mesmo ano foram recebidas 8180 toneladas de resíduos industriais. Na região sul, pode-se encontrar lugar para despejo na cidade de Machadinho/RS, que comporta a Nova Era Industria de Mineração LTDA, responsável por abrigar um lixão que não recebe resíduos de outras cidades e é responsável por cerca de 1560 toneladas de resíduo. O município de São Leopoldo/RS abriga a Funresoli – Fundação de resíduos sólidos industriais, um aterro industrial privado em funcionamento desde 1996, limitado apenas para o município, no qual foram despejadas cerca de 2076 toneladas de resíduos industriais (FUNRESOLI, 2014). Outro aterro industrial está abrigado na cidade de Curitiba.

No tocante à quantidade de resíduos gerados pelo descarte de areia pelas fundições, somente para exemplificar, consideremos a região de Ponta Grossa, onde cinco empresas são

responsáveis pela produção de fundidos e consequente geração de resíduos sólidos. A tabela 1 mostra alguns dados aproximados de produção por meio de fundição em moldagem e a quantidade de resíduos gerados na região de Ponta Grossa. (OKIDA, 2006)

**Tabela 1 – Consumo e resíduos médios mensais gerados por processos de fundição: areia verde e resinada (toneladas/mês), na região de Ponta Grossa.**

	Consumo	Resíduos
Areia verde	3039	875
Areia resinada	1407	871

Fonte: OKIDA, 2006.

Como cerca de 36% de toda a areia utilizada é reciclada, das 4446 toneladas de ambas as areias utilizadas todo mês nessa cidade, 1600 toneladas são reaproveitadas e cerca de 2846 toneladas são resíduos gerados, o que não condiz com os valores citados pelas empresas de resíduos apresentados na tabela 1. Conforme o aumento do nível de produção, há também a tendência do crescimento da geração de resíduos. No aterro industrial da cidade de Curitiba, por exemplo, o custo do despejo por tonelada é de cerca de R\$ 118,00. Logo, um montante em torno de R\$ 336000,00 seria necessário para deposição correta (OKIDA, 2006), o que se constitui em um custo muito alto para a empresa. Algumas empresas têm superado este problema com o despejo em locais impróprios. Como exemplo de descarte inadequado, pode-se mencionar aterros clandestinos que foram localizados no Rio Grande do Sul, onde os despejos de areia residual de fundição, com altos teores fenólico e de toxicidade foram depositados diretamente no solo, sem qualquer tipo de preparação, o que levou à ocorrência de contaminação do solo presente (ANDRADE, 2012).

Além do alto custo de despejo, que requer a construção de depósitos ou aterros que seguem as normas, deve-se adicionar os custos gerados para a retirada de tais resíduos da empresa e de transportes adequados. Quando somados ao prejuízo causado ao meio-ambiente, esses motivos encorajam a reutilização das areias descartadas. Entretanto, devido ao fato de que as propriedades da areia após processo de fundição não são adequadas para reutilização, deve-se executar processos para reconstituição de suas propriedades e assim, possibilitar uma nova aplicação.

#### **4. FORMAS DE REAPROVEITAMENTO PARA A AREIA DE MOLDAGEM**

Uma forma de recuperação das características ideais da areia destinada à fundição é a utilização de misturas para recomposição de propriedades. Para uma recuperação eficaz das características da areia de moldagem, recomenda-se seguir os seguintes passos:

- Adição de argila com vistas ao reaproveitamento da areia de moldagem;
- Adição de aditivos;
- Adição de areia base para compensação de perdas e equilíbrio de teores indesejáveis de aditivos degradados e limitação dos teores de argila;
- Umidificação pela adição de certa quantidade de água.

A união dos processos de desmoldagem, aglomeração de areias utilizadas e de recuperação determina os sistemas de areia, que são divididos em duas partes, a saber: areia



única, composta de um único tipo de areia do processo de desmoldagem e sistemas compostos, provenientes de misturas de areias de enchimento e faceamento (PAPP, 2013).

