



UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA DE PRODUÇÃO
MAIS LIMPA EM UMA INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO DE
PEQUENO PORTE**

DANIEL CANELLO PIRES

São Leopoldo, Dezembro de 2011.

DANIEL CANELLO PIRES

**IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA DE PRODUÇÃO MAIS
LIMPA EM UMA INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO DE PEQUENO
PORTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes

Coorientador: Prof. Dr. Guilherme Luís Roeh
Vaccaro

Banca examinadora: Prof. Dr. Armando Hirohumi
Tanimoto

Prof. Dr. Asher Kiperstok

Prof^a. Dra. Feliciane Andrade
Brehm

Prof. Dr. Francisco Anastácio de
Oliveira Neto

São Leopoldo, Dezembro de 2011.

P667i Pires, Daniel Canello
Implementação do programa de produção mais limpa em uma indústria de fundição de pequeno porte / Daniel Canello Pires. -- 2011.

131 f. : il. ; 30cm.

Dissertação (mestrado) -- Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, São Leopoldo, RS, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes;
Coorientador: Prof. Dr. Guilherme Luís Roehe Vaccaro.

1. Gestão Ambiental. 2. Ecologia industrial. 3. Produção mais limpa. 4. Indicador ambiental. 5. Engenharia civil. . 6. Indústria de fundição. I. Título. II. Moraes, Carlos Alberto Mendes. III. Vaccaro, Guilherme Luís Roehe.

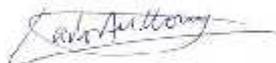
CDU 658:504

DANIEL CANELLO PIRES

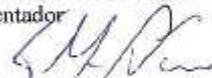
“IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA EM UMA INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO DE PEQUENO PORTE”

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração: Gerenciamento de Resíduos, da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Aprovada em 16 de dezembro de 2011.



Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes
Orientador



Prof. Dr. Guilherme Luís Roehe Vaccaro
Coorientador



Prof. Dr. Claudio de Souza Kazmierczak
Coordenador do PPGEC/UNISINOS

BANCA EXAMINADORA



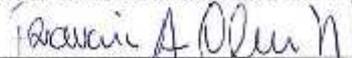
Prof. Dr. Armando Hirohumi Tanimoto



Prof. Dr. Asher Kiperstok



Profa. Dra. Feliciane Andrade Brehm



Dr. Francisco Anastácio de Oliveira Neto

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço aos meus pais, familiares e amigos por me proporcionarem o sentido da educação, compreensão e tolerância em todos os momentos da minha vida, sendo imprescindíveis para a conclusão desta etapa. Principalmente à minha nova família, que sofreu as consequências deste empenho com amor e paciência.

Ao meu coorientador Prof. Guilherme Vaccaro e em especial ao meu orientador, Prof. Carlos Moraes, por acreditar no meu trabalho e me proporcionar oportunidades e conhecimentos que basearam todas as minhas conquistas acadêmicas.

Ao Núcleo de Caracterização de Materiais (NucMat) e todos os bolsistas, pesquisadores, laboratoristas e colegas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho. Antes de excelentes profissionais e futuros profissionais, encontrei muitos amigos que foram decisivos e indispensáveis para esta conquista e muitas outras.

Agradeço à Indústria Metalúrgica Lorscheitter Ltda. e todos os seus colaboradores pelo auxílio em diversas etapas e principalmente por ter aberto suas portas com intenção de melhorar cada vez mais seus processos e sua relação com o planeta. Esse, sem dúvida, é o principal ganho desta parceria.

Agradeço aos meus colegas e professores do PPGEC que foram compreensivos e companheiros ao longo desta caminhada. O esforço não foi em vão.

