



AVALIAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA EM UMA FUNDIÇÃO: GANHOS AMBIENTAIS E ECONÔMICOS¹

Daniel Canello Pires²

Aline Scheid³

Wagner dos Passos da Silva⁴

Daiane Calheiro⁵

Cynthia Fleming Batalha da Silveira⁶

Giovani Lorscheitter⁷

Carlos Alberto Mendes Moraes⁸

Resumo

Como os custos com tecnologias de fim de tubo e disposição de resíduos em aterros industriais têm crescido muito, a prevenção da poluição e a minimização da geração de resíduos se tornam um investimento mais atrativo. O presente trabalho tem por objetivo apresentar uma avaliação dos ganhos ambientais e econômicos obtidos com oportunidades de melhorias de Produção mais Limpa (P+L) em uma empresa de Fundição de ferro fundido nodular e cinzento. Uma adaptação da metodologia de P+L do Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL) foi utilizada para o tratamento das oportunidades. Para o levantamento dos dados, acompanhou-se o processo produtivo da fundição, onde foram coletadas, por setor, idéias que visaram melhorar o processo produtivo e o uso de matérias primas, sugeridas pelos próprios colaboradores. Neste caso, apresenta-se a mensuração dos ganhos com o bom gerenciamento de areia verde e resina fenólica/catalisador, especificamente, além de demonstrar como as sugestões trazem benefícios para o trabalho dentro da empresa e melhorias ambientais, que devem ser prioritariamente discutidas e realizadas em todas as etapas de fabricação do produto. Este programa vem trazendo resultados positivos na produção de ferro fundido, junto com relevantes ganhos econômicos e ambientais.

Palavras-chave: Fundição, Produção mais limpa; Minimização de resíduos.

EVALUATION OF THE OPPORTUNITIES FOR CLEANER PRODUCTION IN A FOUNDRY: ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC GAINS

Abstract

As the costs with end of pipe technology and waste disposal in landfills have greatly increased, pollution prevention and minimization of waste generation becomes a more attractive investment. This paper aims to present an assessment of environmental and economic gains achieved with improvement opportunities for Cleaner Production (CP) in a Foundry company, which produces ductile and gray cast iron. An adaptation of the methodology of CP's National Center for Clean Technology (CNTL) was used for the treatment of opportunities. To gather data, several technical visits were done to become familiarized with the production of cast iron. Such data were collected by sector ideas aimed at improving the production process and the better use of raw materials, suggested by employees. In this case, it is presented the measurement of earnings with the proper management of green sand and phenolic resin / catalyst specifically. In addition, It is shown how the suggestions provide benefits to the routine work within the company and environmental improvements. Such benefits should primarily be discussed and implemented in all stages of product manufacturing. This program brings positive results for the development of tools for CP in the production of cast iron, along with relevant economic and environmental gains.

Key words: Foundry, cleaner production, waste minimization.

¹ Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.

² Gestor Ambiental, Mestrando Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil/PPGEC - Núcleo de Caracterização de Materiais - NucMat, Universidade do Vale do Rio dos Sinos/Unisinos, São Leopoldo, RS. e-mail: dpires88@hotmail.com

³ Graduanda em Gestão Ambiental - NucMat, Unisinos.

⁴ Graduanda em Engenharia Mecânica - NucMat, Unisinos.

⁵ Gestora Ambiental, Mestranda PPGECI - NucMat, Unisinos. E-mail: dcalheiro@gmail.com.

⁶ Ms. Bióloga, Pesquisadora - NucMat - UNISINOS. e-mail: cynthiafbs@hotmail.com

⁷ Diretor da empresa Metalurgica Lorscheitter Ltda. e-mail: geovani@lorscheitter.com.br

⁸ Membro da ABM, Prof. Dr. - PPG's em Eng. Civil e em Mecânica - Líder NucMat, Unisinos. e-mail: cmoraes@unisinos.br



1 INTRODUÇÃO

A indústria de fundição, ao mesmo tempo em que contribui para a sociedade atendendo a demanda da reciclagem de sucata metálica, possui um alto risco de impacto ambiental por gerar uma série de resíduos potencialmente contaminantes. Dentre estes, estão a escória e as areias usadas (em especial aquelas oriundas de processo de moldagem e macharia com resinas orgânicas) de fundição, classificadas pela ABNT NBR 10.⁰⁰⁴⁽¹⁾ como resíduo Classe IIA - Não-inerte, e I - Perigoso, respectivamente.

