

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO  
TRABALHO

APLICAÇÃO DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA COMO FERRAMENTA PARA  
MELHORIA CONTÍNUA DO SISTEMA DE GESTÃO DE SAÚDE, SEGURANÇA E MEIO  
AMBIENTE

por

Carolina Specht Jansen

Orientador:

Prof<sup>a</sup>. Dra. Ana Cristina Curia

Porto Alegre, abril de 2013.

APLICAÇÃO DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA COMO FERRAMENTA PARA  
MELHORIA CONTÍNUA DO SISTEMA DE GESTÃO DE SAÚDE, SEGURANÇA E MEIO  
AMBIENTE

por

Carolina Specht Jansen

Monografia submetida ao Corpo Docente do Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho, do Departamento de Engenharia Mecânica, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de

Especialista

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Ana Cristina Curia

Prof. Dr. Sergio Viçosa Möller  
Coordenador do Curso de  
Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho

Porto Alegre, 08 de abril 2013.

## **AGRADECIMENTOS**

Em especial aos meus pais, Pedro e Ruth, pelo amor, carinho e incentivo, sempre estando ao meu lado torcendo pelo meu êxito.

Ao meu noivo, Jorge, pela compreensão e paciência ao longo destes dois anos de Curso e principalmente durante a realização deste trabalho.

À Professora Dra. Ana Cristina Curia pela condução da orientação do presente trabalho.

Aos colaboradores da Stihl pela contribuição para o andamento deste trabalho.

## RESUMO

Com o avanço tecnológico o conceito de desenvolvimento industrial mudou, o que tem exigido que as empresas ampliem a gestão sobre os seus negócios, não focando somente o produto, mas atentando para o meio ambiente e para seus colaboradores, proporcionando condições de trabalho em ambiente seguro e buscando alternativas de processo ambientalmente correto.

A gestão isolada dos sistemas de Gestão em Saúde, Segurança e Meio Ambiente, podem significar uma série de desvantagens para a organização nos mais variados níveis, podendo dar origem a um sistema de gestão complexo e confuso. Além destes aspectos, a manutenção isolada dos sistemas representa custo, alocação de pessoal para atender os requisitos de cada sistema.

Um sistema integrando a Gestão Saúde, Segurança e Meio Ambiente, uma vez implantado corretamente, minimiza e aperfeiçoa os processos e os componentes dos vários sistemas, criando um único sistema de gestão, centrando as atenções para um conjunto único de procedimentos, que associam as áreas de interesse.

O presente estudo teve como objetivo avaliar aplicação da produção mais limpa no processo produtivo de uma fundição como uma ferramenta para a melhoria contínua do sistema de gestão de saúde, segurança e meio ambiente (SSMA). Para alcançar este objetivo, foi feito um estudo de caso, com pesquisas bibliográficas e pesquisa de campo. Quanto aos dados para a realização do estudo, estes foram coletados por meio de arquivos, entrevistas e observação. O estudo apresentou dados relevantes ao Desenvolvimento Sustentável, à Administração de Produção e à Gestão da Produção mais Limpa (P+L), além de dados relativos à Segurança e Saúde do trabalhador. Com base nos resultados da pesquisa, pôde-se constatar que a empresa já seguia a metodologia de P+L e adotava ações que visavam minimizar o impacto ambiental. Todavia, a organização deve verificar os problemas localizados no processo fabril da Unidade e, a partir disso, encontrar as melhores soluções ambientais, de segurança no trabalho e econômicas, visando um processo mais limpo, seguro e sem perder a qualidade do produto.

## ABSTRACT

With advances in technology the concept of industrial development has changed, which has required companies to enhance the management of their business, focusing not only the product, but paying attention to the environment and to its employees, providing working conditions in a safe environment and seeking alternative environmentally friendly process.

The management of isolated systems Management in Health, Safety and Environment, can mean a number of disadvantages to the organization at various levels and can lead to a management system complex and confusing. Besides these aspects, the maintenance of isolated systems is cost, staffing to meet the requirements of each system.

A system integrating Management Health, Safety and Environment, once implemented properly, minimizes and optimizes the processes and components of the various systems, creating a single management system, focusing the spotlight on a unique set of procedures, involving areas of interest.

The present study aimed to evaluate the implementation of cleaner production in the production process of a foundry as a tool for continuous improvement of the management system for health, safety and environment (HSE). To accomplish this, we made a case study, with literature searches and field research. As for the data for the study, these were collected through files, interviews and observation. The study presented data relevant to Sustainable Development, Administration and Production Management of Cleaner Production (CP), and data on the safety and health of the worker. Based on the survey results, it was noted that the company has followed the methodology of P + L and adopted actions aimed to minimize environmental impact. However, the organization must verify the localized problems in the manufacturing process of the unit, and from there, find the best possible environmental, economic and safety at work, seeking a more clean, safe and without losing the quality of the product.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	v
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo Geral .....	3
2.2 Objetivos Específicos .....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 Processo de Fundição .....	4
3.1.1 Produção de moldes e machos .....	9
3.1.2 Areia de fundição .....	12
3.2 Resíduos gerados nas fundições .....	14
3.2.1 Excedentes de areias de fundição.....	16
3.3 Produção mais Limpa.....	16
3.4 Indicadores de desempenho de SSMA.....	24
3.5 Levantamento de Aspectos e Perigos.....	25
3.6 Programa de Prevenção de Riscos Ambientais .....	28
4 MATERIAIS E MÉTODOS .....	31
4.1 Definição da unidade de análise.....	31
4.2 O processo de fundição na empresa estudada .....	32
4.3 Técnicas de coleta e análise de dados .....	37
4.4 Limitações da pesquisa.....	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	39
5.1 Principais medidas de produção mais limpa implantadas na empresa estudada .....	39
5.2 Avaliação do resultado da aplicação das medidas de produção mais limpa implantadas na empresa estudada em relação aos indicadores de SSMA, PPRA e planilha de aspectos e perigos .....	41
5.3 Proposta de medidas de produção de mais limpa a serem implantadas na empresa estudada para melhoria contínua do SSMA .....	42
6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES .....	45
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Etapas do processo de fundição de ferro

Figura 2: Esquema da caixa de moldagem fechada com o macho em seu interior

Figura 3: Fechamento das caixas de molde

Figuras 4 e 5: Macho em areia com resina Shell

Figura 6: Evolução das empresas rumo à Produção mais limpa

Figura 7: Fluxograma da geração de opções de produção mais limpa

Figura 8: Fluxograma simplificado do processo de fundição na empresa estudada.

Figura 9: Areia Shell utilizada para fabricação dos machos

Figura 10: Sopradora

Figura 11: Compartimento de alimentação de areia na sopradora na empresa estudada

Figura 12: Macho em areia dentro da coquilha

Figura 13: Coleta do metal para vazamento no molde

Figuras 14 e 15: Cilindro contendo as peças

Figura 16: Forno de aquecimento

Figura 17: Tanque de resfriamento

Figura 18: Filtro antes do vazamento

Figura 19: Filtro após o vazamento

Figura 20: Refusão do alumínio

Figura 21: Robô que abastece as coquilhas

Figura 22: Jato de granalha

Figura 23: Óxido de alumínio

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

SSMA – Sistema de gestão de saúde, segurança e meio ambiente

PPRA – Programa de prevenção de riscos ambientais

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas

NBR – Norma brasileira

CNTL – Centro Nacional de Tecnologias Limpas

CEBDS – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável

P+L – Produção mais limpa

OIT – Organização internacional do trabalho

NR – Norma regulamentadora

ISO – Organização internacional para padronização

OHSAS – Occupational health and safety advisory services

SGI – Sistema de gestão integrado

PCMSO - Programa de controle médico e saúde ocupacional

EPI – Equipamento de proteção individual

C.A. – Certificado de aprovação

GPTW – Great place to work

QVT – Qualidade de vida no trabalho

QL – Qualidade da liderança

IHM – Interface homem máquina



## 1 INTRODUÇÃO

O aumento das exigências legais e exigências de mercado, referentes a meio ambiente e saúde e segurança no trabalho, bem como o aumento da competitividade obrigou as empresas a uma nova estruturação para conseguir atender esta realidade. As áreas de meio ambiente e de saúde e segurança passaram a ganhar mais destaque e estes temas deixaram de ser preocupação dos seus responsáveis para serem inseridos na visão estratégica das empresas (PEREIRA, 2007).

Nos dias de hoje, onde a economia é cada vez mais competitiva, pode-se verificar o constante crescimento das exigências do mercado, a necessidade de redução de custos nos processos e do aumento da qualidade de produtos e serviços, o aumento da consciência ecológica, a importância em garantir qualidade de vida das pessoas em seus postos de trabalho, entre outros elementos (VELHO, 2009).

Durante décadas o processo de degradação ambiental cresceu demais, e este avanço econômico descontrolado estava causando danos irreparáveis ao meio ambiente. A sociedade passou a exigir da indústria a adoção das melhores técnicas, não sendo suficiente somente atender a determinados padrões ambientais, isso porque a sociedade está cada vez mais tomando consciência de que a variável ambiental é importante e que ela diz respeito a todos, não somente a um segmento ou uma parcela da população.

Desta forma, devido a todas estas demandas, as empresas têm atentado para a necessidade de uma modificação em suas estratégias a fim de contemplar a satisfação de seus clientes, de aumentar a qualidade de seus processos, produtos e serviços, de proteger o meio ambiente e outros aspectos sociais, inclusive os que abrangem a saúde e a segurança de seus funcionários (VELHO, 2009).

A partir de então, buscou-se a integração de práticas socialmente responsáveis e ambientalmente corretas associadas às técnicas tradicionais de produção e de gestão do setor industrial, dado o anseio da sociedade de consumir produtos livres de desperdícios e ou agressivos ao trabalhador.

O aumento dos custos com disposição, o surgimento de legislações específicas e o baixo desempenho ambiental das tecnologias de fim de tubo têm direcionado os esforços das indústrias, que visam adequação à concorrência do mercado internacional, no desenvolvimento de soluções mais efetivas. A minimização de resíduos leva a uma mudança de paradigma, pois constituem um novo conceito de gerenciamento ambiental baseado no princípio da prevenção da geração poluentes, visando à redução ao máximo da quantidade de resíduos a ser disposta ou tratada (MACIEL *et al*, 2009).

Segundo Werner *et al* (2013), foi a partir daí que buscou-se concretizar novas tecnologias de produção, visando melhoria da qualidade ambiental, além de reduzir custos e atender as novas expectativas do consumidor. Surge então a Produção Mais Limpa, cuja metodologia propõe aplicação continuada de uma estratégia ambiental preventiva e integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência e reduzir os riscos a sociedade e ao meio ambiente, além de minimizar os desperdícios, reduzir custos, e alavancar o potencial inovador da organização, visando ganhos de competitividade e, a otimização dos processos industriais. De maneira geral, verifica-se a consolidação da metodologia de Produção Mais Limpa como um importante instrumento para aumentar a competitividade, a inovação e a responsabilidade ambiental no setor produtivo brasileiro.

A Produção mais Limpa pressupõe quatro atitudes básicas. A primeira, e a mais importante, é a busca pela não geração de resíduos, através da racionalização das técnicas de produção. Quando o primeiro conceito não pode ser aplicado integralmente, a segunda atitude proposta pela Produção Mais Limpa é a minimização da geração dos resíduos. Já o reaproveitamento dos resíduos no próprio processo de produção é a terceira atitude defendida pela Produção Mais Limpa, enquanto a quarta alternativa para a Produção mais Limpa é a reciclagem, com o aproveitamento das sobras ou do próprio produto para a geração de novos materiais (CETESB, 2007, *apud* WERNER, 2013).

O aspecto mais importante da Produção Mais Limpa é que a mesma requer não somente a melhoria tecnológica, mas a aplicação de *know-how* e a mudança de atitudes. Esses três fatores reunidos é que fazem o diferencial em relação às outras técnicas ligadas a processos de produção. A aplicação de *know-how* busca melhorar a eficiência, adotando melhores técnicas de gestão, fazendo alterações por meio de práticas de *housekeeping* ou soluções caseiras e revisando políticas e procedimentos quando necessário. Mudar atitudes significa encontrar uma nova abordagem para o relacionamento entre a indústria e o ambiente, pois repensando um processo industrial ou um produto, em termos de Produção Mais Limpa, pode ocorrer a geração de melhores resultados, sem requerer novas tecnologias. Com isso, a estratégia geral para alcançar os objetivos é de sempre mudar as condições na fonte em vez de lutar contra os sintomas (CEBDS, 2009 *apud* WERNER, 2013).

Dentro desse contexto, o setor de fundição no Brasil começa a dar passos mais firmes para reduzir os impactos negativos de sua atividade sobre o meio ambiente. É claro que os esforços nesse sentido decorrem da necessidade do cumprimento da legislação, que prevê punições severas, mas sem dúvida também estão relacionados com uma nova visão dos empresários acerca dos cuidados com o meio ambiente (MACIEL *et al*, 2009).