FONTES DE FINANCIAMENTO DA PESQUISA



Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES/PROSUP



Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq



Núcleo de Caracterização de Materiais – NucMat/Unisinos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA	12
1.2	OBJETIVOS	14
1.2.1	<i>Objetivo geral</i>	14
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	14
1.3	ESTRUTURA DA PESQUISA	15
1.4	DELIMITAÇÕES DO TRABALHO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	INDÚSTRIA E MEIO AMBIENTE	16
2.2	EVOLUÇÃO DAS PREOCUPAÇÕES AMBIENTAIS	17
2.3	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	18
2.4	INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO	21
2.5	RESÍDUOS INDUSTRIAIS – DEFINIÇÕES, CLASSIFICAÇÃO E FUNDIÇÃO	26
2.6	EVOLUÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS.....	29
2.7	ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS (AIA)	32
2.8	ECOLOGIA INDUSTRIAL.....	35
2.9	PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO, PRODUÇÃO LIMPA E PRODUÇÃO MAIS LIMPA	38
2.10	BALANÇO DE MASSA.....	49
2.11	INDICADORES AMBIENTAIS.....	53
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	58
3.1	APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO	58
3.1.1	<i>Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos</i>	60
3.1.2	<i>Análise de Aspectos e Impactos Ambientais</i>	63
3.1.3	<i>Ferramentas do Programa de Produção mais Limpa</i>	64
3.2	IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA DE P+L NA FUNDIÇÃO	66
3.2.1	<i>Elaboração de Indicadores Ambientais para P+L</i>	69
3.2.2	<i>Elaboração de Indicadores Econômicos para P+L</i>	70
3.3	AVALIAÇÃO DO BALANÇO DE MASSA E EFICIÊNCIA DOS MATERIAIS.....	72
4	APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	73
4.1	A FUNDIÇÃO – HISTÓRICO	73
4.2	CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO.....	77
4.3	IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA	81
4.3.1	<i>Sugestões de P+L</i>	84
4.3.2	<i>Barreiras e Facilidades Encontradas</i>	105
4.4	BALANÇO DE MASSA – CONSUMO E EFICIÊNCIA DE RECURSOS ENVOLVIDOS NO PROGRAMA DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA	107
5	CONCLUSÃO.....	120
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	121
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição da produção de fundidos no Brasil.	23
Tabela 2 - Produção de fundidos no Brasil, em toneladas.	24
Tabela 3 - Projeção da produção e exportação de fundidos até 2030.....	25
Tabela 4 - Exemplos de aspectos e impactos ambientais críticos.	34
Tabela 5 - Análise ambiental e de benefícios econômicos anuais de uma indústria após a implementação da P+L.....	47
Tabela 6 - Áreas de atuação dos Indicadores.	57
Tabela 7 - Definição para abrangência do impacto ambiental.	69
Tabela 8 - Definição do tipo de mudança cultural envolvido.....	69
Tabela 9 - Quadro de indicadores ambientais.	70
Tabela 10 - Indicadores econômicos baseados em investimento e tempo de retorno.	71
Tabela 11 - Indicadores econômicos baseados em investimento e tempo de retorno corrigidos.	72
Tabela 12 - Listagem de equipamentos da empresa.	81
Tabela 13 - Custos de produção de cada tecnologia.....	86
Tabela 14 - Comparativo de consumo de insumos no processo de mistura.	89
Tabela 15 - Comparativo de perdas de insumos no processo de mistura.	89
Tabela 16 - Comparativo de custos do processo de mistura e benefício anual.	89
Tabela 17 - Quantificação de areia verde desperdiçada.	91
Tabela 18 - Caixas moldadas na moldagem mecanizada em areia verde.....	92
Tabela 19 - Perdas de areia verde por caixa moldada.	93
Tabela 20 - Desenvolvimento do benefício econômico gerado pela oportunidade de P+L.	93
Tabela 21 - Perdas de areia verde.	95
Tabela 22 - Perdas diárias de areia verde e benefício econômico.	95
Tabela 23 - Perdas anuais de areia verde e benefício econômico.	95
Tabela 24 - Consumo e custos de Sucata Forjada e Prensada e Cavaco de ferro.....	100
Tabela 25 - Cálculo do custo unitário da Areia Fenólica preparada.	104
Tabela 26 - Benefício econômico por caixa moldada.	104
Tabela 27 - Resumo dos ganhos obtidos com as melhorias de P+L.	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais matérias primas e outros materiais envolvidos na fundição.	27
Figura 2 - Balanço de massa qualitativo de fundição de ferro nodular e cinzento.	29
Figura 3 - Geração de resíduos no ciclo de vida de um produto.	30
Figura 4 - Níveis de abrangência da Ecologia Industrial.	1
Figura 5 - Modelo de ecossistema industrial.	37
Figura 6 - Evolução das questões ambientais.	41
Figura 7 - Custos e benefícios com a implementação de medidas de P+L.	42
Figura 8 - Distribuição das medidas de P+L adotadas.	45
Figura 9 - Fluxos de materiais relacionados com o metabolismo físico de uma região.	49
Figura 10 - Balanço de massa de produtos fundidos no Reino Unido	1
Figura 11 - Pirâmide de informações.	54
Figura 12 - Fluxograma geral do processo com Areia Fenólica.	1
Figura 13 - Balanço de massa qualitativo de cada etapa do processo de fundição.	63
Figura 15 - Níveis de P+L que as sugestões se enquadraram, por célula.	65
Figura 14 - Fluxograma geral das ferramentas de Produção mais Limpa.	1
Figura 16 - Passos para a implementação de um programa de P+L.	67
Figura 17 - Exemplo de diagrama de blocos para o balanço de massa qualitativo e quantitativo.	68
Figura 18 - Localização da empresa.	74
Figura 19 - Linha do tempo da parceria NucMat/Lorscheitter.	1
Figura 20 - <i>Layout</i> básico da empresa.	77
Figura 21 - Fluxograma da Moldagem Mecanizada em Areia Verde.	78
Figura 22 - Fluxograma da Moldagem Manual em Areia Verde	79
Figura 23 - Fluxograma da Moldagem Manual em Areia Fenólica.	80
Figura 24 - Levantamento de sugestões emitidas em 2010.	83
Figura 25 - Levantamento de sugestões emitidas em 2011.	83
Figura 26 - Forno Rotativo a Óleo.	85
Figura 27 - Forno Elétrico à Indução.	85
Figura 29 - Misturador automático.	88
Figura 28 - Preparação da Areia Fenólica com misturador Simpson.	1
Figura 31 - Colarinho antigo.	91
Figura 30 - Areia verde no chão ao redor da máquina de moldagem.	1
Figura 32 - Formato do novo colarinho.	91
Figura 33 - Queda de areia verde da esteira.	94
Figura 34 - Barreiras para evitar queda de areia verde.	1
Figura 35 - Máquina de Usinagem CNC.	96
Figura 36 - Danos causados ao equipamento.	97
Figura 37 - Abertura na parede ao lado na CNC.	97
Figura 38 - Cavacos de alumínio e ferro.	1
Figura 39 - Acondicionamento de areia base.	101
Figura 40 - Moega para acondicionamento de areia base.	1
Figura 41 - Moldes quadrados.	103
Figura 42 - Moldes redondos.	103
Figura 43 - Produção de ferro fundido na Lorscheitter ao longo dos 36 meses.	108
Figura 44 - Consumo de Areia Base no período de estudo.	108
Figura 45 - Relação do consumo de areia base por quilograma de ferro fundido.	109
Figura 46 - Relação do consumo de Resina Fenólica por ferro fundido produzido.	110
Figura 47 - Relação do consumo de Catalisador por ferro fundido produzido.	110

Figura 48 - Relação do consumo de Ferro Gusa por ferro fundido produzido.....	111
Figura 49 - Consumo de Sucatas no período de estudo.....	112
Figura 50 - Relação do consumo de Sucatas Metálicas por ferro fundido produzido.....	112
Figura 51 - Consumo de Carburante ao longo do período de pesquisa.	113
Figura 52 - Relação do consumo de Ferro Liga Si/Mg por ferro fundido produzido.....	114
Figura 53 - Consumo dos principais materiais envolvidos ao longo do período de estudo. ...	115
Figura 54 - Consumo de energia elétrica mensal de toda a empresa.....	116
Figura 55 - Consumo mensal de Óleo de Baixo Teor de Enxofre (BTE).	117
Figura 56 - Consumo mensal de Oxigênio Líquido na empresa.	117
Figura 57 - Indicador de consumo de energia elétrica por tonelada de fundido desenvolvido pela empresa.	118

RESUMO

PIRES, D.C. **Implementação do programa de produção mais limpa em uma indústria de fundição de pequeno porte.** São Leopoldo, 2011. 131 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2011.