No Brasil, o surgimento de legislações específicas, tanto federais como estaduais, refletem a crescente preocupação com a geração de resíduos, bem como o desenvolvimento de estudos e a adoção de medidas de redução de poluentes, por empresas que visam o mercado internacional. Entretanto, o setor de fundição é responsável por diferentes tipos de impactos ambientais associados com a geração de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas.⁽²⁾

Segundo Diehl,⁽³⁾ o processo de fundição é um forte consumidor de insumos (entre eles: areia, bentonita, resinas, pó de carvão, tintas, refratários, coque e sucata de ferro fundido), mas ao mesmo tempo contribui para a sociedade reciclando toda espécie de sucata metálica, transformando-a em bens de consumo e de capital. Já de acordo com Deng e Tikalsky,⁽⁴⁾ o grande problema das empresas de fundição são os seus resíduos sólidos, constituídos em sua maioria das areias usadas na confecção dos moldes e machos, escórias e poeiras.

O método de moldagem mais utilizado em todo o mundo para a produção de peças fundidas é a moldagem em areia.⁽⁵⁾ Estima-se que o índice de consumo de areia para a fabricação de uma peça fundida é em média de 0,8kg de areia para cada 1,0kg de peça fundida. As areias utilizadas para confecção dos moldes e machos podem ser extraídas de jazidas próximas ao litoral (em especial Santa Catarina e Rio Grande do Sul), sendo considerado um bem não renovável, cujo beneficiamento invariavelmente causa impactos ambientais.

Conforme Silva e Chegatti,⁽⁶⁾ na plena capacidade de produção das fundições no Brasil, são descartadas 2 milhões de toneladas/ano de areia, requerendo igual quantidade de areia nova. Em algumas fundições da serra gaúcha, estima-se que o volume de areia de fundição (ADF) descartada esteja em torno de 2.000 t/mês.⁽⁷⁾

A cinza do coque, os produtos de oxidação, refratários consumidos e todos os materiais estranhos que participam - propositalmente ou não - da fusão, contribuem para a formação da escória, resíduo referente à porção sobrenadante no banho líquido de ferro fundido.⁽⁸⁾ A mesma é composta, basicamente, por óxidos de cálcio, silício, ferro e alumínio.

Caspers⁽⁹⁾ e Siegel⁽¹⁰⁾ estimam que a geração de escória no processo de fundição chegue a 5 kg do resíduo a cada 100 kg de ferro fundido.

A geração de areia usada representa em torno de 90% dos resíduos sólidos de uma fundição de moldagem em areia. Atualmente os estudos estão centrados na minimização de sua geração e reciclagem destes resíduos. Porém, estes estudos têm sido recentes, e por outro lado, o setor de fundição gerou muito resíduo durante os últimos 50 anos dispendo irregularmente em locais como banhados, e servindo de aterramento de terrenos para construção de fábricas, inclusive zonas residenciais, entre outros.⁽¹¹⁾

Deste modo, conhecer e gerenciar seus resíduos caracteriza uma atitude que faz parte de empresas que buscam contribuir para o desenvolvimento sustentável, à



medida que estas ações têm sido eficientes em relação à redução da degradação ambiental, bem como a adequação à legislação vigente.

Como os custos com tecnologias de fim de tubo e disposição de resíduos em aterros industriais têm crescido muito, a prevenção da poluição e a minimização da geração de resíduos se tornam um investimento mais atrativo. O presente trabalho tem por objetivo apresentar uma avaliação dos ganhos ambientais e econômicos obtidos com oportunidades de melhorias de Produção mais Limpa (P+L) em uma empresa de Fundição de ferro fundido nodular e cinzento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A alternativa encontrada para minimizar os Aspectos e Impactos potenciais negativos da empresa pela geração de uma série de resíduos potencialmente contaminantes foi a implementação do Programa de Produção mais Limpa (P+L), onde a primeira fase consistiu em um diagnóstico ambiental da empresa. Com a análise do diagnóstico ambiental sentiu-se a necessidade de uma sensibilização ambiental para todos os funcionários da empresa. Após a primeira fase foi elaborado um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos e realizou-se o levantamento dos aspectos e impactos ambientais do processo produtivo.

Uma adaptação da metodologia de P+L do Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL) foi utilizada para o tratamento das oportunidades. Para o levantamento dos dados, acompanhou-se o processo produtivo da fundição, onde foram coletadas, por setor, idéias que visam à melhoria do processo produtivo e do uso de matérias primas, sugeridas pelos próprios colaboradores.