## **2 OBJETIVOS**

### ***2.1 Objetivo Geral***

Avaliar aplicação da produção mais limpa no processo produtivo de uma fundição como uma ferramenta para a melhoria contínua do sistema de gestão de saúde, segurança e meio ambiente (SSMA).

### ***2.2 Objetivos Específicos***

- a) Realizar o levantamento das principais medidas de produção mais limpa implantadas na empresa estudada no setor de fundição;
- b) Avaliar o resultado da aplicação das medidas de produção mais limpa implantadas na empresa estudada no setor de fundição com base nos indicadores de desempenho de SSMA, PPRA e planilha de aspectos e perigos;
- c) Propor novas medidas de produção mais limpa que podem ser implantadas para melhoria contínua do SSMA.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir será apresentada uma breve explanação do que é uma fundição, explicando as etapas do processo desde a preparação do macho, os tipos de cura e areia utilizados para a confecção dos mesmos, passando pela produção da peça até o seu acabamento, e a geração dos resíduos do processo. Todas estas etapas serão abordadas no decorrer da revisão bibliográfica.

Também serão conceituados a Produção Mais Limpa; o Sistema de Saúde, Segurança e Meio Ambiente (SSMA); Levantamento de Aspectos e Perigos e o Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA).

#### *3.1 Processo de Fundição*

A tecnologia de fundição é o princípio clássico de *Arquimedes* “*o líquido toma a forma do vaso que o contém*” (CARNIN, 2008).

O processo tecnológico de fundição depende de duas operações independentes: a fusão e homogeneização do metal e a produção do molde para obter peças com propriedades determinadas com as dimensões, forma e acabamentos definidos em projetos. A definição de fundição é a conformação do metal em estado líquido, vertendo dentro do molde, para após a solidificação obter a peça moldada (TOLEDO, 2006).

Segundo o Institute for Prospective Technological Studies (2005 apud ADEGAS, 2007), fundição é o processo industrial realizado com o objetivo de produzir peças através do vazamento de ligas líquidas de metais ferrosos e não ferrosos em cavidades de recipientes denominados moldes, nos formatos desejados, deixando-se o material solidificar por resfriamento. Dessa forma, peças simples ou complexas podem ser produzidas a partir de qualquer metal que possa ser fundido.

Existem muitas técnicas usadas em fundição de metais, sendo que a escolha do processo depende do tamanho, quantidade, complexidade da peça e qualidade superficial desejada para o produto acabado (MATOS, *et al.* 1997; MARINO, 2003 apud SCHEUNEMANN, 2005).

A fundição de uma peça pode ser resumida nas seguintes operações (Figura 1):

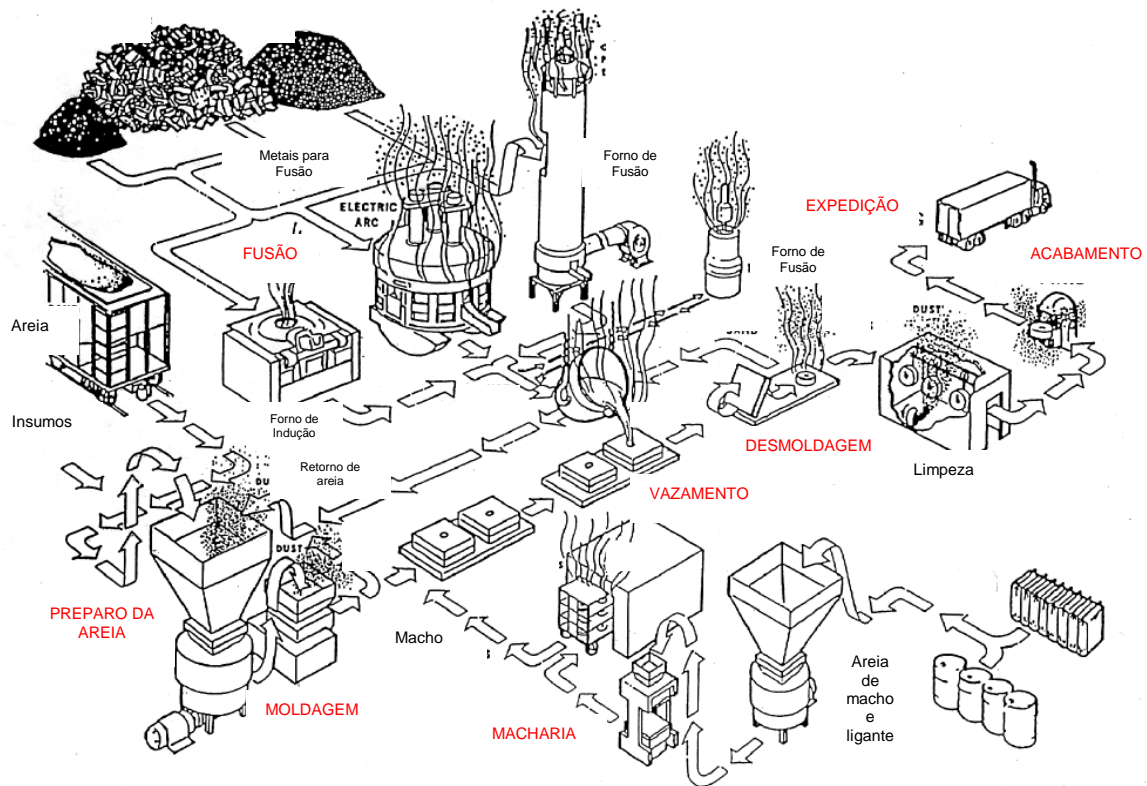


Figura 1: Etapas do processo de fundição de ferro.

Fonte: Isth Illinois (2009).

- Confeção do modelo: 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, caso contrário o molde se quebra durante a confecção do molde.
- Confeção do molde: O molde é a parte que vai determinar as dimensões externas da peça. Segundo Scheunemann (2005), a principal diferença entre os processos de fundição está na forma de como é obtido o molde.
- Confeção dos machos (macharia): O macho é usado quando a peça a ser fundida necessita de reentrâncias ou furos, nesse caso o molde já é projetado com os alojamentos dos machos, que são confeccionados em material refratário e montados dentro do molde.
- Fusão e vazamento: É na fusão que é obtido o metal na forma líquida para então ser vazado nos moldes. O vazamento da peça pode ser feito sob pressão, a vácuo,

por centrifugação ou por gravidade, sendo que por gravidade é o processo mais barato dentre eles.

- Desmoldagem: Momento em que o metal já solidificado é retirado do molde, dando origem à peça.
- Quebra de canal: Etapa final do processo de fundição, quando se dá o acabamento na peça, retirando as rebarbas indesejáveis.

Os vários processos de fundição diferem primeiramente no material dos moldes (areia, metal e outros materiais) e no modo de vazamento (gravidade, vácuo, baixa ou alta pressão). Em todos os processos o material ao se solidificar, deve ter maximizadas as suas propriedades, prevenindo simultaneamente eventuais defeitos. Defeitos estes como, macro e micro fissuras, porosidade e inclusões.

São utilizados os seguintes processos:

- Fundição em areia;
- Moldagem em casca (*Shell molding*);
- Fundição em moldes metálicos (por gravidade ou sobre pressão);
- Fundição centrífuga;
- Fundição de precisão (cera perdida, moldes cerâmicos) (GIÃO; COSTA, 2006 apud ADEGAS 2007).

Segundo Casotti *et al* (2011), no processo de fundição em molde permanente, os moldes metálicos (também denominados coquilhas) são feitos, geralmente, em aço ou ferro fundido e são usados cerca de 100 mil vezes ao longo de sua vida útil. Como o custo do molde é elevado, o processo é mais adequado para a produção em escalas elevadas.

A fundição em moldes metálicos está restrita a fundidos de metais cuja temperatura de fusão seja mais baixa do que a do aço ou ferro fundido.

Costuma ser usada para a produção de peças em ligas de chumbo, zinco, alumínio, magnésio e bronze. Em geral, as peças obtidas por esse processo são pequenas e de formatos simples e requerem mais uniformidade, melhor acabamento e maior resistência mecânica que as permitidas pelo processo com molde de areia. Bielas, pistões e coletores de admissão costumam ser fabricados por esse processo.

As etapas que constituem o processo de fundição por gravidade são as seguintes:

#### **a) Confeção do modelo**

No processo com molde permanente não é necessário modelo, pois o molde já é confeccionado com a forma negativa do componente a ser produzido.

### b) Confeção do macho

Algumas peças a serem fundidas podem apresentar alguma cavidade ou reentrância. Para que se produzam as superfícies internas em certas peças fundidas, são colocados no interior dos moldes, machos feitos de uma mistura compatível com o metal a ser vazado e com o tamanho da peça a ser fundida, conforme mostra a Figura 2. Após o vazamento e o resfriamento do metal, o macho é removido do interior da peça, deixando a forma interna desejada (KONDIC, 1973 apud CARNIN, 2008).

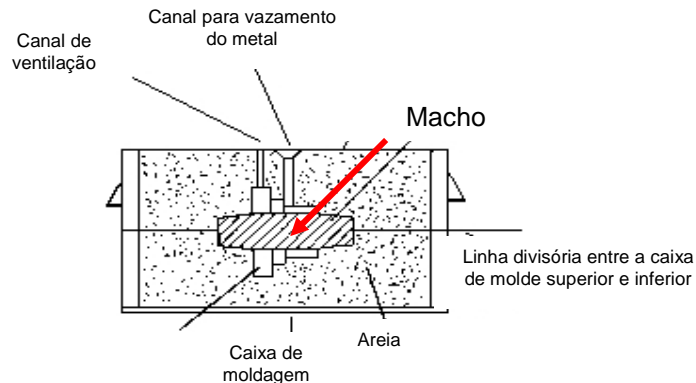


Figura 2: Esquema da caixa de moldagem fechada com o macho em seu interior.  
Fonte: Prosna (2009).

### c) Preparação do molde

O molde tem por função oferecer o formato externo da peça no qual será vazado o metal líquido. O molde é confeccionado em duas partes (CAMPOS FILHO, 1978 apud CARNIN, 2008) conforme mostra a Figura 3.

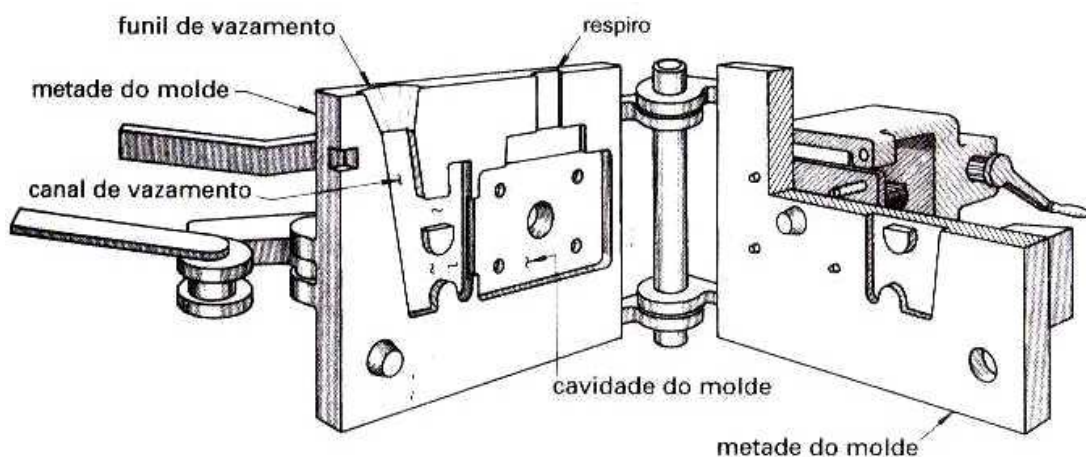


Figura 3: Fechamento das caixas de molde.  
Fonte: Auras *et al* (2007)

Os moldes metálicos possuem vida útil permite a fundição muitas peças. Comparado às peças produzidas em moldes de areia, apresentam maior uniformidade, melhor acabamento

superficial, tolerâncias menores e melhores propriedades mecânicas. Por outro lado, as peças devem ser de tamanho pequeno, produzidas em grande quantidade, e devem possuir formatos simples.

Segundo Auras *et al* (2007) os moldes possuem duas ou mais partes unidas por grampos, os quais são fechados manualmente ou automaticamente. Após o fechamento, ocorre o vazamento por gravidade. Depois da solidificação da peça, o molde é aberto e a peça é ejetada por pinos de acionamento hidráulico (quando o processo não é manual).

Ao se prepararem os moldes, quando necessário é colocado o macho em seu interior (dependendo do tipo de peça) e posteriormente ocorre o fechamento do molde, deixando somente um furo de alimentação para o vazamento do metal líquido.

#### **e) Fusão**

Nesta etapa se obtém o estado líquido do metal com a utilização de fornos de fusão. A alimentação do metal líquido no molde é feita através de um sistema de canais existentes no mesmo. Esses canais de alimentação são abertos para permitir que o metal escorra para a cavidade do molde (CARNIN, 2008).

As fundições utilizam material de composição conhecida e sucatas selecionadas, juntamente com materiais gerados internamente durante o processo industrial, como matéria prima para obtenção de produtos fundidos, os quais posteriormente sofrerão tratamento e voltam para produção do produto final.