A indústria de Fundição contribui para a sociedade atendendo a demanda da produção e reciclagem de peças metálicas, porém possui uma gama de aspectos ambientais por utilizar quantidades significativas de matérias primas extraídas do meio ambiente e produzir uma série de resíduos contaminantes que geram consequentes impactos ambientais. Assim, torna-se necessário desenvolver indicadores de qualidade ambiental e de processo que sintetizem a situação organizacional refletindo barreiras e gargalos que podem impedir o desenvolvimento ambientalmente adequado do processo de obtenção de peças fundidas. Nesta Dissertação foi utilizada como objeto de estudo uma indústria de Fundição de pequeno porte com um programa de Produção mais Limpa (P+L) implementado. O presente trabalho tem como objetivo realizar avaliação do processo produtivo desta empresa com a intenção de quantificar e qualificar o movimento das principais matérias e energia ao longo das melhorias de P+L implementadas, considerando a reinserção dos mesmos no próprio processo, observando como as ferramentas de P+L podem valorizar e facilitar a utilização dos materiais e quais os benefícios ambientais e econômicos envolvidos. Desta forma, buscou-se criar indicadores que mostrem os benefícios da implementação da metodologia de P+L e sua relação com outras ferramentas complementares de sustentabilidade dentro do conceito de Ecologia Industrial, sendo capaz de tanto reduzir consumo de matérias primas e geração de resíduos, quanto de agregar valor aos resíduos inerentes ao processo. Os principais resultados obtidos foram os indicadores propostos que permitiram subsidiar as discussões sobre o andamento da parceria empresa/grupo de pesquisa e a sustentabilidade do processo de fundição em questão. Ao passo que a empresa segregou e qualificou seus “resíduos”, transformou-os em subproduto e coproduto para utilizá-los em seu próprio sistema produtivo, agregou um valor de difícil mensuração, porém extremamente significativo, já que envolveu o consumo destes materiais oriundos de um processo de produção em substituição ao consumo de recursos naturais, diminuindo assim a pressão sobre os ecossistemas naturais e aumentando a “reciclabilidade” de seus materiais e a produtividade de seu processo.

Palavras-chave: gestão ambiental; ecologia industrial; produção mais limpa; indicadores ambientais; fundição.

ABSTRACT

PIRES, D.C. **Implementation of cleaner production program in a small foundry industry.** São Leopoldo, 2011. 131 pages. Dissertação (Master Degree in Civil Engineering) – Postgraduate Civil Engineering Program, Unisinos, São Leopoldo.

The foundry industry contributes to society by meeting the demand of production and recycling of metal parts, but has a range of environmental aspects by using significant quantities of raw materials extracted from the environment and produces a series of wastes that generate contaminants resulting environmental impacts. Thus, it becomes necessary to develop indicators of environmental quality and process that summarize the organizational situation reflecting barriers and bottlenecks which can prevent the development of environmentally appropriate process for obtaining castings. In this dissertation was used as study object a small foundry industry with a program of Cleaner Production (CP) implemented. The present work has as objective assessment of the production process of this company with the intent to quantify and qualify the movement of the main materials and energy along the CP improvements implemented, considering the reinsertion in the same process, noting how the CP tools can enhance and facilitate the use of materials and what the environmental and economic benefits involved. In this way the study aimed to develop indicators that show the benefits of implementing the CP methodology and its relationship with other complementary tools for sustainability within the concept of Industrial Ecology, being able to both reduce consumption of raw materials and waste generation, and to add value to the waste inherent to the process. The main results are the proposed indicators that allowed subsidize discussions about the progress of the partnership company / research group and the sustainability of the casting process in question. While the company segregated and qualified their "waste", turned them into product and byproduct to use them in your own production system, has added value difficult to measure, but extremely significant because it involved the use of these materials from a production process to replace the consumption of natural resources, thus reducing pressure on natural ecosystems and increasing the "recyclability" of their materials and productivity of your process.

Key-words: environmental management, industrial ecology, cleaner production, environmental indicators; foundry.

1 INTRODUÇÃO

O crescente desenvolvimento industrial e consequente avanço tecnológico trazem consigo benefícios, mas também problemas decorrentes para a sociedade que causam grandes impactos ao meio ambiente. O uso indiscriminado de recursos extraídos da natureza, bem como a geração de resíduos na produção, compromete o meio ambiente e degrada a qualidade de vida da população, o que geralmente é percebido com maior atraso, muitas vezes estando associado a desperdícios e ineficiência dos processos dentro das organizações.

Os resíduos industriais são um dos fatores mais importantes neste cenário, representando uma parcela significativa das causas responsáveis por essa degradação. A indústria da fundição, responsável pela fabricação de peças metálicas, contribui para a sociedade atendendo a demanda da reciclagem de sucata metálica e produtos com preço mais acessível, mas ao mesmo tempo, possui um alto risco de impacto ao meio ambiente por gerar uma série de resíduos potencialmente contaminantes e consequentes passivos ambientais.

O setor está contido dentro da categoria “Indústria Metalúrgica”, e segundo a Lei nº 10.165 de 27 de Dezembro de 2000, que altera a Lei nº 6.938 (Política Nacional de Meio Ambiente), possui classificação de potencial poluidor “A” e grau de utilização de recursos naturais “Alto”, sendo um “AAalto”, o que o caracteriza como atividade de grande impacto ambiental (PNMA, 2000).

Devido ao aumento do custo para o tratamento e a disposição dos resíduos industriais, os esforços para uma solução mais efetiva em relação a esses passivos têm sido um assunto em discussão. Além disso, a humanidade está consumindo os recursos naturais em um ritmo superior à capacidade de reposição de muitas das matérias primas retiradas do meio ambiente.

Deste modo, a partir da década de 1990, as empresas passaram a adquirir posturas pró-ativas quando se trata de prevenção à poluição. Nesse sentido, surge o conceito de Produção mais Limpa (P+L), uma ferramenta de gestão ambiental que visa reduzir os impactos ambientais através da análise das causas da geração de resíduos e alterações dos processos geradores dos mesmos.

Diminuir os desperdícios implica em maior eficiência no processo e menores investimentos para soluções de problemas ambientais. Reduzir a poluição através do uso

racional de matérias primas, água e energia, significa uma opção ambiental e econômica definitiva e a transformação destes recursos em produtos, e não em resíduos, torna uma empresa mais competitiva.

Além disso, no ano de 2010, entrou em vigor a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e no que se refere aos seus instrumentos, deve-se salientar a importância dada à cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado para o desenvolvimento de pesquisas e de novos produtos. Há também o incentivo ao uso de indicadores de desempenho ambiental em planos de gestão integrada de resíduos sólidos, contemplando ações específicas a serem desenvolvidas no âmbito dos órgãos da administração pública, com vistas à utilização racional dos recursos ambientais, ao combate a todas as formas de desperdício e à minimização da geração de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

O aprofundamento e a seriedade do nível de compreensão, análise e tratamento de processos, produtos e serviços, também são evidenciados na PNRS quando se citam termos como Análise do Ciclo de Vida (ACV), Logística Reversa, Gestão Integrada de Resíduos, Responsabilidade Compartilhada, Consumo Sustentável, entre outros, que vêm aparecendo a mais tempo em legislações estaduais de estados com maior preocupação ambiental.

Baseando-se na avaliação de oportunidades de minimização de resíduos através da ferramenta de P+L e em dados quantitativos e qualitativos que forneçam informações sobre determinadas variáveis e seus comportamentos na produção, é possível criar indicadores que sintetizem a sustentabilidade organizacional frente à situação analisada. Estes indicadores podem ser construídos através de um balanço de massa focado no consumo de materiais ao longo da implementação das melhorias de P+L, equacionando o movimento da matéria e da energia dentro de um sistema e observando a reinserção dos mesmos no próprio processo de origem ou externamente. Desta forma, é possível evidenciar as melhorias de desempenho ambiental e econômico que esta ferramenta pode trazer para a empresa e a própria cadeia produtiva a qual esta empresa está inserida.