Algumas areias provenientes de outros processos de fundição possuem altos teores de contaminação devido à deposição de metais indesejáveis, além da perda de propriedades. Neste caso, recomenda-se a aplicação de um processo de recuperação, denominado regeneração, que depende de quatro processos:

- Desagregação de grãos grosseiros;
- Remoção de impurezas metálicas;
- Limpeza superficial granular;
- Processo de granulometria.

Alguns tratamentos são utilizados para limpeza dos grãos, como o tratamento mecânico, que consiste na agitação permanente, promovendo a colisão entre partículas ou entre partícula e equipamento. É considerado o mais eficaz e econômico, porém, como todos os tratamentos, apresenta uma desvantagem que é a formação e acúmulo de grande quantidade de poeira. Os tratamentos úmidos também utilizam técnicas mecânicas, combinados a elutriação, decantação, secagem e resfriamento. Os resíduos presentes devem possuir compostos hidrofílicos, como a bentonita ou compostos solúveis em água. Como o volume de areia é muito grande, é necessário um aparato que suporte toda a demanda. São utilizadas cerca de oito toneladas de água para uma tonelada de areia pós-fundição, que acabam por gerar alta concentração de lodos, necessitando de novos processos de retirada, além de custos provenientes da manutenção das máquinas, o que torna o processo caro.

O processo térmico, por sua vez, utiliza altas temperaturas para degradação e volatilização de compostos orgânicos misturados nas areias. Esse processo é de alta eficácia em areias *shell*, em virtude da presença de resinas carbônicas (PAPP, 2013). Porém, é muito poluente, uma vez que grandes emissões de gases não são controladas, gerando impactos ambientais. Também são necessárias a retirada de impurezas presentes, como o  $Fe_2O_3$  e o  $Na_2O_3$ , e a realização de separação magnética e não magnética, além de processos de trituração.

Além dos tratamentos mencionados anteriormente, alguns estudos têm mostrado resultados que dizem respeito ao aproveitaram da areia de fundição já processada na fabricação de concreto, com o intuito de substituir, de forma parcial, a matéria-prima do concreto natural. Essa aplicação gerou certo aproveitamento e uma maior economia, porém apenas em estruturas não muito rígidas (PARK *et. al.*, 2012). Ao se substituir cerca de 55% de areia de fundição na fabricação do concreto, é possível observar uma boa resposta quanto a forças de compressão, tração e carbonização, tornando viável esta substituição. Foram também analisados tempos de cura para minimização de diferenças entre as propriedades de concreto natural e residual, sendo observado 28 dias como tempo ideal (KHATIB *et. al.*, 2013).

Pesquisas comprovaram que a utilização de fungos específicos combinados com a areia processada de fundição em concretos, com o intuito de minimizar os materiais metálicos pesados da composição original da areia, apresentaram excelentes resultados quanto à melhoria de resistência mecânica para aplicação em construções. Esses fungos inibem a contaminação do meio ambiente devido às altas concentrações de metais como Cádmiu, Cromo, Ferro, Molibdênio, Manganês, Níquel e Chumbo. Em geral, as ações desse fungo provocam o aumento da resistência à compressão, melhoria na estrutura e na cristalinidade do



material final (KAUR *et. al.*, 2013) o que torna essa combinação, além de eficaz, bastante econômica.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia proposta neste trabalho teve como foco despertar nos alunos da disciplina Seleção de Materiais uma visão global do impacto ambiental e econômico causado pelo descarte de resíduos sólidos gerados pelas fundições no processo de fabricação. A escolha do objeto para tratar o assunto deve-se ao fato de que o processo de fundição é de extrema importância para a economia do país, porém promove uma geração de resíduos que não é recuperável em sua totalidade.

Embora processos de recuperação da areia descartada estejam disponíveis e sejam eficazes, os custos envolvidos continuam elevados e muitas vezes não atrativos. Desta forma, buscou-se apresentar alternativas ecologicamente corretas para o tratamento do problema, com vistas a minimizar os impactos, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental.