#### **f) Vazamento**

É a etapa onde o metal em estado líquido é inserido no molde a uma temperatura adequada e com vazão controlada (SCHEUNEMANN, 2005).

#### **g) Desmoldagem**

Após o vazamento, é necessário aguardar a solidificação do metal para só então fazer a desmoldagem.

#### **h) Acabamento**

Depois de desmoldadas, as peças são retiradas da árvore ou esqueleto por corte em uma serra. Tal procedimento é denominado quebra de canal. Segundo Chegatti (2004 apud CARNIN, 2008) a quebra de canais consiste em colocar a peça em local adequado para então quebrar os canais que não fazem parte da peça e que são classificados como sucata.

Após a etapa de quebra de canal, Dantas e Marino (2003 apud SCHEUNEMANN, 2005) afirmam que as peças uma a uma passam pelo rebolo (disco de pedra) ou esmeril para eliminar as rebarbas, e depois são levadas à uma câmara de jateamento com granalha (pequenas esferas de aço) para melhorar o acabamento externo.



A peça estando pronta é pintada ou banhada no óleo para evitar a corrosão. Algumas peças não precisam ser usinadas, porém outras passam pela usinagem para um melhor acabamento e para fazer alguns detalhes não possíveis no molde.

### **3.1.1 Produção de moldes e machos**

A produção de moldes e machos envolve a mistura de areias com vários insumos como bentonita, pó de carvão, amido e água. Alguns tipos de moldes e machos necessitam da adição de ligantes químicos para atender as necessidades de fabricação de determinadas peças.

A moldagem consiste em fazer um molde no qual o metal líquido possa ser vazado. Os moldes podem ser classificados em duas grandes famílias (ADEGAS, 2007):

- Moldes perdidos (uso único): feitos somente para um vazamento e destruídos após o mesmo. Geralmente feitos de areia, podendo ser adicionados ligantes químicos ou argila;
- Moldes permanentes (usos múltiplos): geralmente metálicos, usados principalmente em fundições por gravidade e baixa pressão, fundições centrífugas e sob pressão.

Os moldes confeccionados em areias são resultantes da compactação da mistura de areia e ligantes sobre o modelo, formando uma cavidade que, acrescida do sistema de alimentação e colocação de machos quando necessário, dá origem à peça depois do vazamento do metal líquido. Este tipo de molde é caracterizado como molde perdido por não permitir sua reutilização.

Os moldes devem possuir propriedades especiais para produzir fundidos de alta qualidade, tais como:

- Reproduzir com exatidão e alta precisão dimensional a forma do modelo fundido;
- Proporcionar uma superfície polida ao fundido de forma a evitar rebarbas excessivas;
- Evitar quaisquer defeitos de fundição como trincas e pequenos furos.

As matérias primas utilizadas na fabricação de moldes e machos podem ser classificadas em:

- Materiais refratários (areia);
- Ligantes e outros reagentes químicos (aditivos).

Para qualquer ligante que se utilize, as propriedades químicas e físicas do material refratário são responsáveis pelas características e comportamento dos moldes ou machos durante

o vazamento do metal (INSTITUTE FOR PROSPECTIVE TECHNOLOGICAL STUDIES, 2005 apud ADEGAS, 2007).

A areia utilizada deve possuir boas propriedades refratárias, isto é, deve possuir capacidades de manter suas propriedades sob altas temperaturas sem fundir ou degradar (HÖRLLE, 2005 apud ADEGAS, 2007).

A areia composta por sílica é a mais comumente usada devido sua grande disponibilidade e baixo custo. A expansão térmica da sílica provoca uma expansão dos moldes durante o vazamento e o resfriamento. Alguns aditivos devem ser usados neste caso, principalmente na produção de machos para prevenir defeitos nos fundidos.

- Quanto ao tipo de areia:

a) Moldagens com areias ligadas com argilas (moldagem por areia verde)

A moldagem por areia verde é o processo mais comumente utilizado nas fundições, normalmente não é utilizado para confecção dos machos, estes são produzidos através de um sistema de ligantes químicos. Praticamente todas as ligas metálicas podem ser conformadas por este método, sendo um dos poucos que podem ser usados para metais com alto ponto de fusão. Além disso, sua versatilidade permite a fabricação de peças dos mais variados tamanhos (HÖRLLE, 2005 apud ADEGAS, 2007).

Neste processo são também adicionados à mistura de areia e bentonita, materiais carbonáceos, tais como, pó de carvão, produtos derivados do petróleo, amido de milho, entre outros. A argila e a água atuam como ligantes mantendo a coesão entre os grãos de areia. O material carbonáceo é queimado quando o metal líquido é vazado no molde, evitando a oxidação do metal quando este for solidificando (INSTITUTE FOR PROSPECTIVE TECHNOLOGICAL STUDIES 2005 apud ADEGAS, 2007).

b) Moldagem e fabricação de machos com areias ligadas quimicamente

Para fabricação dos machos, o sistema mais largamente usado é aquele quimicamente ligado. Machos requerem características físicas diferentes dos moldes. O macho deve ser forte o suficiente para suportar o metal fundido e ter colapsibilidade suficiente para permitir a remoção da peça fundida após o resfriamento (HÖRLLE, 2005 apud ADEGAS, 2007). As Figuras 4 e 5 mostram machos confeccionados na empresa estudada.



Figuras 4 e 5: Macho em areia com resina Shell. Fonte: Empresa estudada.

O sistema ligante utilizado deve produzir machos fortes e duros, que são rompidos para permitir a retirada da peça após o endurecimento do fundido. Dessa forma os machos são tipicamente formados por sílica e fortes ligantes químicos. O endurecimento ou cura é acompanhado por uma reação química ou catalítica, ou pela ação do calor (INSTITUTE FOR PROSPECTIVE TECHNOLOGICAL STUDIES 2005 apud ADEGAS, 2007).

- Quanto ao tipo de cura

- a) Processo de cura a frio

O processo de cura a frio é o processo no qual o endurecimento (cura) da mistura de areia se realiza pela ação do composto químico a ela adicionado à temperatura ambiente (ABNT NBR 12.799, 1983). O processo inicia quando o último componente da formulação é introduzido na mistura, continuando desde alguns minutos até várias horas, dependendo do processo, da quantidade de ligantes e da intensidade de cura. Este processo é mais utilizado para fabricar moldes do que machos, especialmente para fundidos de tamanhos médios a grande (INSTITUTE FOR PROSPECTIVE TECHNOLOGICAL STUDIES apud ADEGAS, 2007).

- b) Processo de cura a gás

O processo de cura a gás é o processo no qual o endurecimento da mistura areia/aglomerante se realiza dentro da caixa de macho ou molde, à temperatura ambiente, pela reação do aglomerante (resina fenólica, furânica ou silicato de sódio), promovida pela passagem de um catalisador (gás ou vapor) (ABNT NBR 12.799, 1983). Nestes processos, a cura acontece pela injeção de um catalisador ou agente de cura sob forma gasosa. Segundo a ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 12.799 (1993) os agentes de cura mais utilizados são CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e amina.

A velocidade de cura pode ser muito alta, o que permite que se atinjam altas taxas de produção. É adequado para moldes e machos de tamanhos limitados, em produções de média escala (INSTITUTE FOR PROSPECTIVE TECHNOLOGICAL STUDIES apud ADEGAS, 2007).

- c) Processo de cura a quente

O processo de cura a quente é o processo no qual o endurecimento da mistura de areia se realiza, total ou parcialmente, dentro da caixa de macho ou molde, pela reação de polimerização de uma resina (fenólica ou furânica), sob a ação do calor, em presença ou não de um catalisador ácido (ABNT NBR 12.799, 1983).

Neste processo a cura acontece pelo aquecimento da mistura areia-resina, ou mais frequentemente através do contato com o equipamento aquecido do modelo. Estas duas formas proporcionam uma alta precisão dimensional, a qual somente pode ser alcançada através da

utilização de modelos de alta qualidade, o que pode tornar o processo muito oneroso. Processos de cura a quente são usados para produção de machos de tamanho limitado principalmente em processos em produção em série (INSTITUTE FOR PROSPECTIVE TECHNOLOGICAL STUDIES apud ADEGAS, 2007).

### 3.1.2 Areia de fundição

O termo areia é normalmente usado para o agregado miúdo resultante da desintegração natural e da abrasão de rochas ou processamento de rochas friáveis (MEHTA; MONTEIRO, 1994 apud TOLEDO, 2006).

O principal componente das areias de moldagem e de macharia utilizada nas fundições é um agregado fino, mineralogicamente puro, denominado areia-base (ABIFA, 1999; MARINO, 2003 apud TOLEDO, 2006).

Os requisitos básicos para um desempenho satisfatório destas areias de fundição são:

- Possuir estabilidade dimensional e térmica a elevadas temperaturas;
- Possuir tamanho e formato de partículas adequados;
- Ser quimicamente inerte a metais fundidos;
- Não ser facilmente molhada por metais fundidos;
- Não conter elementos voláteis que produzam gás no aquecimento;
- Ser disponível em grandes quantidades e preços razoáveis;
- Possuir pureza e pH de acordo com os requisitos dos sistemas ligantes;
- Ser compatível com os atuais e novos ligantes químicos à medida que são desenvolvidos (GARNAR, 1977; LE SERVE *et al*, 1976 apud SCHUENEMANN, 2005).

A areia de fundição mais comumente usada ao longo dos anos tem sido a areia de sílica por tratar-se do mais abundante – o silício é o elemento mais abundante da crosta terrestre - e mais facilmente extraído dos minerais da face da Terra (GARNAR, 1977; MARIOTTO, 2001; IYER *et al.*, 1992 apud SCHUENEMANN, 2005).

Segundo Lorè (1978 apud SCHUENEMANN, 2005), as areias de moldagem possuem denominações relacionadas aos seguintes parâmetros:

a) Quanto ao uso:

- Areia nova, quando utilizada pela primeira vez na fundição;
- Areia usada, quando recuperada de fundições anteriores.

b) Quanto ao emprego:

- Areia de molde ou moldagem é a parte da areia que constitui a caixa de moldagem;
- Areia de macho é aquela destinada ao preparo dos machos, conformadores das cavidades internas das peças.

c) 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 composição adequada para macho e moldes e que sofrem cozimento em estufa antes do vazamento.

Ligantes da areia

Para obter moldes e machos com propriedades adequadas é preciso controlar a matéria prima utilizada, saber a composição básica da areia e o grau de preparação da mistura, acompanhar o desempenho das máquinas de moldagem. A escolha de ligantes a serem utilizados dependerá de fatores como o tamanho da peça, taxa de produção, metal a ser vazado, propriedades de desmoldagens, entre outros (DIEHL apud ADEGAS, 2007).

Ligantes, resina ou aglomerantes são substâncias químicas que conferem às areias a resistência necessária e suficiente para as etapas de moldagem e vazamento do metal fundido, até seu resfriamento e desmoldagem, com as dimensões características das peças a serem moldadas. Quando adicionados às areias, devem proporcionar resistência suficiente aos moldes e machos utilizados nos processos de fundição (POLIURETANOS, 2009). Em geral as argilas (bentonita) possuem esta característica, porém nem sempre são suficientes para a formação de machos conforme o sistema de fundição adotado.

Dois grupos de agentes ligantes são de interesse: os naturais, como a bentonita e os óleos minerais e vegetais e os sintéticos, como resinas fenólicas (INSTITUTE FOR PROSPECTIVE TECHNOLOGICAL STUDIES 2005 apud ADEGAS, 2007).

a) Ligante natural

A bentonita é caracterizada pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – como um mineral constituído essencialmente por silicato de alumínio hidratado, denominado argilo-mineral, que pode conter sílica livre e outras impurezas, e é o principal aglomerante da mistura na areia de moldagem, sendo responsável pela coesão da areia quando em contato com a água. Sua função coesiva permite que a resistência da caixa de moldagem seja suficiente durante o vazamento, não permitindo assim que se rompa durante o processo. Quando o vazamento ocorre, a bentonita perde suas características físicas devido ao comportamento térmico e volumétrico de sua formação mineralógica. As moléculas de água são mantidas na camada de argila, e pela elevação da temperatura são eliminadas. A perda de água da composição das

argilas corresponde à perda das propriedades plásticas e o desenvolvimento progressivo de uma forma mais frágil e coesão. Por este motivo, há a necessidade de constante reposição da bentonita, sendo este um dos fatores de descarte das areias utilizadas (BIOLO, 2005 apud ADEGAS, 2007).

b) Ligantes químicos

Os componentes para obtenção da areia de fundição basicamente são: pó de carvão, bentonita, amido de milho, aglomerantes orgânicos ou inorgânicos e água. Como aglomerantes orgânicos (resinas) descritos por Mariotto (2001 apud ADEGAS, 2001) podem ser encontrados os seguintes produtos:

- Sistema fenol-formaldeído: Constituído de resina fenol-formaldeído parcialmente condensado mais hexamina;
- Sistemas furânicos: composição tais como: álcool furfurílico, uréia ou uréia-formaldeído ou fenol-formaldeído;
- Sistemas uretânicos: constituído de fenol-formaldeído mais isocianato ou polisocianato e catalisadores líquidos ou gasosos.