1.1 JUSTIFICATIVA

O processo de fundição é definido como o conjunto de atividades requeridas para dar forma aos materiais por meio da sua fusão, conseqüente transformação do estado sólido para o líquido de determinada liga metálica, e seu vazamento para moldes adequados e posterior solidificação, passando do estado líquido para o sólido formando um componente

metálico, denominado bruto de fusão. Esta denominação é dada pois, apesar dos fundidos terem o formato da peça final após sua solidificação, ainda passarão por etapas de acabamento (rebarbamento, esmerilhamento, jateamento de granalha, usinagem e, tratamento térmico e superficial) para atingirem as dimensões e qualidade exigidas pelo cliente. Este processo, foco deste estudo de caso, é um dos processos produtivos de maior impacto ambiental na área metal-mecânica, devido aos materiais utilizados e ao tratamento usualmente dado aos resíduos gerados.

Dentre os principais aspectos da indústria da fundição relacionados ao grande impacto ambiental deste setor produtivo, cita-se a problemática da areia descartada com presença de contaminantes, o descarte da escória dos fornos de fusão e a emissão atmosférica composta de gases poluentes. Comumente estes resíduos são emitidos em larga escala diretamente ao meio ambiente, sem o adequado tratamento ou destinação.

A adoção de medidas na busca pela minimização da geração destes e de outros resíduos pode contribuir para a redução e solução dos problemas ambientais em curto, médio e longo prazo dependendo do nível de impacto associado. A construção de indicadores ambientais e econômicos fundamenta a importância e viabilidade da implementação de um Programa de P+L em uma empresa com estas características (investimentos em novas tecnologias e co-processamento de resíduos), o que substancia a escolha do referido tema.

Outro aspecto importante deste estudo é a minimização do uso dos recursos naturais, pois no momento que se reutiliza um produto, evita-se realizar nova extração da matéria do meio ambiente. A minimização da geração de resíduos, que muitas vezes é composto por matéria prima que não foi transformada em produto, reduz a necessidade de se extrair matérias primas do meio ambiente e que serão utilizadas para produzir a mesma quantidade de produto. Este fator ainda se soma, no caso das fundições, à possibilidade de regeneração de areia usada de fundição a base de resina fenólica, reutilizando um material que já foi consumido – e teoricamente gerado como resíduo – não podendo ser utilizado no processo de produção novamente.

Além disso, quando um material não pode ser recirculado/reciclado, o mesmo ainda pode ser aproveitado como matéria prima em outro processo produtivo, valorizando o excedente de materiais, transformando-os como coprodutos pela empresa geradora.

Nesse sentido, o trabalho de implementação do Programa que foi desenvolvido na empresa facilita o conhecimento de entradas e saídas do processo, permitindo dessa forma que se conheçam melhor as etapas de produção, identificando as áreas que demandam mais atenção do ponto de vista gerencial. Na continuidade da implementação e, por conseguinte, na identificação das oportunidades de melhorias que o mesmo trouxe, observou-se a necessidade de quantificar de uma forma mais adequada os inputs e os outputs de materiais e energia no sistema de produção desta fundição. Desta forma, justifica-se o balanço de massa a fim de que se compreenda quantitativamente a entrada de matérias primas, insumos e energia, bem como a saída de produtos e resíduos deste sistema. Esta linha de pensamento também se torna importante na análise de algumas mudanças tecnológicas implementadas pela empresa nos últimos anos no sentido de aumentar a produtividade e qualidade de seu produto final, dado que parte dessas trouxe impactos importantes sobre as matérias primas utilizadas no processo produtivo, e redução de impacto ambiental. No caso específico da areia de fundição, medidas de minimização, de redução do desperdício, de regeneração para sua reutilização no processo vêm sendo aplicadas, mas não são suficientes para evitar completamente o descarte final do material que hoje compreende a maior parte da geração de resíduos do setor.

1.2 OBJETIVOS

A seguir são apresentados os objetivos geral e específicos, os quais nortearão o presente trabalho.

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo implementar um Programa de Produção mais Limpa em uma indústria de fundição de pequeno porte.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Analisar resultados, oportunidades e barreiras associados à aplicação de um Programa de Produção mais Limpa na empresa alvo do estudo;
- Avaliar o balanço de massa dos processos, considerando a inserção e eficiência no consumo de materiais e energia ao longo do período de estudo.

1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

O trabalho estrutura-se em 5 capítulos, incluindo este introdutório que caracterizou o problema, descreveu os objetivos e a justificativa que levou à escolha do tema.

Já o capítulo 2 aborda o referencial bibliográfico básico sobre a evolução das preocupações ambientais no que toca os resíduos industriais, bem como a definição das terminologias e conceitos utilizados como Gestão Ambiental, Gerenciamento de Resíduos, Ecologia Industrial, Produção mais Limpa, Indicadores Ambientais, Balanço de Massa, entre outros. Em relação à P+L, apresenta-se o conceito e a metodologia universal da ferramenta, sendo apresentados alguns exemplos de aplicações e posteriormente adaptada à realidade da empresa estudada. Sobre o Balanço de Massa, estão descritos alguns conceitos, exemplos e características e suas aplicações.

O capítulo 3 contém a descrição dos materiais e métodos escolhidos para este trabalho e a argumentação da metodologia, e o capítulo 4 engloba os resultados atingidos com a aplicação da metodologia e as discussões dos resultados respondendo aos objetivos propostos.

No capítulo 5 encontram-se as conclusões referentes à pesquisa desenvolvida e posteriormente são evidenciadas as referências bibliográficas utilizadas para alicerçar o trabalho.

1.4 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

O presente estudo limita-se à análise dos benefícios econômicos e ambientais da implementação de um Programa de Produção mais Limpa na Indústria Metalúrgica Lorscheitter Ltda e suas relações com a eficiência da utilização de materiais e energia. Envolve suas matérias primas e insumos, desde a entrada do material no sistema produtivo até sua disposição como resíduo ou reciclagem/reutilização como coproduto ou subproduto, bem como suas fontes energéticas, observando variações do fluxo dessas substâncias ao longo do processo produtivo. O período de análise dos dados e do estudo estende-se de Maio de 2008 até Abril de 2011.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, primeiramente, é abordado o crescimento histórico das preocupações ambientais da sociedade até os dias atuais. Em seguida, são apresentados os principais conceitos que norteiam esta pesquisa.