2.1 Metodologia de P+L

A metodologia adotada pelo Núcleo de Caracterização de Materiais da Unisinos (NucMat) é a apresentada na Figura 1 e foi baseada no método da UNIDO/UNEP, adotada no Brasil pelo CNTL; assim como na implementação do programa pelo núcleo em outras empresas gaúchas.⁽¹²⁾

Para que a Fase 1 fosse contemplada obedeceu-se as seguintes atividades:

- sensibilizar a gerência para garantir o sucesso do Programa P+L é fundamental.
- obter resultados consistentes que depende decisivamente do comprometimento da empresa com o P+L.
- identificar possíveis barreiras que possam impedir a implementação.
- definir a amplitude do Programa de P+L na empresa.
- elaborar fluxograma e diagrama de blocos do processo produtivo, para conhecer bem o processo, identificando todas as entradas e saídas que envolvem a produção (matéria-prima, insumos, água, energia, resíduos gerados etc.). Este levantamento de dados deve ser realizado, preferencialmente, qualitativo e quantitativamente.
- realizar um diagnóstico ambiental do processo, que é a compilação dos dados obtidos no fluxograma, diagrama de blocos. Com estes dados é possível avaliar os aspectos e impactos ambientais.
- identificar o foco de avaliação, com as informações do diagnóstico ambiental e da planilha dos principais aspectos e impactos ambientais. Estas informações são analisadas considerando os regulamentos legais,

as quantidades de resíduos gerados, a toxicidade dos resíduos e os custos envolvidos.

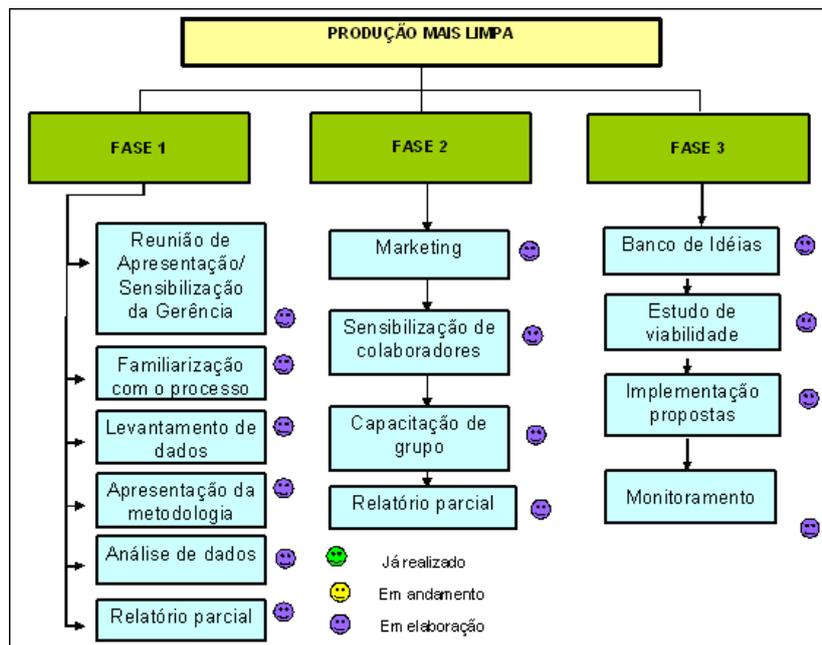


Figura 1: Passos para implementação de um programa de P+L.⁽¹²⁾

Na Fase 2 foi elaborada uma estratégia de divulgação da P+L, onde foi realizado o lançamento oficial do Programa aos funcionários, definiu-se a matriz de sensibilização e aplicação do treinamento para todos os funcionários do setor ou da empresa.

Na Fase 3 foi elaborado o balanço do material e foram estabelecidos indicadores, também foram identificadas as causas da geração de resíduos e as opções (sugestões) de P+L. Após a identificação das sugestões, estas foram analisadas ambiental e economicamente antes e depois da implementação das melhorias. Esta fase exigiu também que fosse elaborado um sistema de monitoramento constante do Programa, pois a princípio sempre se pode tornar o processo mais eficiente.

Depois de cumpridas as Fases 1 e 2, o programa de Produção mais Limpa estava implementado e se tornou necessário observar as causas da geração de resíduos identificadas pelos colaboradores (sugestões) e analisá-las econômica e ambientalmente.