A utilização da resina fenólica confere um melhor acabamento na peça e uma boa resistência no molde, ganhando importância nos processos atuais de fundição (ABIFA, 1999; MARIOTTO, 2001 apud TOLEDO, 2006).

A resina fenólica é uma resina sintética que possui a característica de se desenvolver rapidamente, alcançando grande escala de utilização. É uma resina de rápida secagem, de bom aspecto e ótima resistência a agentes químicos e à umidade, mas amarela muito, por isso é evitada em cores claras. Possui excelente resistência à água, muito boa a solventes fortes, detergentes, ácidos, abrasão, e boa ao calor, álcalis, flexibilidade além de uma dureza muita elevada (TINTAS E VERNIZES, 2004 apud SCHUNEMANN, 2005).

Segundo Scheunemann (2005) o termo resina fenólica é empregado para se referir a uma grande variedade de produtos que resultam da reação de fenóis com aldeídos. Vários derivados fenólicos são utilizados na preparação dessas resinas, entretanto o fenol propriamente dito é o mais empregado.

### ***3.2 Resíduos gerados nas fundições***

Apesar da indústria de fundição ser uma das maiores contribuintes para a reciclagem de metais, já que as sucatas de metais são refundidas em novos produtos, existem possíveis problemas ambientais negativos, decorrentes do processo térmico e do uso de aditivos químicos.

Desta forma, Gião e Costa (2006 apud ADEGAS, 2007), afirmam que os impactos ambientais de uma fundição estão relacionados principalmente a emissão de gases e particulados e ao descarte dos resíduos sólidos, sendo a areia de fundição gerada em grande quantidade.

Os principais resíduos gerados são:

- Machos vazados e não vazados;
- Escórias e poeiras do forno;
- Finos da granalha;
- Refugos.

A maioria dos resíduos da fundição é considerada como resíduo não perigoso como é o caso das peças refugadas. Refugos são materiais gerados internamente durante o processo industrial, que são descartados por apresentarem alguma não conformidade na sua composição tais como: trincas, fissuras, baixa resistência mecânica. Estas peças retornam ao processo como matéria prima para obtenção de produtos fundidos.

O resíduo mais preocupante no processo de fundição é a areia de fundição, devido ao grande volume gerado. Os resíduos de areia provenientes da produção de alguns tipos de machos e moldes possuem uma composição muito diversificada podendo apresentar um nível de toxicidade que os tornam perigosos, é o caso de machos produzidos com ligantes químicos. Na moldagem e macharia com areias ligadas quimicamente, são utilizados resinas, catalisadores, agentes de cura e aditivos que geram resíduos de areia e pós ligados quimicamente (INSTITUTE FOR PROSPECTIVE TECHNOLOGICAL STUDIES 2005 apud ADEGAS, 2007).

Dentre os componentes (pó de carvão, bentonita, amido de milho, aglomerantes orgânicos ou inorgânicos e água), os aglomerantes orgânicos que evidenciam o caráter de resíduo classe I para a areia de fundição (MARIOTTO, 2001 apud ADEGAS, 2007).

Apesar de a resina fenólica conferir um melhor acabamento à peça e uma boa resistência ao molde, há geração de areia contaminada com a resina fenólica (ABIFA, 1999; MARIOTTO, 2001 apud TOLEDO, 2006) devendo esta, ser disposta em aterro industrial classe I.

No processo de moldagem sem a adição de ligantes químicos, moldagem com areia verde, os resíduos gerados são molde de areia verde e pós (material particulado em suspensão). Esta areia é considerada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT – NBR 10.004/2004) como resíduo classe II A – não inerte.

A cura da areia é outro momento de emissão de gases para a atmosfera. Na cura a gás, em função da forma gasosa dos catalisadores, as emissões geradas devem ser coletadas e tratadas. Não é diferente nos processos de cura a quente que também são caracterizados por problemas de emissões atmosféricas: quando aquecidos, as resinas e os catalisadores emitem gases nocivos

incluindo amônia e formaldeído, os quais podem ser fontes de odores incômodos (INSTITUTE FOR PROSPECTIVE TECHNOLOGICAL STUDIES 2005 apud ADEGAS, 2007).

### **3.2.1 Excedentes de areias de fundição**

Segundo Maciel *et al* (2009), o principal problema das empresas de fundição são os seus resíduos sólidos, constituídos dos excedentes de areias usados na confecção dos moldes e machos. A disposição dos resíduos de areias de fundição em aterros industriais, quando não monitorado, gera um alto custo para a empresa e um sério problema ambiental, devido ao grande volume produzido.

As fundições utilizam areias com características refratárias para a preparação dos moldes e machos que conformam as peças metálicas.

Não fosse a presença da resina fenólica, muitas areias descartadas pelas fundições poderiam ser classificadas como Resíduo Inerte (classe II - B) segundo a ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 10.004 (2004).

Para minimizar os custos associados ao descarte de areia, as fundições precisam urgentemente adotar as seguintes medidas no sentido de:

- Reduzir desperdícios: redução de machos e moldes quebrados, dimensionamento correto da diluição do sistema de areia;
- Identificar usos externos à fundição para a areia que seria enviada para aterro;
- Tratar a areia que seria descartada, de modo a remover e inertizar os contaminantes prejudiciais, possibilitando sua reintrodução na macharia ou na moldagem (regeneração) (SCHEUNEMANN, 2005).

### **3.3 Produção mais Limpa**

Ao longo das últimas duas décadas a abordagem de proteção ambiental sofreu uma mudança de paradigma, passando do controle para a prevenção. A Produção mais Limpa insere-se naturalmente neste contexto, pois ao contrário de apenas minimizar o impacto ambiental dos resíduos pelo seu tratamento e/ou disposição adequada, ela procura evitar a poluição antes que esta seja gerada.

Segundo o CNTL – Centro Nacional de Tecnologias Limpas - Produção mais Limpa (2003) é a aplicação de uma estratégia técnica, econômica e ambiental integrada aos processos e



produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos e emissões gerados, com benefícios ambientais, de saúde ocupacional e econômicos.

A Produção mais Limpa é um modelo de gestão ambiental, uma nova forma de otimizar a produção e foi desenvolvido para ser um instrumento de estímulo aos conceitos e objetivos do desenvolvimento sustentável. Essa técnica incorpora mudanças no processo produtivo da empresa, por meio de medidas que priorizam o uso de matérias-primas de fontes renováveis, com utilização consciente, para gerar o mínimo de resíduos e emissões que causem danos ao meio ambiente (CASTRO, 2006).

As empresas precisam criar uma estrutura para o seu crescimento e expansão sem comprometer o meio ambiente. Faz-se necessário desenvolver novas técnicas produtivas, estratégias administrativas, reorganização do processo produtivo, que aumente a qualidade e diminua os impactos negativos ao meio ambiente (CASTRO, 2006).

Segundo o CEBDS - Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (2013), o princípio básico da metodologia de Produção mais Limpa (P+L) é eliminar a poluição durante o processo de produção, não no final, pois todos os resíduos que a empresa gera custaram-lhe dinheiro, pois foram comprados a preço de matéria-prima e consumiram insumos como água e energia. Uma vez gerados, continuam a consumir dinheiro, seja sob a forma de gastos de tratamento e armazenamento, seja sob a forma de multas pela falta desses cuidados, ou ainda pelos danos à imagem e à reputação da empresa.

O CEBDS (2013) afirma que a produção mais limpa pode ser aplicada a processos de produção, aos produtos e também a vários tipos de serviços. Para os processos produtivos, está direcionada à economia de matéria prima, água e energia; eliminação do uso de materiais tóxicos e redução da quantidade e toxicidade dos resíduos e emissões que foram gerados no processo. Em relação aos produtos, a P+L busca reduzir os impactos ambientais à saúde e à segurança, provocados pelo produto ao longo de seu ciclo de vida, ou seja, desde a matéria prima, processos de fabricação, uso do produto até o descarte final. Para serviços, a P+L direciona seu foco na incorporação de preocupação de questões ambientais, desde o projeto até a entrega ou execução dos serviços.

O objetivo central da adoção da P+L é minimizar os resíduos e emissões combinando esforços de conservação de insumos e energia usados na produção, isto é feito produzindo novos produtos e não gerando resíduos. Assim, a empresa garante processos mais eficientes com um programa orientado para aumentar a eficiência de utilização dos materiais, com vantagens técnicas, econômicas além de estimular a inovação na empresa. As principais vantagens que

permeiam a adoção desta técnica são: custos de produção mais baixos, aumento de eficiência e competitividade; evitar infrações aos padrões ambientais na legislação; diminuição de riscos de acidentes de trabalho e conseqüentemente melhoria das condições de saúde e segurança do trabalhador; melhores perspectivas de mercado interno e externo e acesso às linhas de financiamento (CEBDS, 2013).

Várias iniciativas têm emergido com o objetivo de reduzir a poluição através do uso consciente de matéria-prima, água e energia, isto significa redução de custos para a empresa, menos desperdícios e melhoria no processo de produção, além do que a transformação de resíduos em produtos torna a empresa mais competitiva e ecológica. Os consumidores estão cada vez mais exigindo produtos “ambientalmente corretos”, isto é, os consumidores assumem que a empresa (fabricante) seja tão responsável em relação à qualidade de seus produtos, como responsáveis na sua prática produtiva em relação ao meio ambiente, desse modo, o conceito de produção mais limpa visa promover o desenvolvimento sustentável (CNTL apud CEBDS, 2013).

O CNTL (2003) afirma que a Produção mais Limpa considera a variável ambiental em todos os níveis da empresa, como por exemplo, a compra de matérias-primas, a engenharia de produto, o design, o pós venda, e relaciona as questões ambientais com ganhos econômicos para a empresa.

A Produção mais Limpa caracteriza-se por ações que são implementadas dentro da empresa com o objetivo de tornar o processo mais eficiente no emprego de seus insumos, gerando mais produtos e menos resíduos. Através da implementação de um programa de Produção mais Limpa a atividade produtiva identifica as tecnologias limpas mais adequadas para o seu processo produtivo, mais importante, agindo positivamente sobre saúde ocupacional as ações de Produção mais Limpa levam a um melhor ambiente de trabalho. Este Programa possibilita à empresa o melhor conhecimento do seu processo industrial através do monitoramento constante para manutenção e desenvolvimento de um sistema eco-eficiente de produção com a geração de indicadores ambientais e de processo. Este monitoramento permitirá à empresa identificar necessidades de: pesquisa aplicada, informação tecnológica e programas de capacitação. Além disso, irá integrar-se aos Sistemas de Qualidade, Gestão Ambiental e de Segurança e Saúde Ocupacional, proporcionando o completo entendimento do sistema de gerenciamento da empresa (CNTL, 2003).

O Programa de Produção mais Limpa traz para as empresas benefícios ambientais e econômicos que resultam na eficiência global do processo produtivo, através de eliminação dos desperdícios; minimização ou eliminação de matérias-primas e outros insumos impactantes para o meio ambiente; redução dos resíduos e emissões; redução dos custos de gerenciamento dos

resíduos; minimização dos passivos ambientais; incremento na saúde e segurança no trabalho. E ainda contribui para melhor imagem da empresa; aumento da produtividade; conscientização ambiental dos funcionários; redução de gastos com multas e outras penalidades.

Conforme o CNTL (2003), entre as principais metas ambientais da Produção mais Limpa podem ser incluídas:

- A Produção mais Limpa procura eliminar o lançamento de resíduos no meio ambiente ou reduzi-lo substancialmente. Entende-se por resíduo todos os tipos de poluentes, incluindo resíduos sólidos, perigosos ou não, efluentes líquidos, emissões atmosféricas, calor, ruído ou qualquer tipo de perda que ocorra durante o processo de geração de um produto ou serviço.
- Processos produtivos ideais, de acordo com o conceito de Produção mais Limpa, ocorrem em um circuito fechado, sem contaminar o meio ambiente e utilizando os recursos naturais com a máxima eficiência possível.
- A Produção mais Limpa requer os mais altos níveis de eficiência energética na produção de bens e serviços. A eficiência energética é determinada pela maior razão possível entre energia consumida e produto final gerado.
- A Produção mais Limpa procura sempre minimizar os riscos para os trabalhadores através de um ambiente de trabalho mais limpo, mais seguro e mais saudável.
- O produto final, bem como todos os subprodutos comercialmente viáveis, devem ser tão ambientalmente adequados quanto possível. Fatores relacionados à saúde e meio ambiente devem ser priorizados nos estágios iniciais de planejamento do produto e devem ser considerados ao longo de todo o ciclo de vida do mesmo, da produção à disposição, passando pelo uso.
- A embalagem do produto deve ser eliminada ou minimizada sempre que possível. Quando a embalagem é necessária para proteger, vender, ou para facilitar o consumo do produto, esta deve ter o menor impacto ambiental possível.