2.1 INDÚSTRIA E MEIO AMBIENTE

É inegável que a industrialização melhorou significativamente a vida dos seres humanos, mas provocou igualmente efeitos desastrosos, que agora ameaçam aqueles que ela própria procurou beneficiar. As conseqüências negativas não são somente fruto da própria ciência e tecnologia, mas também da falta de uma cultura mais sistêmica do ambiente e de um igualitarismo em relação a todos os seres vivos.

A civilização industrial provocou a acentuação da dialética entre “necessidades do ser humano” e “impacto sobre a natureza”. A exploração dos recursos naturais para atender às crescentes necessidades humanas, o desenvolvimento de tecnologias com impacto sobre o ambiente, o uso e a exploração de novas fontes de energia, o aumento exponencial da população, o aumento da complexidade dos sistemas sociais pelo surgimento de classes sociais e pelo desaparecimento de modos alternativos de vida devido à massificação cultural. Tudo isso levou a um dissídio crescente entre a sociedade humana e o meio ambiente, gerando divisões e discriminações. A crise ecológica não significa apenas o surgimento de problemas ambientais, mas a necessidade de novas formas de enxergar o mundo e, especialmente, a natureza. A resposta não está em apenas procurar solucionar as conseqüências funestas do uso de uma técnica invasiva dos equilíbrios homeostáticos da natureza. Parece indispensável uma mutação cultural que supere a visão reducionista e alcance um enfoque mais global da natureza. Trata-se da passagem de um reducionismo científico metodológico que fragmenta a natureza para conhecê-la a uma cultura sistêmica que compreende as inter-relações presentes no ambiente (JUNGES, 2004).

Reduzir a poluição através do uso racional de matéria prima, água e energia significa uma opção ambiental e econômica definitiva. Diminuir os desperdícios implica em maior eficiência no processo industrial e menores investimentos para soluções de problemas ambientais.

2.2 EVOLUÇÃO DAS PREOCUPAÇÕES AMBIENTAIS

Antes do estabelecimento de leis ambientais, o ar, a água e o solo eram tratados como propriedades livres, disponíveis para receber resíduos. Isso não causava problemas quando a população era esparsa e os produtos industrializados eram poucos, comparados aos índices atuais (BUCHHOLZ, 1998).

Essa fase caracterizou-se pela completa omissão aos danos resultantes do descarte de resíduos no meio ambiente, onde as matérias primas e a energia eram extraídas da natureza, se transformavam em produtos e as sobras do processo eram descartadas no meio ambiente. A partir do momento que o meio ambiente passou a dar sinais de que não era capaz de absorver a carga de poluentes lançada, as indústrias foram compelidas a considerar medidas de redução de impacto, por meio de força de lei ou mecanismos regulatórios, incluindo, assim, o impacto ambiental na visão de custos de operação e produção. Como reação, algumas empresas potencialmente poluidoras passaram a adotar estratégias paliativas como a de diluição de resíduos como forma de mascarar os impactos ambientais de suas atividades. Na prática isto se verificava através do uso de chaminés mais altas e de tubulações mais compridas (SANTOS, 2005).

Fruto de um processo acumulativo de dezenas de décadas, hoje se vive uma situação de saturação do meio ambiente em que a sociedade mundial se encontra pela proporção que a industrialização tomou e pela migração da população para os grandes centros.

As alterações verificadas na atmosfera e biosfera são o resultado desse processo cumulativo em proporção global de industrialização e do tardio desenvolvimento de modelos eficientes de gestão ambiental. Essas tendências têm reflexos em termos da liderança ambiental, em nível nacional e local, podendo ser encaradas como uma condenação das abordagens convencionais de gestão ambiental. Dessa forma, a primeira abordagem reativa de “fim-de-tubo”, adotada no controle da poluição e que apoiou os instrumentos e ferramentas de gestão, até meados do ano 2000, tornou-se impotente para lidar com problemas globais (ROCHA, 2010).

Atualmente, segundo o Anuário GESTÃO AMBIENTAL (ANÁLISE, 2011), os investimentos em práticas sustentáveis e em uma estrutura de gestão ambiental adequada passaram a fazer parte da pauta do empresariado brasileiro e mundial. O que se pode dizer,

baseado na análise de quatro anos das apurações das práticas ambientais das maiores empresas brasileiras, é que nesse período houve uma estabilidade nos dados apresentados, o que indica que os sinais de avanço identificados e as políticas estabelecidas nas companhias podem ser considerados sólidos. Em 2010, 64,4% das companhias que responderam à pesquisa afirmaram possuir uma política ambiental formalizada e integrada com as demais áreas da corporação. Na primeira edição do levantamento, em 2007, 59% das empresas disseram adotar essa prática e, desde então, o índice vem aumentando de forma consistente, ano a ano. O indicador mostra que as empresas que possuíam uma política específica para o meio ambiente (23%) ou que adotavam práticas não sistematizadas de gestão ambiental (12%) estão, pouco a pouco, formalizando e integrando suas políticas ao organograma (ANÁLISE, 2010/2011).

Ações nesse sentido ajudam as empresas a se organizarem de forma a monitorar seus processos do ponto de vista ambiental, propondo melhorias contínuas que auxiliam na busca do desenvolvimento sustentável.

2.3 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Em 1985, a ONU conferiu ao PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) a tarefa de enquadrar as questões ambientais globais e esboçar políticas relativas ao meio ambiente até o ano 2000, criando a Comissão Mundial sobre o Desenvolvimento e Meio Ambiente (WCED), presidida pela primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland. Em outubro de 1987, a WCED apresentou à ONU o Relatório Brundtland, uma síntese dos problemas ambientais da atualidade e um repertório de estratégias sugeridas para o seu equacionamento (SOARES, 2003).

Também conhecido como ‘Our Common Future’ (Nosso Futuro Comum), o relatório Brundtland definiu Desenvolvimento Sustentável como:

A humanidade é capaz de fazer desenvolvimento sustentável, assegurando que a sociedade atual encontre as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de gerações futuras em alcançar suas próprias necessidades (WCED, 1987, p 43).

Porém, hoje, uma das grandes barreiras para a internalização do conceito de desenvolvimento sustentável é o amplo escopo e complexidade das questões a serem equacionadas, o que dificulta a tarefa dos tomadores de decisão, que precisam avaliar uma

série de relações de causa e efeito que norteiam os benefícios ou impactos dos seus investimentos ou inovações tecnológicas. De forma a suplantar esta dificuldade, a indústria tem adotado princípios normativos, que geralmente levam a resultados positivos, apesar de não garantirem a ausência de problemas e desvantagens (SANTOS, 2005).