No fluxograma da Figura 2 são apresentadas as ferramentas utilizadas na implantação de um Programa de Produção mais Limpa, dentro das quais estará caracterizada cada sugestão. Estas ferramentas, buscam as melhorias contínuas tendo como base a minimização da geração de resíduos nos níveis 1 e 2. Na medida em que resíduos são gerados em todas as etapas da produção industrial, estas ferramentas devem ser sempre consideradas na implantação do Programa.

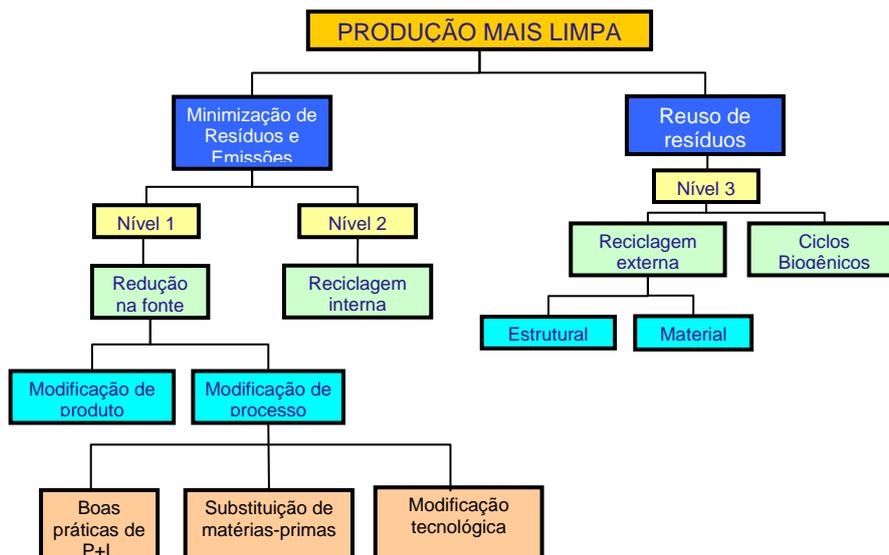


Figura 2: Fluxograma geral das ferramentas do programa de produção mais limpa.^(12,13)

Além disso, deve-se observar a possibilidade de reciclagem externa destes resíduos (nível 3) numa perspectiva de desenvolvimento de co-produtos de maior valor agregado, obedecendo premissas básicas como segregação interna, não contaminação, caracterização dos co-produtos e estabelecimento de controles e limitações para sua reciclagem. Isto porque mesmo implementando medidas que levem a eliminação de desperdícios e resíduos, nem todos são assim completamente prevenidos. Por outro lado, a presente pesquisa vem a mostrar que a implementação da P+L proporciona uma qualificação dos resíduos excedentes para assim serem transformados em co-produtos com maior valor agregado e menor risco ambiental.

Basicamente, todas as sugestões que forem propostas pelos colaboradores, utilizarão de uma dessas ferramentas.

2.1.1 Ganhos ambientais e econômicos da P+L

Para que as práticas do Programa de Produção mais Limpa, utilizadas nos processos produtivos, sejam apresentadas de forma objetiva e facilmente compreendidas, é necessário que sejam estabelecidos critérios e definidos os ganhos.

Para a contabilização dos ganhos ambientais, será apresentada a metodologia desenvolvida pela equipe do Núcleo de Caracterização de Materiais da Unisinos (NucMat) que permite avaliar a medição qualitativa e quantitativa dos impactos ambientais, descrito por Vargas et al.⁽¹⁴⁾

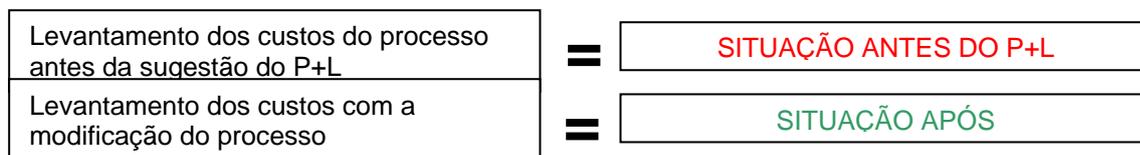
A P+L procura implantar ações que tragam ganhos ambientais enfatizando os benefícios econômicos com os resultados obtidos. Para avaliar os benefícios econômicos, a partir da contribuição de melhorias ambientais, são elaborados indicadores econômicos durante o Programa de P+L na empresa, segundo Moraes et al.⁽¹²⁾

O benefício econômico de uma sugestão é o ganho líquido obtido com uma implementação do P+L:

$$\text{BENEFÍCIO ECONÔMICO} = \text{CUSTO DA SITUAÇÃO ANTES DO P+L} - \text{CUSTO DA SITUAÇÃO APÓS O P+L}$$

O período considerado de avaliação é de 12 meses a partir da data de implantação da sugestão.