Portanto, fica claro que o principal objetivo da Produção mais Limpa é eliminar ou reduzir a emissão de poluentes para o meio ambiente, ao mesmo tempo que otimiza o uso de matérias-primas, água e energia. Desta forma, além de um efeito de proteção ambiental de curto prazo, a Produção mais Limpa incrementa a eficiência no uso de recursos naturais, gerando melhorias sustentáveis de longo prazo.

Na abordagem tradicional, as primeiras ações tomadas são geralmente a disposição dos resíduos ou o seu tratamento, que representam um potencial menor para a solução do problema ambiental, além de serem mais caras no longo prazo, por apenas agregarem novos custos ao

processo produtivo. A abordagem lógica, pelo contrário, privilegia as soluções voltadas para a prevenção e minimização, sugerindo que as empresas atuem na fonte geradora, buscando alternativas para o desenvolvimento de um processo eco eficiente, resultando na não geração dos resíduos, redução ou reciclagem interna e externa (CNTL, 2003). A Figura 6 mostra a evolução das empresas rumo à Produção mais limpa.



Figura 6: Evolução das empresas rumo à Produção mais limpa  
Fonte: CNTL, 2003.

Esta abordagem contribui de forma muito mais efetiva para a solução do problema ambiental. Apesar de mais complexa, pois exige mudança no processo produtivo e/ou a implementação de novas tecnologias, permite uma redução permanente dos custos gerais, incorporando os ganhos ambientais, econômicos e de saúde ocupacional (CNTL, 2003).

Como em qualquer tipo de projeto, a decisão de investir em Produção mais Limpa depende da relação custo-benefício que o investimento terá. Na prática, frente às restrições de capital e às pressões dos órgãos ambientais, opta-se pela adoção de estratégias ambientais corretivas (tratamento da poluição ao final do processo: técnicas de fim-de-tubo) no lugar de estratégias preventivas, como é o caso da Produção mais Limpa.

A produção mais limpa existe em vários níveis de atuação e aplicações de estratégias visando ações de melhoria, como se pode observar na Figura 7.

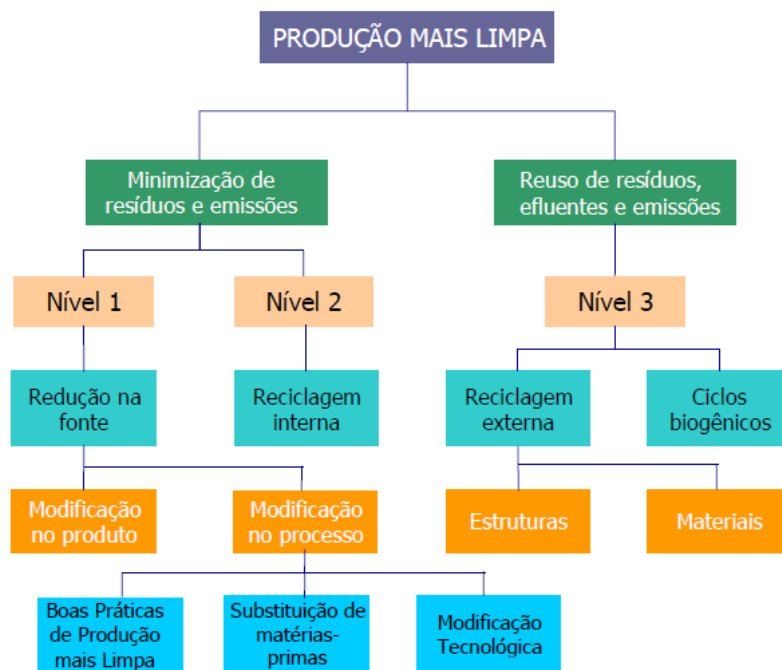


Figura 7: Fluxograma da geração de opções de produção mais limpa

Fonte: CNTL (2003)

Conforme o CNTL (2003), a produção mais limpa é caracterizada por ações que privilegiem o Nível 1 como prioritárias, seguidas do Nível 2 e Nível 3, nesta ordem. Deve ser dada prioridade a medidas que busquem eliminar ou minimizar resíduos, efluentes e emissões no processo produtivo onde são gerados. A principal meta é encontrar medidas que evitem a geração de resíduos na fonte (nível 1). Estas podem incluir modificações tanto no processo de produção quanto no próprio produto.

Sob o ponto de vista de resíduos, efluentes e emissões e levando-se em consideração os níveis e as estratégias de aplicação, a abordagem de produção mais limpa pode se dar de duas formas: através da minimização de resíduos (redução na fonte), efluentes e emissões ou através da reutilização de resíduos (reciclagem interna e externa), efluentes e emissões. A redução na fonte contempla modificação no produto e no processo.

A modificação no produto é uma abordagem complexa, geralmente de difícil implementação, pois envolve a aceitação pelos consumidores de um produto novo ou renovado. Geralmente é adotada após terem sido esgotadas as opções mais simples. A modificação no produto pode incluir:

- Substituição completa do produto;
- Aumento da longevidade;
- Substituição de matérias-primas;

- Modificação do design do produto;
- Uso de matérias-primas recicláveis e recicladas;
- Substituição de componentes críticos;
- Redução do número de componentes;
- Viabilização do retorno de produtos;
- Substituição de itens do produto ou alteração de dimensões para um melhor aproveitamento da matéria prima.

As medidas de minimização mais encontradas em Programas de Produção mais limpa são aquelas que envolvem estratégias de modificação no processo. Por processo entende-se todo o sistema de produção dentro da empresa. As medidas deste tipo podem ser: boas práticas operacionais (*good housekeeping*) – utilização cuidadosa de matérias-primas e materiais auxiliares, operação adequada de equipamentos e melhor organização interna; substituição de matérias-primas e materiais auxiliares e modificações tecnológicas.

As boas práticas operacionais, também denominado de melhor cuidado operacional ou de manutenção da casa (*good housekeeping*), implica na adoção de medidas de procedimento, técnicas, administrativas ou institucionais que uma empresa pode implantar para minimizar os resíduos, efluentes e emissões. Boas práticas operacionais são frequentemente implementadas com baixo custo. As boas práticas operacionais incluem:

- Mudança na dosagem e na concentração de produtos;
- Maximização da utilização da capacidade do processo produtivo;
- Reorganização dos intervalos de limpeza e de manutenção;
- Eliminação de perdas devido à evaporação e a vazamentos;
- Melhoria de logística de compra, estocagem e distribuição de matérias-primas, materiais auxiliares e produtos;
- Elaboração de manuais de boas práticas operacionais;
- Treinamento e capacitação das pessoas envolvidas no programa de Produção mais Limpa.

Pode-se cogitar a substituição de matéria prima quando a mesma puder afetar a saúde e a segurança do trabalhador e obrigado a utilização de equipamentos específicos de proteção (EPI's) ou que gerarem resíduos, efluentes e emissões perigosos, que necessitam de controle para evitar impactos negativos ao meio ambiente. Pode incluir:

- Substituição de solventes orgânicos por agentes aquosos;
- Substituição de produtos petroquímicos por bioquímicos;
- Escolha de matérias-primas com menor teor de impurezas;
- Escolha de matérias-primas com menor possibilidade de gerar subprodutos indesejáveis;

- Substituição de fornecedores;
- Uso de resíduos como matérias-primas de outros processos;
- Modificação de embalagens de matérias primas;
- Uso de matérias-primas biodegradáveis;
- Redução do número de componentes para reduzir a complexidade dos processos;
- Uso de substâncias livres de metais pesados;
- Uso de matérias primas que tenham um ciclo de vida conhecido e que facilitem o sistema de fim de vida de produtos.

As mudanças tecnológicas são orientadas para as modificações de processo e de equipamento para reduzir resíduos, efluentes e emissões no sistema de produção. Estas podem variar desde mudanças simples, que podem ser implementadas num curto período, até mudanças complexas e onerosas, como a substituição completa de um processo. Estas opções podem incluir:

- Substituições de processos termo-químicos por processos mecânicos;
- Uso de fluxos em contracorrente;
- Tecnologias que realizam a segregação de resíduos e de efluentes;
- Modificação nos parâmetros de processo;
- Utilização de calor residual;
- Substituição completa da tecnologia.

A reciclagem interna ocorre no nível 2 das opções de Produção mais Limpa e refere-se a todos os processos de recuperação de matérias primas, materiais auxiliares e insumos que são feitos dentro da planta industrial. Podem ser citados como exemplos:

- Utilização de matérias primas ou produtos novamente para o mesmo propósito - recuperação de solventes usados;
- Utilização de matérias primas ou produtos usados para um propósito diferente - uso de resíduos de verniz para pinturas de partes não visíveis de produtos;
- Utilização adicional de um material para um propósito inferior ao seu uso original – aproveitamento de resíduos de papel para enchimentos.

As medidas relacionadas aos níveis 1 e 2 devem ser adotadas preferencialmente quando da implementação de um Programa de Produção mais Limpa. Somente quando tecnicamente descartadas deve-se optar por medidas de reciclagem de resíduos, efluentes e emissões fora da empresa (nível 3 - Reciclagem Externa e Ciclos Biogênicos). Isto pode acontecer na forma de reciclagem externa ou de uma reintegração ao ciclo biogênico (por exemplo: compostagem).

### ***3.4 Indicadores de desempenho de SSMA***

Segundo LIMA *et al* (2006), um Sistema de Gestão de Saúde e Meio Ambiente mais do que cumprir a legislação existente, é questão de sustentabilidade para a continuidade da operação das empresas o fato de proporcionarem um ambiente de trabalho seguro e saudável. Na atualidade, as organizações buscam aperfeiçoar-se através de modelos de gestão, incorporando conceitos das boas práticas de relacionamento com empregados, sociedade, governo, acionistas, fornecedores e concorrentes.

A melhoria da segurança, da saúde e do meio ambiente de trabalho, além de aumentar a produtividade, diminui o custo do produto final, pois diminui as interrupções no processo, o absenteísmo e os acidentes e/ou doenças ocupacionais.

Os aspectos preventivos envolvidos na segurança do trabalho buscam minimizar os riscos e as condições inadequadas e incorporar a melhoria contínua das condições de trabalho, introduzindo requisitos mínimos de segurança cada vez mais rígidos. Os riscos de acidentes com lesão, problemas ergonômicos e organizacionais podem ser identificados pela inspeção sistemática do local de trabalho. As inspeções de segurança estão entre as medidas preventivas mais importantes para assegurar um local de trabalho seguro. A natureza do trabalho determinará com que frequência as inspeções de segurança devem ser realizadas.

O objetivo da elaboração dos indicadores de acidente de trabalho é estabelecer fonte de informação para a formulação de políticas preventivas no âmbito do Ministério do Trabalho e Emprego, através de indicadores representativos da frequência e da distribuição de acidentes de trabalho, para, focalizando a ação nas áreas prioritárias, potencializar os resultados em termos de redução dos agravos à saúde dos trabalhadores, obtendo conseqüente melhoria dos indicadores de qualidade de vida.

Os indicadores de acidentes do trabalho, além de serem empregados na determinação de níveis de risco por área profissional, são de grande importância para a identificação das ocorrências de doenças profissionais. Além disso, são indispensáveis para a correta determinação de programas de prevenção de acidentes e conseqüente melhoria das condições de trabalho. Alguns indicadores são de interesse especial para a área de saúde do trabalhador (tais como a taxa de mortalidade e a taxa de letalidade) (ÁVILA *et al*, 2002).

Segundo Ávila *et al* (2002), é fato reconhecido, inclusive por técnicos da Organização Internacional do Trabalho – OIT, que retratar todos os acidentes ocorridos nas empresas é uma tarefa muito difícil, uma vez que, deliberadamente, muitas ocorrências não são notificadas. A maioria dos países não possui um sistema eficiente de notificação dos acidentes do trabalho que



abranja a totalidade das ocorrências e o Brasil não é uma exceção. No entanto, apesar dos avanços em termos de levantamento de informações, ressalte-se que os dados oficiais não englobam o mercado informal, os funcionários públicos com regime próprio de previdência e os militares. Ou seja, o real número de acidentes do trabalho certamente é maior, entretanto, não há fontes disponíveis para mensurá-lo.

Segundo a NR – 4, compete aos profissionais integrantes dos Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho registrar mensalmente os dados atualizados de acidentes do trabalho, doenças ocupacionais e agentes de insalubridade, preenchendo, no mínimo, os quesitos descritos nos modelos de mapas constantes nos Quadros III, IV, V e VI, devendo a empresa encaminhar um mapa contendo avaliação anual dos mesmos dados à Secretaria de Segurança e Medicina do Trabalho.

Segundo o Sistema Firjan (2008), os indicadores de desempenho ambiental podem ser entendidos como parâmetros que fornecem informações a respeito de uma atividade ou um cenário, em relação aos fatores ambientais, possibilitando a realização de análises, conclusões e tomadas de decisão estratégicas.

Os indicadores ambientais permitem avaliar, comparativamente, o desempenho ambiental de uma organização com os diferentes aspectos ambientais, como o consumo de água, o de energia e a geração de resíduos.