Uma série de abordagens normativas têm surgido e evoluído ao longo da última década do século passado, como os princípios de engenharia reversa, prevenção à poluição, gerenciamento para a qualidade total, ecologia industrial, entre outros, que fornecem diretrizes sistemáticas para a melhoria da performance ambiental de novos produtos e processos. Esta evolução foi acompanhada de perto pelo desenvolvimento de abordagens analíticas para a avaliação da performance ambiental de produtos e processos, dentre as quais a mais notória é a avaliação de ciclo de vida (FIKSEL, 2002).

A melhoria da eficiência dos recursos, que suporta o consumo e a produção sustentável, tornou-se um objetivo cada vez mais aceito para as decisões de gestão, desde o doméstico aos níveis internacionais de governança ambiental.

Os países desenvolvidos reconhecem que a busca da eficiência dos recursos e inovação para minimizar o desperdício de materiais e utilização de energia, apresentam oportunidades para reduzir custos e tecnologias relevantes para compartilhar com os países em desenvolvimento (OECD, 2009).

O ano de 2009 viu o lançamento da iniciativa do Mercado Global de Transformação de Iluminação Eficiente, que acelerará a transformação do mercado global para tecnologias de iluminação com eficiência energética, e o desenvolvimento de uma estratégia mundial para a eliminação progressiva das lâmpadas incandescentes, reduzindo assim as emissões globais de gases de efeito estufa (UNEP, 2009b).

Em 2010, nove países no Mar do Norte (Alemanha, França, Bélgica, Holanda, Dinamarca, Suécia, Luxemburgo, Reino Unido e Irlanda) estabeleceram uma rede elétrica projetada para a integração em larga escala de energia renovável. Isso foi possível graças a um novo sistema de alta tensão, cabos de corrente contínua que perdem muito menos energia durante a transmissão que os tipos anteriores (EWEA, 2009).

Governos, sociedade civil e do setor privado poderiam todos tirar proveito da desaceleração econômica global para reorientar os seus planos de negócio e os objetivos econômicos para o desenvolvimento sustentável, e para acelerar a transformação para uma

economia verde e uma prosperidade sustentável. Para conseguir uma transição nos setores da energia e dos transportes para as mudanças relativamente radicais nos padrões de consumo e produção, que muitos especialistas consideram necessário, os esforços de implementação precisam começar de imediato (IEA, 2009a; IEA, 2009b).

Os cientistas que trabalham em vários setores advertem que se corre o risco de atravessar os limites que definem como "fronteiras planetárias". Compreender o significado desses limites, e como retroceder as tendências atuais para voltar a operar dentro de limites seguros, exigirá contínuo aperfeiçoamento das ferramentas de análise, com base nas lições do passado, e o desenvolvimento de soluções sustentáveis para os desafios ambientais, como a dissociação entre o uso de recursos e impactos ambientais do crescimento econômico (UNEP, 2010).

Aceitando a limitação do uso de recursos do planeta e melhorando a compreensão das interações entre os sistemas da Terra, seria possível implementar soluções através de uma gestão sustentável dos recursos (READ, 2008).

Hoje podem ser encontrados na literatura especializada sobre gerenciamento ambiental, bem como nos debates sobre o assunto, uma grande quantidade de abordagens, termos, conceitos, estratégias e ferramentas para a avaliação de impactos ambientais de processos e produtos e implementação de estratégias preventivas. Alguns desses termos são intercambiáveis, outros podem diferir na definição, nos objetivos e no escopo e/ou na forma de alcançar os objetivos. Esta diversidade de termos e denominações pode levar ao uso e aplicação incorreta das abordagens, estratégias e ferramentas. No que se refere às definições e conceitos, são frequentes na literatura discussões e divergências sobre os termos empregados (HILSON, 2003).

Hilson (2003) também ressalta que recentemente diversos conceitos foram criados para se referir aos vários aspectos do gerenciamento ambiental, porém a maioria destes termos são ambíguos, são mal interpretados e mal utilizados, ou são re-definidos com o passar do tempo, tornando difícil o entendimento correto do seu significado, e mais importante, a aplicação destas terminologias em diferentes setores da indústria vem se tornando um grande desafio.

Apesar de contraditórias, definições de desenvolvimento sustentável mencionam responsabilidades quanto ao emprego mais eficiente possível de recursos naturais, de maneira

que seu emprego não prejudique as gerações futuras. Neste sentido as empresas de diversos setores vêm se organizando para atingir níveis satisfatórios de eficiência em seus processos, de forma a tornar mais concreto possível o conceito de Desenvolvimento Sustentável, mesmo com o aumento da demanda de produtos. As indústrias de Fundição locais enquadram-se nesta situação de potencial eliminadora de impactos ambientais, pois, apesar de caracterizarem-se como grandes consumidoras de recursos naturais e geradoras de resíduos, sua grande maioria ainda está baseada em características de produção ultrapassadas que necessitam ser repensadas e aprimoradas, somando assim esforços para a compreensão e aplicação do conceito de desenvolvimento sustentável.

2.4 INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO

Há várias maneiras para se dar a metais o seu formato de utilização. Peças ou perfis podem ser produzidos por deformações plásticas, pela fusão direta do metal em molde com o formato da peça, pela compressão de pós em matrizes ou por corte a quente e função por solda de chapas ou perfis metálicos. Os principais métodos de dar forma a metais são: deformação plástica a quente, deformação plástica a frio, corte a quente e solda, usinagem, metalurgia do pó e fundição (SIEGEL, 1975).

No caso da fundição, as peças são obtidas deixando-se solidificar o metal líquido (fundido) em um molde refratário, cuja forma é correspondente, em negativo, a da peça desejada. Siegel (1975) coloca que a fundição de uma peça pode ser resumida, em essência, nas seguintes operações:

- confecção do modelo com a forma da peça – Modelação;
- confecção do molde – Moldagem;
- confecção dos machos – Macharia;
- obtenção do metal líquido – Fusão;
- enchimento do molde com metal líquido – Vazamento;
- retirada da peça solidificada do molde – Desmoldagem;
- corte de canais e rebarbas, usinagem – Rebarbação e Acabamento.

Especificamente, os ferros fundidos constituem um grupo de materiais que abrange uma ampla gama de microestruturas e, por isso mesmo, podem ser fabricados com

uma ampla gama de propriedades, sendo usados onde se exige elevada resistência ao desgaste por abrasão, para resistir à corrosão, resistir às temperaturas elevadas ou ainda simplesmente porque se necessita de um baixo custo de produção para obter peças com geometrias complexas.