A metodologia de quantificação do Benefício Econômico abrange:



Especificamente em relação às areias quimicamente ligadas, está sendo instalado um equipamento - regenerador mecânico das areias, com capacidade de atender a demanda de produção atual da empresa, dentro de especificações de design e operacionais definidos em função dos resultados em escala laboratorial. O protótipo do módulo de regeneração mecânica está sendo construído pelo NucMat, e terá seus potenciais ganhos também contabilizados.

Já em relação à tecnologia de fusão, a empresa tem investido em equipamentos, substituindo um Forno Rotativo que utiliza Óleo BTE como matriz energética, consome uma grande quantidade de recursos naturais, gera maior quantidade de resíduos e opera com baixa eficiência, por um Forno Elétrico a Indução, onde há maior eficiência com menor custo e consumo de recursos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta etapa, apresenta-se a mensuração dos ganhos com o bom gerenciamento de areia verde e resina fenólica/catalisador especificamente, além de demonstrar como outras tecnologias e outras sugestões trazem benefícios para o trabalho dentro da empresa e melhorias ambientais, que devem ser prioritariamente discutidas e realizadas em todas as etapas de fabricação do produto. Os ganhos puderam ser levantados:

- **Com a troca da tecnologia de fusão (forno rotativo por forno a indução)**
 - menor quantidade de escória gerada, redução entorno de 95%;
 - redução das emissões atmosféricas;
 - eliminação do uso de óleo, economizando recursos naturais não renováveis;
 - substituição de aproximadamente 50% do Ferro Gusa por sucata;
 - redução de uso de gás GLP; e
 - ganho operacional, e em qualidade das ligas produzidas.
- **Com a implementação do Programa de P+ L**
 - conclusão do plano de gerenciamento de resíduos sólidos.
 - levantamento dos aspetos e impactos ambientais da empresa.
 - sensibilização ambiental dos funcionários - processo de educação ambiental.
- **Com a instalação do Regenerador**
 - projeção para a empresa minimizar em até 75% dos custos de aquisição de matérias primas (areia e aglomerantes), atualmente de R\$ 120.000,00/ano;
 - diminuição aproximada de 95% dos custos com o descarte de areia fenólica em aterro industrial, da ordem de R\$ 160.000,00/ano.
 - avaliação econômica com base nestas projeções prevê a regeneração de 1.560 t/ ano de areia quimicamente ligada e uma economia da ordem

R\$ 236.000,00/ano.

- ganho ambiental deste processo é a redução de uso de recursos naturais não renováveis e a minimização de potencial contaminação do solo e água. Além disto, existe redução de custos com descartes em aterro industrial.

3.1 Sugestões analisadas

3.1.1 Sugestão 1

Problema: Areia verde que sai do misturador e cai no chão (ao lado e atrás da esteira que a conduz para a produção). Com isso é perdido tempo para recolher a areia, matéria prima que se perde no chão e precisa ser reposta e energia para regenerar novamente essa areia.

Sugestão: Funil e placas soldadas na conexão do equipamento com a esteira para centralizar o lançamento da areia na mesma, evitando que caia no chão.

Benefícios: Diminuição da geração de resíduos, melhoria do local de trabalho, menor consumo de energia, melhor utilização de insumos e matérias-primas.

- **Análise da sugestão**

Uma breve quantificação foi realizada em Agosto/2010, chegando a uma geração anual de 219t de areia verde que nem entrou no processo e precisou ser reprocessada por ano.

Essa sugestão engloba ferramentas de Boas Práticas Operacionais e Modificação Tecnológica.

Como benefício econômico, observou-se que a sugestão não possui custo de implantação, já que a demanda de materiais e serviços presentes e abundantes na empresa (placas metálicas, borracha e solda), tendo um lucro evidente, porém de difícil mensuração.



Figura 3: Sugestão implementada.

3.1.2 Sugestão 2

Problema: O equipamento misturador de areia com resina e catalisador apresenta defeitos, gerando perdas de areia fenólica ao se retirar a mistura.