No tocante à seleção de materiais, a educação de novos engenheiros para o desenvolvimento sustentável não deve se restringir apenas ao processamento e escolha de materiais, mas deve-se levar em consideração o impacto ambiental causado por tais processos e maneiras de minimizá-lo.

Com iniciativas deste tipo no ensino de engenharia, espera-se conscientizar os futuros engenheiros sobre seu papel social e como suas atitudes podem refletir de maneira positiva ou negativa no ambiente à sua volta.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação Araucária e ao Departamento de Matemática da UNESP-Bauru pelo apoio financeiro concedido.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABLP. Pública, Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza. **Normas para descarte de resíduos sólidos**. Disponível em:

<<http://www.ablp.org.br/conteudo/conteudo.php?cod=44>>. Acesso em: 30 mai. 2014.

ABNT, NBR 10004. **Resíduos sólidos: classificação**. Disponível em: <<http://www.aslaa.com.br/legislacoes/NBR%20n%2010004-2004.pdf>>. Acesso em: 30 mai. 2014.

ALMEIDA, F. (2002). O bom negócio da sustentabilidade. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.

BETIM INDUSTRIAL, 2014. **Localização próxima, via Google Maps**. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/place/Betim+Industrial/@-19.9628515,-44.1607941,280m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0xa6c17d3a5d512f:0x394f5fa99e0b78ea>>. Acesso em: 29 maio 2014.

ANDRADE, F. **Minha casa, o fim da minha vida**. Disponível em:

<[http://jornalistaandrade.blogspot.com.br/2012\\_09\\_01\\_archive.html](http://jornalistaandrade.blogspot.com.br/2012_09_01_archive.html)>. Acesso em: 02 jun 2014.



BROSCH, C. D.; RÉ, L. V. Areias de fundição e materiais de moldagem. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, Brasil: 1995. 195p.

CARELL, A. L.; MITCHELL, C. A. (2008). Teaching sustainability as a contested concept: capitalizing on variation in engineering educators' conceptions of environmental, social and economic sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 16, p. 105-115.

CNUMAD, **Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Agenda 21, Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, Brasília, 1995, 472 p. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/agenda21.pdf>> - acesso em 02.06.2014.

FUNRESOLI. **Fundação de resíduos sólidos industriais**. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/place/Funda%C3%A7%C3%A3o+de+Res%C3%ADduos+S%C3%B3lidos+Industriais-FUNRESOLI/@-29.7344166,-51.2056056,393m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x95195d15761c06f9:0x469932a25917ca94>>. Acesso em: 28 maio 2014.

GAUGHRAN, W. F.; BURKE, S.; PHELAN, P. (2007) Intelligent manufacturing and environmental sustainability. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 23, p. 704–711.

JOAQUIM *et. al.* **Moldagem em areia verde**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABgZUAJ/processo-moldagem-fundicao-areia-verde?part=2>>. Acesso em: 28 maio 2014.

JONES, P. TRIER, C. J.; RICHARDS, J. P. (2008). Embedding Education for Sustainable Development in higher education: A case study examining common challenges and opportunities for undergraduate programmes. *International Journal of Educational Research* 47 p. 341–350.

KAUR, GURDEEP; SIDDIQUE, RAFAT; RAJOR, ANITA. Micro-structural and metal leachate analysis of concrete made with fungal treated waste foundry sand. *Construction and Building Materials* 38, 2013. Páginas 94-100.

KHATIB, J.M.; HERKI, B.A.; KENAI, S. Capillarity of concrete incorporating waste foundry sand. *Construction and building materials* 47 (2013). Páginas 867-871.

KLINSKY, LUIS M. G.; FABBRI, GLAUCO T. P. **Proposta de reaproveitamento de areia de fundição em sub-bases e bases de pavimento flexíveis, através de sua incorporação a solos lateríticos argilosos**. Disponível em: <[http://www.cbtu.gov.br/estudos/pesquisa/anpet/PDF/4\\_172\\_AC.pdf](http://www.cbtu.gov.br/estudos/pesquisa/anpet/PDF/4_172_AC.pdf)>. Acesso em: 02 jun. 2014.