Seu processo de produção é muito variável, dependendo das tecnologias disponíveis e do tipo de ferro com o qual se quer trabalhar. O processamento na indústria de fundição de ferro onde este trabalho se desenvolve começa através da Composição da carga, onde são carregadas no forno de fusão (rotativo ou elétrico) as diversas matérias primas que vão compor o ferro fundido de interesse, dando início ao processo de Fusão que consiste no aquecimento da carga até uma temperatura superior ao ponto de fusão do material. Este excesso de temperatura (superaquecimento) é necessário para compensar as perdas de calor envolvidas nas etapas posteriores.

Posteriormente realiza-se a Transferência que consiste no transporte do metal líquido do forno até o molde produzido na etapa de Moldagem, realizada paralelamente à fusão. Na moldagem realiza-se a fabricação do molde que contém uma cavidade que reproduz a geometria da peça, que na maioria dos casos é feito com areia quimicamente ligada (areia + resina + catalisador). O molde possui elementos típicos tais como canais (de entrada, descida e alimentação), massalotes (para compensar as contrações dimensionais do metal durante a solidificação) e o macho (componente utilizado para evitar que o metal ocupe um determinado espaço no molde, gerando uma cavidade na peça final).

Na etapa Vazamento ocorre o despejo do metal líquido no molde, fazendo com que esse metal preencha o espaço referente à geometria do produto final. Já na etapa de Desmoldagem ocorre fratura do molde (caixa de areia e macho) e a extração do metal solidificado (peça, canais e massalote), enviados para o Acabamento, onde ocorre a separação (quebra ou corte) entre a peça e os canais de alimentação e massalotes (estes últimos retornarão ao forno para uma próxima fusão), a rebarbação e o jateamento para conferir qualidade no produto final. A criação do modelo da peça (em madeira, alumínio, massa plástica, etc.) que será usado para produzir a cavidade no molde se dá na etapa de Modelaria, realizada antes de todo o processo (MORAES, 2000).

O Brasil é o sétimo produtor mundial de bens fundidos. O setor produziu cerca de 3 milhões de toneladas de peças no ano de 2007, e empregou mais de 59 mil pessoas.

Geograficamente, está representado em todas as regiões do país, mas há uma concentração de empresas nas regiões Sudeste e Sul (ABIFA, 2007). A Tabela 1 apresenta a distribuição da produção de fundidos nos estados/regiões do Brasil, onde a Região Sul se destaca na produção de ferro fundido.

Tabela 1 - Distribuição da produção de fundidos no Brasil.

ESTADO/REGIAO	FERRO	AÇO	ALUMINIO	OUTROS
SÃO PAULO	30,1%	73,8%	62,5%	88,2%
SUL (PR,SC,RS)	33,6%	10,6%	7,4%	6,2%
MINAS GERAIS/OESTE	25,0%	15,2%	18,8%	5,2%
RIO DE JANEIRO	9,5%	0,4%	1,0%	0,4%
NORTE/NORDESTE	1,8%	0,0%	10,3%	0,0%
TOTAL	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Fonte: ESTAL/MME, 2009.

A Indústria Brasileira de Fundição, fabricante de peças de diferentes qualificações e usos compreende cerca de 1.340 unidades fabris, 48% produzindo peças em metais ferrosos (ferro e aço) e 52% fabricando peças em metais não-ferrosos, principalmente em alumínio (2/3 deste seguimento). 97% das empresas de fundição são controladas por Capital Nacional e 95% são classificáveis como Pequenas ou Médias Empresas (ESTAL/MME, 2009).

No ano de 2008 o volume produzido de fundidos foi de 3,4 milhões de toneladas, sofrendo uma queda em 2009, com um volume de 2,3 milhões de toneladas. Em 2010 o setor teve uma produção de 3,3 milhões de toneladas e um aumento do faturamento de 45% em relação aos US\$ 6,9 bilhões registrados em 2009, ainda abaixo dos US\$ 11 bilhões de 2008 (QUINTÃO, 2010). A Tabela 2 mostra a produção ao longo dos anos.

Tabela 2 - Produção de fundidos no Brasil, em toneladas.

<i>Mês</i>	<i>Produção</i>				
	<i>2004</i>	<i>2005</i>	<i>2006</i>	<i>2007</i>	<i>2008</i>
Janeiro	178.828	225.938	240.463	232.256	263.989
Fevereiro	217.382	236.174	251.657	245.896	289.204
Março	238.388	257.018	282.928	282.954	291.125
Abril	227.689	242.023	251.291	264.495	302.229
Maiο	240.629	252.702	280.169	286.388	303.205
Junho	246.969	257.164	271.366	273.573	302.640
Julho	249.854	248.937	268.585	277.424	315.358
Agosto	254.496	267.225	279.589	300.671	299.930
Setembro	249.313	254.356	250.968	275.074	304.777
Outubro	250.561	248.293	252.175	291.450	305.578
Novembro	249.072	251.682	258.148	287.814	239.760
Dezembro	266.735	227.113	199.706	231.578	137.437
TOTAL	2.829.916	2.968.625	3.087.045	3.249.573	3.355.232

Fonte: ABIFA, 2009.

O Projeto ESTAL (Projeto de Assistência Técnica ao Setor de Energia) do Ministério de Minas e Energia (MME), que promove assistência técnica para dar suporte aos formuladores de políticas públicas no desenvolvimento de um novo modelo do setor elétrico nacional, produziu, em 2009, o Relatório Técnico 61 – Perfil da Fundação, elaborado pela J.Mendo Consultoria, divulgando dados e projeções da produção, economia e desenvolvimento do setor no Brasil. O relatório apresenta uma projeção baseada em um cenário intermediário para a produção e exportação de fundidos até 2030, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Projeção da produção e exportação de fundidos até 2030.

ANOS	PRODUÇÃO FUNDIDOS (mil/t)	EXPORTAÇÃO FUNDIDOS	%EXPO/PRODUÇÃO
2008	3.355	614	18,3%
2009	2.704	443	16,4%
2010	2.924	585	20,0%
2015	4.118	906	22,0%
2020	5.948	1.368	23,0%
2025	9.123	2.281	25,0%
2030	13.920	3.480	25,0%

Fonte: ESTAL/MME, 2009.

Para o ano de 2009, face à Crise Econômica Financeira Global, a queda na demanda levou as indústrias a rever as aplicações então projetadas para ampliação e modernização de suas fundições. Nos três primeiros meses do ano, o consumo de fundidos decresceu 34% em relação ao mesmo período do ano anterior. Artigo da Revista da ABIFA, de março de 2009, comenta que 25% dos US\$ 1 bilhão foram postergados e outros 25% cancelados (ESTAL/MME, 2009). Porém, comparando as projeções do relatório realizadas com dados até 2008 com informações reais da produção de 2009 e 2010, percebe-se que as projeções da queda de produção decorrente da crise econômica foram mais pessimistas em relação à realidade no ano de 2009, enquanto a retomada da produção em 2010 se mostrou mais rápida do que o previsto.