Sugestão: Realizar uma melhoria do processo de mistura, trocando o equipamento defasado por uma nova tecnologia que utiliza o sistema aglomerante fenólico/uretânico (pepset), permitindo a mistura exata de areia, resina e catalisador, minimizando as perdas.

Benefícios: Diminuição da geração de resíduos, melhoria do local de trabalho, menor consumo de energia, melhor utilização de insumos e matérias-primas (areia, resina, catalisador), qualidade na mistura e eficiência do processo.

- **Análise da sugestão**

O ligante utilizado nesta empresa era de cura a frio – fenólico. A preparação desta areia fenólica se dava em um misturador simples operado por alguns funcionários. Os principais problemas identificados neste processo foram as significativas perdas de matéria-prima e falta de precisão das medidas utilizadas. Estes problemas decorriam da produção em ritmo acelerado e principalmente da falta de instalações e materiais de trabalho apropriados, como baia para areia nova, recipientes adequados para transporte e medição das matérias-primas e boas práticas operacionais. Essa sugestão engloba ferramentas de Boas Práticas Operacionais e Modificação Tecnológica.

Na Figura 4 está ilustrado o fluxograma do processo para obtenção de areia fenólica e onde ocorrem as principais perdas de matéria-prima.

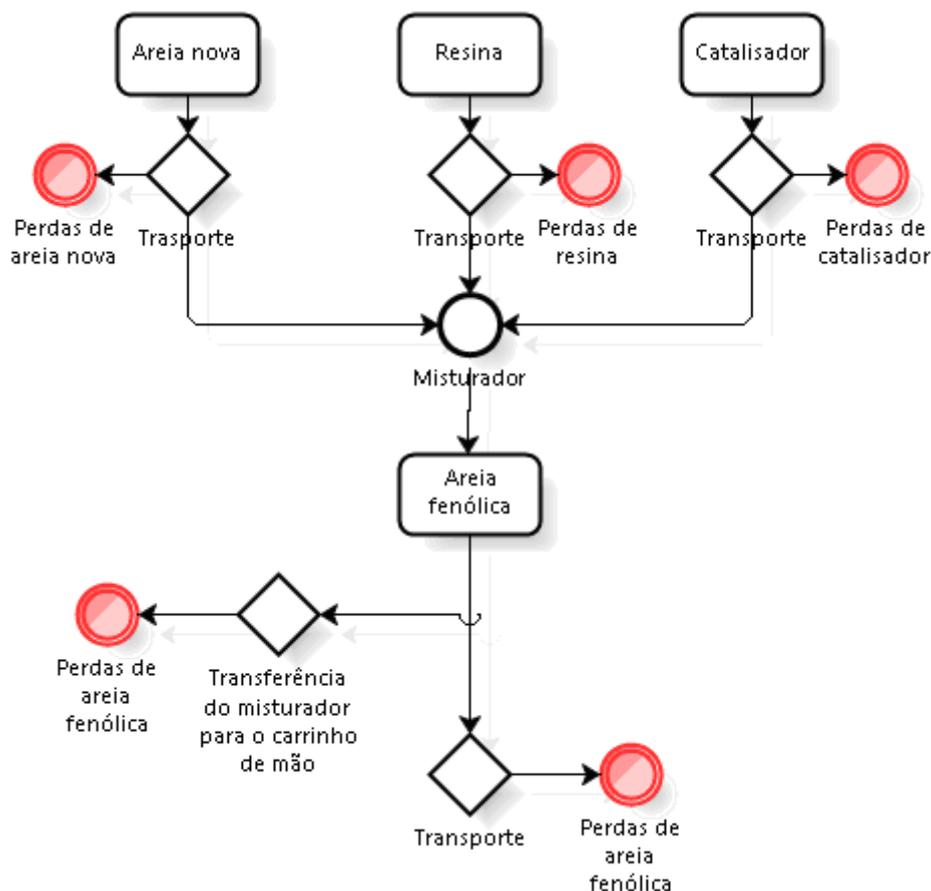


Figura 4: Processo de obtenção de areia fenólica.

Na Figura 5 é possível observar as perdas de areia fenólica, que ocorriam na saída do misturador, e de resina fenólica e catalisador.