Ao elaborar os indicadores de desempenho ambiental, algumas regras devem ser seguidas. O Sistema Firjan (2008) afirma que os indicadores devem:

- Ser simples, de fácil interpretação e capazes de demonstrar tendências;
- Ser relevantes em termos das questões e dos valores ambientais;
- Facilitar o entendimento dos Sistemas de Gestão Ambiental implementados;
- Considerar as dificuldades de monitoramento (tempo, tecnologia, custos);
- Proporcionar bases sólidas para comparações e tomadas de decisões.

### ***3.5 Levantamento de Aspectos e Perigos***

Segundo a norma ISO 14001 (ABNT, 2004) apud PEREIRA (2007), aspecto ambiental é o elemento das atividades ou produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente. Impacto ambiental é definido como qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização.

A identificação dos aspectos e impactos ambientais associados às atividades, juntamente com a identificação dos perigos e riscos, é um dos pontos mais importantes do desenvolvimento de um sistema de gestão, pois, através dele são investigadas todas as atividades que podem gerar danos ambientais e à saúde ou segurança dos trabalhadores (PEREIRA, 2007).

O conhecimento e a divulgação dos aspectos ambientais de um empreendimento atendem às expectativas de uma melhoria no desempenho ambiental. Conhecendo-se, previamente, os problemas associados à implantação e operação do empreendimento, por meio de instrumentos de avaliação de impacto e planejamento ambientais, pode-se adotar medidas que evitem ou atenuem tais impactos, reduzindo os danos ambientais e, conseqüentemente, os custos envolvidos na sua remediação ou correção (DE JORGE, 2001 apud BACCI, 2006).

Para a identificação dos aspectos e avaliação dos impactos ambientais associados a determinado empreendimento, deve-se procurar, inicialmente, selecionar todas as atividades, produtos e serviços relacionados à atividade produtiva, de modo a separar o maior número possível de impactos ambientais gerados, reais e potenciais, benéficos e adversos, decorrentes de cada aspecto identificado, considerando, sempre, se são significativos ou não (SÁNCHEZ, 2001 apud BACCI, 2006). Segundo a ISO 14001:2004 apud VELHO (2009), um aspecto ambiental é considerado significativo se ele tem ou pode ter um impacto ambiental significativo. A relação entre aspectos ambientais e impactos associados é de causa e efeito.

Segundo De Jorge (2001) apud Bacci (2006), o processo completo de avaliação do desempenho ambiental, realizado em uma base contínua e de forma sistemática e periódica, permite às empresas verificar se os seus objetivos estão sendo atingidos, além de fornecer um mecanismo para investigar e apresentar informações confiáveis e verificáveis, inclusive de natureza financeira, que podem ser relatadas às partes interessadas.

Para iniciar a identificação dos aspectos e impactos ambientais é necessário que a empresa compreenda suas atividades, produtos e serviços, pois quase todos eles podem ter algum impacto no meio ambiente, que pode ser local, regional ou global, de curta ou longa duração e com variados níveis de significância.

Segundo a norma ISO 14004 – Sistemas de Gestão Ambiental, Diretrizes Gerais, Princípios, Sistema e Técnicas de Apoio (ABNT, 1996 apud PEREIRA, 2007), a identificação dos aspectos ambientais e avaliação dos impactos ambientais é um processo que pode ser conduzido em quatro passos, listados a seguir:

1. Seleção da atividade ou processo: a atividade ou processo selecionado deve ser amplo o bastante para um exame consistente e pequeno o bastante para ser suficientemente entendido;

2. Identificação dos Aspectos Ambientais das Atividades, Produtos ou Serviços: identifique, tanto quanto seja possível, os aspectos ambientais associados com a atividade ou processo;
3. Identificação dos Impactos Ambientais: identifique tantos impactos ambientais, reais ou potenciais, positivos ou negativos, quanto seja possível, associados com cada aspecto ambiental identificado;
4. Avaliação da significância dos Impactos: a significância de cada um dos impactos ambientais identificados pode ser diferente para cada organização. A quantificação pode ajudar o julgamento.

A avaliação pode ser facilitada caso considerar-se: a escala do impacto, a severidade do impacto, a probabilidade de ocorrência e a duração do impacto.

O levantamento dos aspectos e impactos ambientais e a análise de riscos associados às atividades é um dos pontos mais importantes do planejamento de um Sistema de Gestão, uma vez que será através desta identificação que serão investigadas todas as atividades, processos e áreas que podem gerar danos ambientais e à saúde ou segurança dos trabalhadores (VELHO, 2009).

Segundo a norma OHSAS 18001 (ABNT, 1999 apud PEREIRA, 2007), perigo é uma fonte ou situação com potencial para provocar danos em termos de lesão, doença, dano a propriedade, dano ao meio ambiente do local de trabalho, ou uma combinação destes. Risco é uma combinação da probabilidade de ocorrência e das consequências de um determinado evento perigoso.

Ainda segundo a norma OHSAS 18001 (ABNT, 1999) apud PEREIRA (2007), a organização deve estabelecer e manter procedimentos para a identificação contínua de perigos, a avaliação de riscos e a implementação das medidas de controle necessárias.

Na identificação dos aspectos e impactos ambientais e dos perigos e danos associados às atividades devem ser consideradas as atividades realizadas de forma rotineira e as eventuais, inclusive por terceiros trabalhando dentro ou fora das instalações da unidade e ainda as possíveis situações de emergência.

Aspecto ambiental é o elemento das atividades, produtos ou serviços de uma organização, que pode interagir com o meio ambiente e impacto ambiental é qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização (ISO 14001/2004 apud VELHO, 2009).

Um perigo é considerado como fonte, situação ou ato com potencial para provocar danos humanos em termos de lesão ou doença, ou uma combinação destas e um risco é a combinação da probabilidade de ocorrência de um evento perigoso ou exposição com a gravidade da lesão ou

da doença que pode ser causada pelo evento ou exposição, estes conceitos são conforme descrito na OHSAS 18001:2007.

Para a identificação de perigos e danos, também é necessário que os processos do SGI sejam profundamente analisados, a fim de detectar os perigos relacionados a cada um deles, os danos associados aos perigos identificados e indicar o nível destes riscos, verificando se os mesmos são toleráveis ou se não são toleráveis. Após a identificação dos perigos e danos associados, é importante que sejam descritas as medidas para monitoramento e controle dos riscos, especialmente os riscos não toleráveis.

### ***3.6 Programa de Prevenção de Riscos Ambientais***

Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA) é um programa regulamentado pela Norma Regulamentadora 9 (NR- 9) da Portaria 3.214/78 e seu objetivo é estabelecer uma metodologia de ação que garanta a preservação da saúde e integridade dos trabalhadores frente aos riscos dos ambientes de trabalho. Dentre os riscos ambientais citamos os agentes físicos, químicos e biológicos, variáveis quanto a natureza, concentração ou intensidade e tempo de exposição.

O Programa não deve apenas atender às exigências da Legislação, como também apresentar sugestões e recomendações técnicas adequadas à sua realidade, tornando o ambiente laboral mais saudável, prevenindo os acidentes do trabalho e as doenças profissionais ocupacionais, evitando perdas, gerando bem estar e influenciando positivamente na melhoria da qualidade e da produtividade.

O PPRA é obrigatório em todas as empresas, inclusive instituições de ensino, independente do número de empregados ou do grau de risco de suas atividades e deve estar articulado com o Programa de Controle Médico e Saúde Ocupacional (PCMSO), pois a partir daí pode-se relacionar a doença às condições de trabalho. O PPRA objetiva preservar a saúde e integridade dos trabalhadores, através da antecipação, reconhecimento, avaliação e controle da ocorrência de riscos ambientais no ambiente de trabalho, como forma de proteção do meio ambiente, dos recursos naturais.

Conforme a NR 9, os riscos ambientais incluem os agentes físicos, químicos e biológicos existentes nos ambientes de trabalho e que podem causar danos à saúde do trabalhador na dependência de sua natureza, intensidade, concentração, frequência e tempo de exposição.

São exemplos:

- **Agentes físicos:** ruído, vibrações, pressões anormais, temperaturas extremas (frio ou calor), radiações ionizantes e não ionizantes, umidade;
- **Agentes químicos:** poeiras, fumos, névoas, neblinas, gases, vapores, substância ou compostos ou produtos químicos em geral, absorvidos por via respiratória, pela pele ou pelo trato gastrointestinal (ingestão) com ação nociva;
- **Agentes biológicos:** bactérias, fungos, parasitas, protozoários, vírus e outros microrganismos com ação patogênica;

Podemos ainda exemplificar a presença de risco de acidentes no ambiente de trabalho por:

- Ergonômicos: movimentos repetitivos, postura inadequada etc;
- Máquinas e equipamentos sem proteção;
- Eletricidade;
- Probabilidade de incêndio ou explosão;
- Armazenamento de produtos de forma inadequada, como agentes tóxicos ou resíduos químicos;
- Presença de animais peçonhentos.

O empregador tem as seguintes responsabilidades:

- Estabelecer, implementar e assegurar o cumprimento do PPRA.
- Oferecer um ambiente de trabalho que garantam perfeita segurança e conforto aos que nela trabalham.
- Somente permitir que profissional qualificado possa instalar, operar, inspecionar ou reparar instalações elétricas, máquinas/equipamentos e transporte de cargas.
- Fornecimento gratuito de EPI's do tipo adequado à atividade do servidor e que tenha certificado de aprovação (C. A), quando as medidas coletivas não fornecerem proteção.
- Treinar o trabalhador sobre o uso do EPI e tornar seu uso obrigatório.
- Cumprir as normas de segurança e medicina do trabalho.
- Facilitar o exercício da fiscalização pela autoridade competente.
- Informar aos trabalhadores os riscos profissionais que possam originar-se nos locais de trabalho e os meios para prevenir.

O trabalhador tem a responsabilidade de:

- Colaborar e participar na implantação e execução do PPRA;
- Seguir as orientações recebidas nos treinamentos oferecidos dentro do PPRA;
- Informar ao seu superior hierárquico direto, ocorrências que possam implicar riscos à saúde dos Trabalhadores;

- Colaborar com o órgão na aplicação das ordens de serviço expedidas pelo empregador;
- Zelar pelo EPI fornecido pelo órgão e usá-lo apenas para a finalidade a que se destina e comunicar qualquer alteração que o torne impróprio para uso;
- Submeter-se aos exames médicos previstos nas normas regulamentadora.

Segundo a NR-9, um PPRA deve apresentar a estrutura mínima a seguir:

- Planejamento anual constando metas, prioridade e cronograma;
- Estratégia e metodologia de ação;
- Forma de registro, manutenção e divulgação dos dados;
- Periodicidade e forma de avaliação do desenvolvimento do PPRA.

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

### ***4.1 Definição da unidade de análise***

A STIHL é uma empresa familiar de porte médio e que possui valores de negócio muito éticos e sólidos. Esses valores que sustentam as ações em todas as empresas do Grupo STIHL no mundo.

A STIHL é uma das mais importantes indústrias de ferramentas motorizadas portáteis e líder no segmento de motosserras. Atua em mais de 160 países, com nove unidades de produção: quatro na Alemanha e as demais nos Estados Unidos, Brasil, Suíça, Áustria e China. Podemos citar como principais produtos motosserras, roçadeiras, cortadores a disco, lavadoras, motobombas, motopodas, perfuradores, podadores, pulverizadores e sopradores.

Reconhecida pelo alto padrão de qualidade de seus produtos e serviços, e o compromisso permanente com a preservação do meio ambiente e de seus recursos naturais, a empresa investe em pesquisa, modernização de processos, aquisição de novas tecnologias e aperfeiçoamento contínuo da gestão de recursos humanos.

Em 1973 entrou em funcionamento a unidade fabril no Brasil, em São Leopoldo, apenas com uma linha de montagem. Após dois anos, foi inaugurada a nova fábrica em São Leopoldo: a primeira planta de produção estrangeira do Grupo STIHL.

A STIHL possui uma gama de produtos diferenciados para atender aos quatro mercados definidos como estratégicos para a organização: agropecuário (são produtos com desempenho diferenciado em atividades nas fazendas e sítios); doméstico (indicados para facilitar a vida em casa, no sítio, na praia, e até mesmo em atividades artísticas); serviços (produtos com excelente performance e grande resistência que agilizam e reduzem custos operacionais em diversas atividades de manutenção pública e obras em geral) e florestal (produtos especiais com excelente desempenho no plantio, manutenção e colheita nas florestas e carvoarias).

No Brasil e no mundo, a STIHL é reconhecida por garantir o alto padrão de qualidade de seus produtos e serviços, oferecendo soluções inovadoras para facilitar ainda mais o dia-a-dia de seus clientes. Essas soluções são entregues aos clientes através de produtos de altíssima qualidade e de uma rede de concessionárias altamente qualificadas.