KUMAR, V.; HAAPALA, K. R.; RIVERA, J. L.; HUTCHINS, M. J.; ENDRES, J. GERSHENSON, J. K.; MICHALEK, D. J.; SUTHERLAND, J. W. (2005). Infusing Sustainability Principles into Manufacturing/Mechanical Engineering Curricula. *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 24/No. 3, p. 215-225.

MINTZ, K.; TAL, T. (2014) Sustainability in higher education courses: Multiple learning outcomes. *Studies in Educational Evaluation*, 41, p. 113–123.

OKIDA, JOSÉ ROBERTO. **Estudo para minimização e reaproveitamento de resíduos sólidos de fundição**. Disponível em: <<http://www.pg.utfpr.edu.br/dirppg/ppgep/dissertacoes/arquivos/44/Dissertacao.pdf>>. Acesso em: 03 jun. 2014.

PAPP, Guilherme. **Areias de Fundição**. MACKENZIE. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAekmwAG/areias-fundicao>>. Acesso em: 30 maio 2014.



PARK, C-LYUCK; KIM, BYOUNG-GON; YU, YOUNGCHUL. The regeneration of waste foundry sand and residue stabilization using coal refuse. *Journal of Hazardous Materials* (203-204), 2012. Páginas 176-178.

SILVA, L. C.; QUELHAS, O. L. G.; FRANÇA, S. L. B. **A inclusão dos princípios do desenvolvimento sustentável no ensino da engenharia.** In: XXXVI Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia – COBENGE 2008. Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2008/artigos/3268.pdf>> - acesso em 01.06.2014.

SILVA, P. J.; ROCHA, A. J. F.; AMARAL, J. T.; DURO, M. A. S. (2005). **Modelo de Ensino de Engenharia na Visão Multidisciplinar.** In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia – COBENGE 2005. Campina Grande – PB. Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2005/artigos/SP-2-03908266858-1118373656731.pdf>> - acesso em 01.06.2014.

SILVA, P. J.; VIUDE, C. A. **A Sustentabilidade da Consciência Social na Engenharia.** In: XXXV Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia – COBENGE 2007. Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2007/artigos/105-Pedro%20Jos%C3%A9%20da%20Silva.pdf>>. – acesso em 01.06.2014.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2011.** Ministério das Cidades. Disponível em: <[http://www.cidades.gov.br/serieHistorica/manuais/rs/diagnosticos/Diagnostico\\_RS\\_2011.zip](http://www.cidades.gov.br/serieHistorica/manuais/rs/diagnosticos/Diagnostico_RS_2011.zip)>. Acesso em: 02 jun. 2014.

UNESCO. **Década da Educação das Nações Unidas para um Desenvolvimento Sustentável, 2005-2014: documento final do esquema internacional de implementação.** – Brasília: UNESCO, 2005.120p. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001399/139937por.pdf>> - acesso em 02.06.2014.

## **THE PROBLEM OF MOLDING SAND DISPOSAL: TEACHING TO A SUSTAINABLE DEVELOPMENT**

**Abstract:** *This work presents a methodological proposal to be used in Materials Selection course. The proposal presented here has as goal to promote in the students a global vision with respect the economical and environmental impacts caused by foundry residuals produced during the manufacturing process. Molding sand was the chosen material due the importance of foundry process in the Brazilian Economy. Although the foundries promote an economic development, the residuals discharged by this industry are very pollutant, once these residuals cannot be totally reutilized. The method presented here consists of three phases (presentation of process, discharge analysis and impact minimization solution possibilities) and has the premise that teaching to a sustainable development cannot be restricted to the processing and selection of material but must consider the environment impact caused by these processes and in manners of minimizing these impacts.*

**Key-words:** *teaching to a sustainable development, foundry, materials selection.*