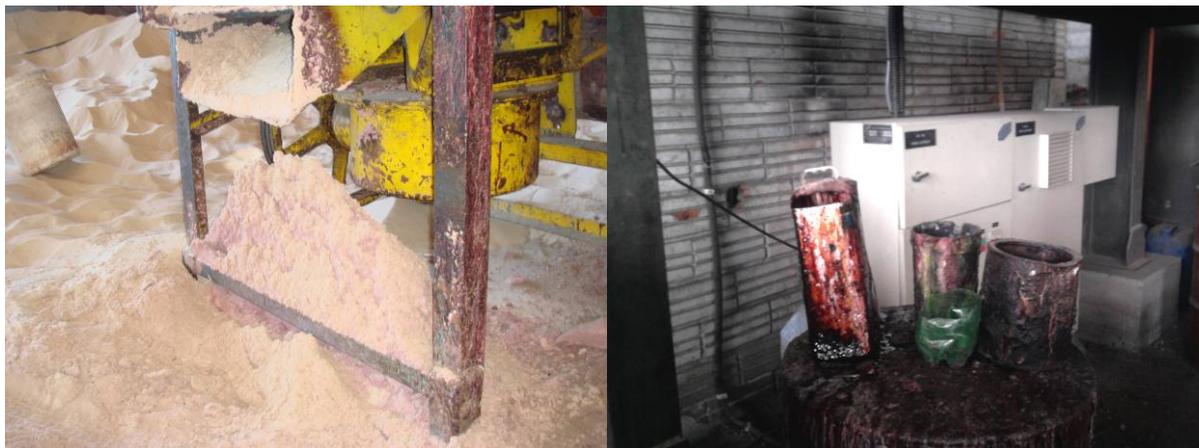


Figura 5: Perdas de areia fenólica, resina e catalisador.

- **Benefício econômico**

Uma análise das perdas foi realizada, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Estimativas de perdas de areia fenólica

Estimativas	
Produto	Média mensal (ton)
Ferro fundido	114,74
Areia necessária (An)	91,79
Areia consumida (Ac) = An + variação perda	93,27
Areia perdida (Ap) = Ac - An	1,48
Areia perdida ao ano (ton)	17,73

Foi encontrado ainda um valor de mais de 100 Kg de resina e catalisador perdidos por ano.

O cálculo da relação areia/resina foi feito sobre o percentual gerado, chegando a um valor de mais de R\$ 1.500,00 anuais de perda de areia, resina e catalisador que serão dispostos como resíduos sem ao menos ter entrado no processo.

3.1.3 Sugestão 3

Problema: Na moldagem mecânica, o operador abre o silo por onde cai a areia dentro da caixa, sendo guiada por uma caixa vazada chamada de colarinho, em forma de paralelepípedo. A areia é colocada até a borda do colarinho ficando uma camada acima da caixa de moldagem também em formato de paralelepípedo. A areia é compactada, mas quando isso ocorre parte cai para os lados e é derramada no chão, sendo necessário juntá-la com pá, retornando para o processo. Além do tempo em que o funcionário gasta para juntar a areia, há a possibilidade de prejudicar a qualidade do insumo e causar danos aos equipamentos.

Sugestão: Produzir um colarinho (Figura 6) de formato diferente, diminuindo a quantidade de areia que fica sobre a caixa, minimizando a quantidade que se perde após ser compactada.



Figura 6: Forma do colarinho projetado.

Benefícios: Diminuição da geração de resíduos, melhoria do local de trabalho, menor consumo de energia, melhor utilização de insumos e matérias-primas, menor possibilidade de danos aos equipamentos, menor retrabalho por parte dos funcionários.

- **Análise da sugestão**

Uma breve quantificação foi realizada, chegando a quantidade de 5,35kg a 7kg de areia verde que se perde por caixa com o colarinho antigo. Abaixo, a Tabela 2 apresenta uma avaliação da utilização dos dois colarinhos.

Tabela 2: Quantificação da geração de resíduo com os dois tipos de colarinho

Data	Colarinho antigo	Colarinho novo
26/10/2010	24,9 kg	11,2 kg
16/11/2010	32,5 kg	15,1 kg

Com a utilização do novo colarinho e a quantificação da mudança, chegou-se a um valor 50% menor de desperdício deste insumo. Essa sugestão engloba ferramentas de Boas Práticas Operacionais e Modificação Tecnológica.

- **Benefício econômico**

Com a implementação dessa sugestão de baixo custo, o retorno financeiro é imediato, já que se utiliza um material abundante na empresa (placas metálicas e solda) para a confecção do novo colarinho. Ainda se diminuiria os gastos com energia elétrica e insumos para recompor esse resíduo para que ele volte ao processo como um material de qualidade.