A empresa STIHL foi seis vezes considerada uma das Melhores Empresas do Brasil para Trabalhar pela Revista Exame e GPTW – Great Place to Work, a empresa possui pesquisa de clima organizacional desde 1992. A pesquisa se chama Qualidade de Vida no Trabalho (QVT) e

Qualidade da Liderança (QL), cujo objetivo é monitorar o ambiente de trabalho, bem como acompanhar a percepção do funcionário sobre a empresa de forma global e especificamente a sua liderança, gerando planos de ação para a correção de eventuais situações que possam estar em desacordo com os valores e políticas empresariais. Os indicadores de QVT e QL são metas estratégicas da empresa, sendo analisadas periodicamente nas reuniões da Alta Administração.

Hoje com 2000 colaboradores no Brasil, a STIHL conta com uma rede de aproximadamente 2500 revendas no país e detém a maior parte do mercado de motosserras e grande parte do mercado de roçadeiras. Em um cenário muito dinâmico e altamente competitivo, com o surgimento significativo de acirrada concorrência e variação cambial desfavorável as exportações, a empresa assume uma estratégia organizacional ousada e bem estruturada tendo como reflexos um forte crescimento em termos de faturamento, aumento no número de colaboradores e na diversidade de sua linha de produtos.

#### ***4.2 O processo de fundição na empresa estudada***

São detalhados a seguir os setores e os processos produtivos da empresa na atividade de fundição, em nível de informação capaz de proporcionar a adequada compreensão de sua sistemática, ilustrados através de imagens que auxiliam o entendimento.

A Figura 8 mostra o fluxograma simplificado do processo produtivo na fundição por gravidade.

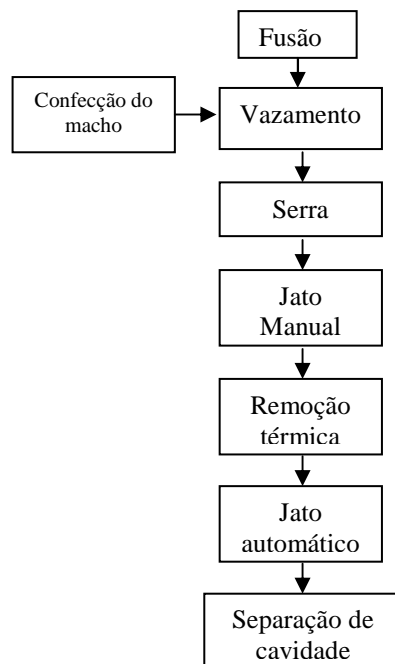


Figura 8: Fluxograma simplificado do processo de fundição na empresa estudada.



### a) Fusão

A empresa possui um forno “torre de fusão” com capacidade de carga de 2 toneladas, um forno “barril de fusão” com capacidade de carga de 600 kg.

Após a fusão do metal, este é transferido para uma panela de transporte de metal líquido com revestimento refratário que abastece o forno de espera ou manutenção, para só então ser vazado no canal de alimentação existente nas coquilhas.

A Fundição por Gravidade atualmente está distribuída em células, sendo que cada célula é constituída de 2 máquinas (coquilhadeira), 1 robô e 2 fornos de espera com capacidade de 500 kg cada. A bancada de rebarbação e serra também estão alocadas na célula.

Antes de realizar o vazamento nas coquilhas, quando o alumínio já atingiu a temperatura e homogeneidade necessárias, é retirada a escória existente na superfície do líquido.

### b) Confeção do macho

Os machos confeccionados necessitam da adição de ligantes químicos (resina fenólica) para atender as necessidades de fabricação de determinadas peças, porém esta areia já vem do fornecedor pronta para utilização, conforme amostra na Figura 9, não é necessário fazer a mistura da areia com os ligantes.



Figura 9: Areia Shell utilizada para fabricação dos machos.

A areia utilizada na empresa já é adquirida com o ligante fenólico. O consumo mensal varia conforme a produção de peças, atualmente está em torno de 15 toneladas. Após seu uso como matéria prima para confecção machos, toda areia é descartada juntamente com os machos.

O processo utilizado na empresa para fabricação de macho pode ser classificados da seguinte forma, quanto ao tipo de cura:

- Cura a quente: areia com adição de resina.

No processo para a fabricação de macho de areia shell (sopradora) existem dois tipos de máquinas que podem ser utilizadas dependendo da aplicação, onde basicamente são considerados a geometria do macho a ser fabricado.

O processo é quase que totalmente mecanizado, necessitando apenas de um colaborador para retirar as rebarbas de areia dos machos e realizar a montagem dos mesmos antes de ser enviados para a estufa. Os principais equipamentos utilizados no setor são: sopradoras (equipamento que produz os machos, Figura 10) e as estufas.



Figura 10: Sopradora.  
Fonte: Empresa estudada

Como é possível visualizar na Figura 11, há um compartimento de alimentação de areia na sopradora.



Figura 11: Compartimento de alimentação de areia na sopradora na empresa estudada.  
Fonte: Empresa estudada

O processo inicia-se com o abastecimento da mistura de areia utilizada na confecção dos machos no compartimento que abastece a sopradora. Um molde metálico (aço H13) é responsável pelas geometrias que dão origem aos machos de areia. O controle de abastecimento dos moldes é realizado por meio de um painel de controle IHM – Interface Homem Máquina, adicionando a quantidade de areia, já com os aditivos, necessária para o tipo de macho a ser produzido. Em seguida acontece a cura da areia, somente pelo tempo necessário para que forme uma casca com a geometria da peça. Os machos são retirados automaticamente do equipamento e encaminhados para uma bancada onde ocorre a rebarbação e montagem. Depois que completar um lote de peças, as mesmas são encaminhadas para estufa, para que ocorra a queima por completo da resina fenólica.

A Figura 12 mostra um macho confeccionado em areia pelo processo de cura a quente já dentro da coquilha, aguardando o fechamento da mesma para após, ocorrer o vazamento do metal.



Figura 12: Macho em areia dentro da coquilha

Fonte: Empresa estudada.

### c) Vazamento

O robô que realiza o vazamento do metal nos moldes localiza-se fisicamente próximo ao forno de espera, para facilitar o transporte do metal líquido e reduzir as perdas térmicas, evitando assim, a maior produção de escória.

O processo de vazamento é totalmente mecanizado, conforme mostra a Figura 13, o robô coleta no forno de espera exatamente a quantidade de alumínio líquido necessária para a produção das peças e efetua a transferência do metal líquido para vazamento nos moldes que já contêm os machos.



Figura 13: Coleta do metal para vazamento no molde.

Fonte: Empresa estudada.

A temperatura de vazamento é em torno de 790°C.

### d) Serra

Corte de canais e massalotes são realizados em serra fita.

#### e) Jateamento manual

Após o processo de serra para a retirada dos canais de alimentação, deverá ser feita a remoção da parte central do macho de areia para evitar o excesso de areia nos tanques. Essa remoção é feita com o jateamento de peça por peça para retirar toda areia de macho ainda existente no interior da peça.

O jateamento para a remoção da parte central do macho deve ser feito sempre após a operação de serrar canais e massalotes.

#### f) Remoção térmica

Os cilindros são acondicionados nos cestos apropriados da remoção térmica da areia, conforme mostram as Figuras 14 e 15.



Figuras 14 e 15: Cilindro contendo as peças  
Fonte: Empresa estudada

O cesto com as peças a serem aquecidas é colocado dentro do forno (Figura 16). As peças ficam aquecendo durante um tempo pré determinado e logo após saírem do forno, as peças seguem o mais rápido possível para um tanque com água para choque térmico (Figura 17).



Figura 16: Forno de aquecimento.      Figura 17: Tanque de resfriamento.  
Fonte: Empresa estudada.

### **g) Jateamento automático**

Antes do jateamento com a granalha de inox as peças devem passar pela remoção térmica e pela estufa.

Na operação de jateamento deve ser utilizado granalha de inox. O jateamento automático é realizado em apenas um tipo de cilindros por vez, devido a sua geometria complexa. A passagem por este equipamento deve fornecer um padrão para limpeza dos canais.

Este procedimento ocorre quando o operador posiciona a peça no dispositivo, trava a porta e aciona o botão de início de ciclo, aguardando o jateamento limpeza e marcação da peça jateada.

### ***4.3 Técnicas de coleta e análise de dados***

Este trabalho está baseado em um estudo de caso de uma indústria metalúrgica, analisando e diagnosticando o processo de fundição e buscando alternativas de processo que viabilizem a melhoria do Sistema de Gestão de Meio Ambiente, Saúde e Segurança do trabalhador.

A metodologia empregada baseou-se no levantamento e compilação de dados que foram coletados em visitas realizadas à empresa e entrevista com funcionários da área de produção, meio ambiente, segurança e saúde no trabalho.

As visitas à empresa estudada proporcionaram a identificação de questões essenciais para a realização deste trabalho. O histórico de dados fornecidos pela empresa auxiliou na identificação dos pontos críticos a serem melhorados. Buscou-se explorar os seguintes aspectos:

- Coleta de informações sobre os locais no processo produtivo;
- Realizar o levantamento preliminar dos aspectos e impactos ambientais e perigos e danos ocupacionais das atividades;
- Identificação das causas da geração de resíduos, propondo soluções de boas práticas de trabalho.

### ***4.4 Limitações da pesquisa***

Durante a visita à empresa para coleta de dados para compor este trabalho, não foi possível visualizar todo o processo produtivo, pois muitas máquinas e equipamentos estavam inoperantes pois estavam em manutenção preventiva devido às férias coletivas que estavam por

vir. Não foi possível acompanhar as etapas de vazamento do forno para o cadinho, retirada do macho da peça e a quebra de canal.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Principais medidas de produção mais limpa implantadas na empresa estudada

a) Reciclagem de filtros com alumínio: Os filtros são refundidos com o objetivo de retirar o alumínio para o reaproveitamento como matéria prima no processo. Esses filtros localizam-se no interior do molde e servem para filtrar as impurezas que ainda possam estar no alumínio no momento do vazamento. As Figuras 18 e 19 mostram os filtros antes e após o vazamento do metal, respectivamente.

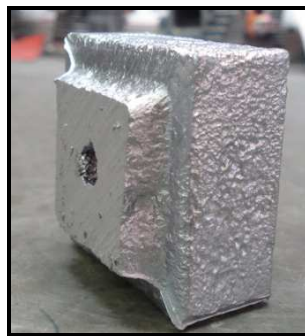


Figura 18: Filtro antes do vazamento. Figura 19: Filtro após vazamento.

Fonte: Empresa estudada

Após o processo de solidificação, o filtro era descartado, porém percebeu-se que havia uma grande quantidade de alumínio impregnado. Com um simples processo de refusão, o alumínio que fica aderido ao filtro, torna-se novamente matéria prima no processo (Figura 20).



Figura 20: Refusão do alumínio

Fonte: Empresa estudada

Esta reciclagem interna encontra-se no nível 2 das opções de produção mais limpa e refere-se a todos os processos de recuperação de matérias primas, materiais auxiliares e insumos que são feitos dentro da planta industrial.

b) Utilização de tecnologia limpa: A modificação tecnológica foi primordial para o aprimoramento do produto e melhoria do serviço. A implantação de um robô para abastecer os moldes (Figura 21) trouxe diversos benefícios ao processo, já que ele coleta apenas a quantidade de alumínio necessária para preencher as cavidades das coquilhas, evitando assim o desperdício de matéria prima.



Figura 21: Robô que abastece as coquilhas

Fonte: Empresa estudada

Esta mudança tecnológica encontra-se no nível 1 da produção mais limpa, cujo a prioridade são medidas que busquem eliminar ou minimizar resíduos, efluentes e emissões no processo produtivo onde são gerados. A principal meta é encontrar medidas que evitem a geração de resíduos na fonte.

c) Tecnologia limpa com aquecimento da areia: O jato de granalha (Figura 22), utilizado para retirada do macho de dentro da peça já pronta, está sendo substituído por fornos que aquecem a areia até perder a resina.





Figura 22: Jato de granalha

Fonte: Empresa estudada

Esta mudança tecnológica, nível 1 da produção mais limpa, veio para reduzir a exposição do trabalhador à poeira e diminuir a dispersão da areia para o meio ambiente.

### ***5.2 Avaliação do resultado da aplicação das medidas de produção mais limpa implantadas na empresa estudada em relação aos indicadores de SSMA, PPRA e planilha de aspectos e perigos***

a) Reciclagem de filtros de alumínio: Com o processo de reciclagem interna implantado na empresa, pode-se recuperar aproximadamente 2,5 toneladas de alumínio por mês. Este metal que antes era descartado junto dos filtros como resíduo, agora serve de matéria prima para fundição de novas peças.

Adotando esta postura, a empresa preserva a extração de alumínio que é um recurso natural não renovável, ou seja, é um elemento usado nas atividades antrópicas, e que não têm capacidade de renovação. Isso quer dizer que quanto mais se extrai, mais as reservas diminuem, diante desse fato é importante adotar medidas de consumo comedido, poupando recursos para o futuro.

Há um treinamento para qualificação dos funcionários e este deverá atingir um nível mínimo para a execução de tal serviço. Este procedimento é essencial ao bom andamento do trabalho, refletindo diretamente à rentabilidade da produção.

b) Utilização de tecnologia limpa: Dentre os benefícios trazidos à produção com esta mudança de tecnologia (implantação do robô) estão: a diminuição no consumo de matéria prima (alumínio) e da geração de resíduo (óxido de alumínio), Figura 23, uma vez que o robô calcula exatamente a quantidade de metal líquido a ser vazado para confecção das peças. Também

diminuiu a geração de resíduos de EPI's, já que não há mais trabalhador realizando esta atividade.



Figura 23: Óxido de alumínio

Fonte: Empresa estudada

Reduziu o risco para o trabalhador, pois com a saída de um operador na linha de produção, reduz sua exposição ao agente físico calor e elimina o risco de acidentes por queimadura, uma vez que o trabalhador não fica em contato direto com as superfícies quentes das coquilhas e as peças recém fundidas.

c) Tecnologia limpa com aquecimento da areia: Esta nova tecnologia cessa o lançamento das micro-esferas no ambiente de trabalho no momento da abertura da máquina de jateamento, trazendo benefícios tanto para a saúde do trabalhador, como para o meio ambiente.

Eliminando a respiração de poeiras, o trabalhador não estará mais exposto a este agente físico, reduzindo o risco de adquirir doenças respiratórias ou irritação das vias aéreas, apesar de a empresa atender todos os padrões exigidos na legislação. Para esta comprovação, são feitos exames periódicos nos funcionários da fábrica e monitoramento das condições de trabalho.

Acabando com a geração de material particulado e poeiras, reduz também a quantidade de areia contaminada dispersa no ambiente, reduzindo riscos de contaminação do ambiente. Também traz benefícios ambientais como a redução no consumo de recursos naturais, pois com a alteração do processos utiliza-se menos ar comprimido, ou seja, menos energia elétrica.

### ***5.3 Proposta de medidas de produção de mais limpa a serem implantadas na empresa estudada para melhoria contínua do SSMA***

a) Seria interessante haver uma mudança de matéria prima com relação à areia utilizada no processo de fabricação dos machos. Sugere-se, a partir de estudos de viabilidade técnica e

econômica do processo, a busca por materiais alternativos, cujo custo possa ser diluído em função da não geração de resíduo com necessidade de descarte como resíduo perigoso.

O mais adequado seria a substituição, total ou parcial, das areias contendo resinas fenólicas utilizadas na confecção de machos, para isso, os setores de Meio Ambiente e Engenharia deveriam solicitar ao fabricante de resinas que o mesmo apresentasse uma areia com resina alternativa, menos poluente, e que pudesse substituir a que é usada atualmente sem o comprometimento da qualidade das peças e sem alterações no processo.

Esta substituição de matéria prima contribuiria para a saúde do trabalhador, uma vez que na Fispq – Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos – informa vários efeitos adversos que a resina fenólica pode trazer à saúde humana, tais como:

- **Olhos:** Vapores e contato do produto com os olhos podem causar conjuntivite química.
- **Pele:** Pode causar ressecamento, fissuras, irritações e dermatite.
- **Inalação:** Pode causar irritação das vias respiratórias, além de dores de cabeça, desmaios e náuseas. Inalações de altas concentrações podem levar a perda da coordenação, enfraquecimento e perda da consciência.

Ainda que segundo o PPRA o ambiente de trabalho apresente os agentes químicos abaixo do limite estabelecido pela NR 15. esta mudança de matéria prima poderia trazer benefícios ao trabalhador com a redução das névoas, neblinas, gases e vapores resultantes da cura da resina fenólica, sem contar o grande benefício ao meio ambiente através da não geração de resíduo perigoso (areia contaminada), uma vez que a resina fenólica, por ser solúvel, permanece nas águas, afetando o ecossistema.

b) Para a compra de areia com resina fenólica deveria adotar embalagens retornáveis de maior volume, assim reduziria o desperdício e perdas por embalagens rasgadas (vazamento de areia para o chão) e a quantidade de embalagens descartadas, já que hoje esta matéria prima é fornecida em sacos de 25 kg. Deverá ser estudada junto à equipe de segurança do trabalho a viabilidade das questões ergonômicas, e juntamente com o setor de engenharia, verificar a possibilidade de alimentação automática do compartimento que recebe a areia, evitando o contato do trabalhador com a resina da areia. Se todos os quesitos para estas boas práticas operacionais “*good housekeeping*” forem atendidos, o Setor de compras deverá verificar com o fornecedor desta matéria prima a possibilidade de realizar esta modificação.

As boas práticas operacionais (*good housekeeping*) encontra-se no nível 1 da produção mais limpa, e implica na adoção de medidas de procedimento, técnicas, administrativas ou institucionais que uma empresa pode implantar para minimizar os resíduos, efluentes e emissões. Boas práticas operacionais são frequentemente implementadas com baixo custo.

c) Apesar de a temperatura ambiente estar dentro dos padrões exigidos no PPRA, deveria ser estudada a implantação de um sistema para redução do calor e aumento da troca de ar no pavilhão onde acontecem as atividades, já que o ambiente tem a temperatura mais elevada que em outros setores na empresa. Os novos pavilhões, construídos para a instalação de outras fundições, já possuem pé direito mais alto, o que melhora ainda mais a ventilação do ambiente.

## 6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Com base nas medidas de produção mais limpa implantadas na empresa e os seus resultados para o SSMA, conclui-se que:

- Com a implantação do processo de fusão dos filtros conseguiu-se reutilizar como matéria prima no processo de fabricação das peças uma quantidade expressiva do metal contido na superfície dos filtros. Esta reciclagem interna contribuiu para a preservação de recursos naturais (alumínio), reduziu a geração de resíduos a ser descartado em aterros.
- A implantação de um robô para abastecer os moldes trouxe diversos benefícios ambientais ao processo, tais como: a diminuição no consumo de matéria prima (alumínio) e da geração de resíduo (óxido de alumínio). As vantagens para a segurança do trabalhador foi sua saída da frente da linha de produção, reduzindo sua exposição ao agente físico calor e eliminando o risco de acidentes por queimadura, uma vez que o trabalhador não fica em contato direto com as superfícies quentes das coquilhas e as peças recém fundidas.
- A substituição do jato de granalha por tanques, na etapa de retirada do macho de dentro da peça fundida, serviu para reduzir a exposição do trabalhador à poeira e diminuir a dispersão da areia para o meio ambiente, evitando a exposição a este agente físico, o trabalhador fica menos suscetível a doenças respiratórias e o meio ambiente livre de possíveis contaminações pela areia com resina fenólica.

Com base no resultado do trabalho, a empresa não possui ambientes insalubres nem níveis fora dos limites estipulados na legislação e também já aplica produção mais limpa em seu processo. Havia um Sistema de Gestão de Saúde, Segurança e Meio Ambiente (SSMA) bem desenvolvido e definido, e a empresa sempre visando à melhoria contínua deste sistema de gestão, para oferecer aos clientes da organização produtos e serviços de qualidade, buscando a sua satisfação, atuando sempre de modo seguro, saudável e com responsabilidade socioambiental. As várias ações que a empresa já executa podem ser melhoradas, e para isso, são feitas as seguintes recomendações:

- Buscar alternativas viáveis para a substituição, total ou parcial, das areias contendo resinas fenólicas utilizadas na confecção de machos;
- Adotar a utilização de embalagens retornáveis, de maior volume, na compra da areia para a fabricação dos machos;

- Implantar um sistema visando a redução do calor e aumento da troca de ar no pavilhão onde ocorrem as atividades.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIFA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO – COMISSÃO DE MEIO AMBIENTE. **Manual de Regeneração e Reuso de Areias de Fundição**. São Paulo: Associação Brasileira de Fundição, 1999.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6024. Informação e documentação – Numeração progressiva das seções de um documento escrito – Apresentação**. Rio de Janeiro, maio de 2003.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6027. Informação e documentação – Sumário – Apresentação**. Rio de Janeiro, maio de 2003.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6028. Informação e documentação – Resumo – Apresentação**. Rio de Janeiro, novembro de 2003.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas: **NBR 10004. Classificação de Resíduos**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas: **NBR 10005. Procedimento para obtenção de extrato de lixiviado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas: **NBR 10006. Procedimento para obtenção de extrato de solubilizado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas: **NBR 10007. Amostragem de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10520: Citações em documentos – Apresentação**. Rio de Janeiro, Agosto, 2002.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas: **NBR 12799. Ferramental de Fundição, Terminologia**, 1993.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14724. Informação e documentação – Trabalhos acadêmicos – Apresentação**. Rio de Janeiro, janeiro de 2006.

ADEGAS, Roseane Gonçalves. **Perfil Ambiental dos Processos de Fundição que Utilizam Areias no Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

AURAS, André Paegle; MORO, Norberto. **Processo de Fabricação: Fundição**. Material didático do Curso Técnico de Mecânica Industrial. Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

ÁVILA, Josefa Barros Cardoso; CASTRO, Márcia Caldas; MAYRINK, André Luiz Valente. **Indicadores de Acidentes do Trabalho: Ranking das Atividades Econômicas**. Brasília, 2002.

CARNIN, Raquel Luísa Pereira. **Reaproveitamento do Resíduo de Areia Verde de Fundição como Agregado de Misturas Asfálticas**. Dissertação de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

CASOTTI, Bruna Pretti; FILHO, Edmar Del Bel; CASTRO, Paulo Castor. **Indústria de fundição: situação atual e perspectivas**. Artigo, 2011.

CASTRO, Ana Cristina Fiori; OLIVEIRA, Edmar Bonfim. **O Desenvolvimento Sustentável e as Implicações da Produção Mais Limpa: um estudo de caso no setor moveleiro**. Artigo. Marumbi, 2006.

CEBDS - Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. **Guia de Produção Mais Limpa**. Rio de Janeiro. Disponível em <<http://www.cebds.org.br/cebds/ecopmaisl-rede-brasileira.asp>>. Acesso em janeiro 2013.

CNTL. Centro Nacional de Tecnologias Limpas. **Implementação de programas de produção mais limpa**. Porto Alegre, CNTL/SENAI-RS/UNIDO/UNEP, 2003.

INSTITUTE FOR PROSPECTIVE TECHNOLOGICAL STUDIES. <[www.eippcb.jrc.es](http://www.eippcb.jrc.es)>. **Integrated Pollution Prevention and Control**. Reference Document on Best Available Techniques (BAT) in the Smitheries and Foundries Industries, acesso em maio 2005.

ISTC ILLINOIS. <[www.istc.illinois.edu.br](http://www.istc.illinois.edu.br)> . Disponível em novembro de 2009.

LIMA, Gilson Brito Alves; QUELHAS, Osvaldo Luiz Gonçalves. **Sistema de Gestão de Segurança e Saúde Ocupacional: Fator Crítico de Sucesso à Implantação dos Princípios do Desenvolvimento Sustentável nas Organizações Brasileiras**. Publicação em revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente. Rio de Janeiro, 2006.

MACIEL, Cristiane; MORAES, Carlos Alberto Mendes; TEIXEIRA, Cláudia Echevengúá; SCHNEIDER, Ivo André. **Minimização da Geração de Areia de Fundição Utilizando Ferramentas do Programa de Produção Mais Limpa**. São Paulo, 2009.

NR-9. **Programa de Prevenção de Riscos Ambientais – PPRA**. Segurança e Medicina do Trabalho (pág 99 – 102), 1994.

PEREIRA, Isabel Cristina Mendes. **Sistema de Gestão Integrada de Meio Ambiente e Saúde e Segurança**. Monografia de Especialização. Universidade Federal do rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

POLIURETANOS. <[www.poliuretanos.com.br/cap7/ligantes](http://www.poliuretanos.com.br/cap7/ligantes)>. Disponível em junho, 2009.

PROSNA. **Machined metal parts**. Disponível em <<http://www.prosna.com/sand%20casting%20process%202.jpg>>. Acesso em setembro de 2009.

SCHEUNEMANN, Ricardo. **Regeneração de Areia de Fundição Através de Tratamento Químico Via Processo Fenton**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

SISTEMA FIRJAN. **Manual de Indicadores Ambientais**. Rio de Janeiro, 2008.



TOLEDO, Edna Beronheiro Signorelli. **Método de Utilização de Areia de Fundição e Resíduo de Poeira de Jateamento (Micro Esferas de Vidro) para Produzir Cerâmica Vermelha.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

VELHO, Rochéle Cristiane. **Proposta de Implantação de um Sistema de Gestão Integrado Somando às Questões Ambientais e de Saúde e Segurança Ocupacional ao Sistema de Gestão da Qualidade Implementado.** Monografia de Especialização. Universidade Federal do rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

WERNER, Eveline de Magalhães; BACARJI, Alencar Garcia; HALL, Rosemar José. **Produção Mais Limpa: Conceitos e Definições Metodológicas.** Artigo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso. Cuiabá. Disponível em <[http://www.aedb.br/seget/artigos09/306\\_306\\_PMaisL\\_Conceitos\\_e\\_Definicoes\\_Metodologicas.pdf](http://www.aedb.br/seget/artigos09/306_306_PMaisL_Conceitos_e_Definicoes_Metodologicas.pdf)>. Acesso em março de 2013