4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos pela implementação do programa de P+L, algumas oportunidades de melhoria foram avaliadas, de forma sistêmica, apoiado por ferramentas estruturadas, permitindo assim o entendimento da causa dos problemas e a identificação de alternativas para sua solução.

Esta ferramenta de Produção mais Limpa é uma prática que deve ser difundida, é preciso integrar para somar esforços e é a partir desta integração que será possível atingir o nível da produção e do consumo sustentável.

Este programa traz resultados positivos para o desenvolvimento das ferramentas de P+L na produção de ferro fundido, junto com relevantes ganhos econômicos e ambientais, que se tornam ainda mais importantes tendo em vista o potencial poluidor do setor.

Pode-se concluir que melhorias de processo, mudanças tecnológicas, redução do uso de matérias primas, como observado nas oportunidades analisadas neste trabalho, além de trazerem ganhos econômicos alcançam também ganhos



ambientais muito importantes tanto para a empresa como para a sociedade como um todo.

Agradecimentos

Os autores agradecem a empresa Metalúrgica Lorscheitter Ltda pela disponibilização de dados operacionais, assim como pelo apoio financeiro em conjunto com o CNPq ao projeto de pesquisa e pesquisadores e bolsistas de iniciação científica envolvidos.

REFERÊNCIAS

- 1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resíduos Sólidos - Classificação: NBR 10004:2004. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- 2 FATTA D, MARNERI M, PAPADOPOULOS A, SAVVIDES CH, MENTZIS A, NIKOLAIDES L, LOIZIDOU M. Industrial pollution and control measures for a foundry in Cyprus. *Journal of Cleaner Production*, 2004.
- 3 DIEHL, M. D. Planejamento da Regeneração de Areias de Fundição. 51º Congresso Anual da ABM . Porto Alegre. 1996.
- 4 DENG, A TIKALSKY PE. Metallic characterization of foundry by-products per waste streams and leaching protocols. *Journal of Environmental Engineering*. 2006.
- 5 ARMANGE, Luciana Cristina et al. Utilização de Areia de Fundição Residual para uso em Argamassa. *Revista Matéria*. Joinville, n.1, p.51-62, 2005.
- 6 SILVA, Tatiane Cristina da; CHEGATTI, Schirlene. Comparativo entre os regulamentos existentes para a reutilização de resíduos de fundição. *Revista da ABIFA – Fundição & Matérias-Primas*. Edição 90. São Paulo, 2007.
- 7 ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO RIO GRANDE DO SUL - ALRS, Comissão Especial sobre Lixo. Tratamento e Inertização das Areias de Fundição. 2007. Disponível em: <www.al.rs.gov.br/Download/ComEspLixo/Inertização_Areias_Fundição.pdf>.
- 8 PIESKE, A.; CHAVES FILHO, L. M.; REIMER, J. F. Ferros fundidos cinzentos de alta qualidade. Joinville: SOCIEDADE EDUCACIONAL TUPY, 1980.
- 9 CASPERS, K. H. Fusão de ferro fundido sintético em forno cubilô. In: *FUNDIÇÃO E SERVIÇOS*. Aranda Editora Técnica: Março, 1999.
- 10 SIEGEL, M. Fundição. São Paulo: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS, 1982.
- 11 GARCIA, A. C. A., MORAES, C. A. M., BERQUÓ, A. R. Avaliação de impacto ambiental por disposição irregular de areias de fundição – Estudo de caso. 60º Congresso Internacional da ABM – Belo Horizonte. Julho, 2005.
- 12 MORAES, C.A.M. et al. Implementação de um programa de Produção mais Limpa na Siderúrgica GERDAU. AEP: Estudo de caso aciaria. SEMINÁRIO DE ACIARIA DA ABM.39., Curitiba, 2008.
- 13 CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS. Implementação de Programas de Produção mais Limpa. Porto Alegre. CNTL, 2003. 46p.
- 14 VARGAS, Mônica; MORAES, Carlos Alberto Mendes; CALHEIRO, Daiane; ROCHA, Lisiane Kleinkauf da. Benefícios Ambientais e Econômicos da Produção mais Limpa em uma Indústria Siderúrgica através da Análise de Indicadores. In: XI Encontro Nacional e I Encontro Internacional de Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 2009, Fortaleza. Anais do ENGEMA, 2009. v. 1.