Conforme as projeções, o setor brasileiro de Fundição deverá elevar sua capacidade do nível de 3,9 Mt/ano para a casa dos 10 Mt/ano até 2030, o que exigiria um investimento total de US\$15 bilhões ou US\$1.500 a cada tonelada de fundidos. Esta expansão do setor até 2030 promoverá a geração de 40.000 novos empregos, supondo que se progrida para um nível de produtividade entre os obtidos hoje para Espanha e Alemanha, centros de excelência na produção de fundidos (ESTAL/MME, 2009).

Juntamente com o aumento da demanda, produção e exportação de fundidos, uma grande quantidade de resíduos é gerada, evidenciando-se a necessidade de defini-los e classificá-los no que se refere à interação com o homem e o meio ambiente.

2.5 RESÍDUOS INDUSTRIAIS – DEFINIÇÕES, CLASSIFICAÇÃO E FUNDIÇÃO

Baseando-se na norma técnica NBR 10004 (ABNT, 2004), a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) define os resíduos sólidos industriais como:

Resíduos em estado sólido e semi-sólido que resultam da atividade industrial, incluindo os lodos provenientes das instalações de tratamento de águas residuárias, aqueles gerados em equipamentos de controle da poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isto soluções economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível. (ROCCA et al., 1993).

Porém, o estado físico do resíduo não é importante para definir sua periculosidade e os cuidados especiais necessários no seu manuseio e destino final. A periculosidade é conferida por certas características ou pela presença de substâncias que tornam o resíduo perigoso à saúde humana ou ao meio ambiente. Dentre essas características, a toxicidade e a carcinogênese são as mais relevantes. São incluídas também as características de inflamabilidade, reatividade, explosividade, corrosividade, radioatividade, patogenicidade, irritabilidade e o potencial para a bioacumulação (LA GREGA, 1994).

Segundo a definição adotada pela ABNT, periculosidade é a característica apresentada por um resíduo que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto contagiosas pode representar risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices; e, riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada (ABNT, 2004).

Em função da periculosidade oferecida pelos resíduos, a NBR 10004 classifica os resíduos da seguinte maneira:

- Resíduos Classe I – Perigosos: aqueles que representam periculosidade ou características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.
- Resíduos Classe II – Não Perigosos
 - o Resíduos Classe II A – Não inertes: resíduos que não se enquadram nas classificações de resíduos Classe I ou Classe II B nos termos da

Norma. Estes resíduos podem apresentar propriedades tais como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

- Resíduos Classe II B – Inertes: quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa segundo a NBR 10.007, e submetidos ao contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme a NBR 10.006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

No setor de Fundição, a gama de resíduos gerados é enorme e varia conforme o método de produção empregado. Apesar de o setor consumir sucatas metálicas como matéria prima, gera grandes volumes de resíduos sólidos, entre os quais areia de moldagem e poeiras diversas (ABIFA, 1999). A Figura 1 mostra as principais matérias primas e outros materiais de consumo do setor.

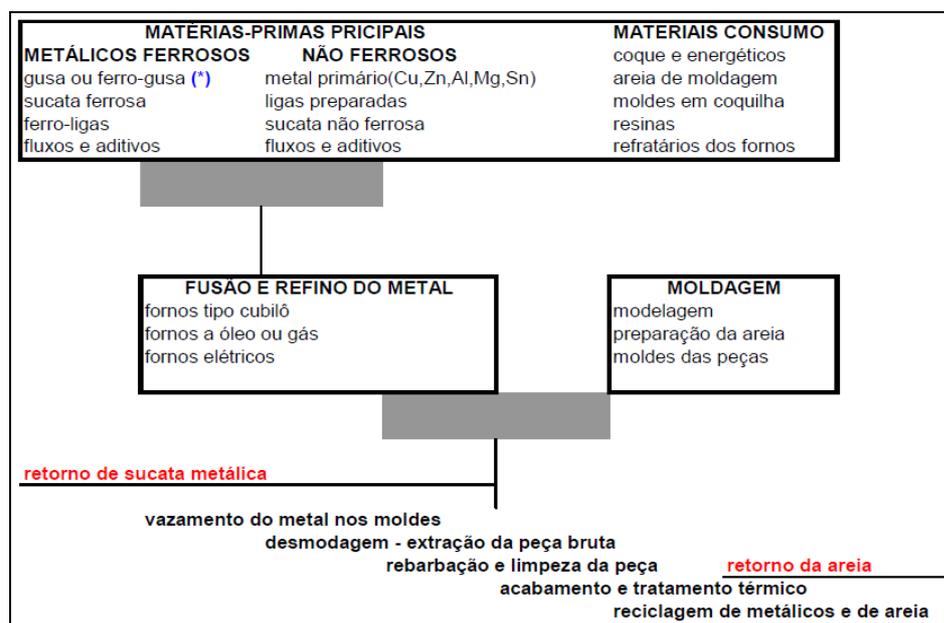


Figura 1 - Principais matérias primas e outros materiais envolvidos na fundição.

Fonte: ESTAL/MME (2009).

As areias de fundição representam um dos resíduos sólidos industriais com maior volume de produção. No Brasil são descartadas aproximadamente 2 milhões de toneladas por

ano, concentradas em duas regiões do país: Sul e Sudeste. A maior parte deste resíduo é disposta em aterros industriais (SILVA; CHEGATTI, 2008).

As oportunidades ou desafios na área de gestão de resíduos e materiais estão em redução da areia residual, redução da emissão de particulados e melhoria da eficiência energética. Os resíduos metálicos representados por canais, retornos de metal e sucata nos processos de acabamento das peças são reciclados 100% no próprio processo através da refusão. Em relação às areias de moldes e machos, parte é reciclada através dos sistemas mecanizados de areia verde, atingindo até 90% do material reutilizado, sendo os 10% restantes descartados juntamente com resíduos de varrição e outros excedentes do processo, chegando a representar 800 kg/t de peças fundidas (ESTAL/MME, 2009).

A ABIFA participa do Programa P+L - Produção mais Limpa - e consolida um grupo de empresas fundidoras para, com apoio do meio acadêmico, estudar e operacionalizar utilizações e/ou formas adequadas de descarte das areias usadas, pelo volume significativo de sua utilização, conforme comprovam as relações em peso areia/metal na produção de peças de:

- FERRO – 3 de areia para 1 de metal;
- AÇO – 5 de areia para 1 de metal;
- ALUMÍNIO – 12 de areia para 1 de metal.

A geração típica de subprodutos derivados da atividade de fundição está dividida em 65% de areia, 15% de poeiras do processo (emissões), 8% de escórias dos fornos e 12% de outros materiais envolvidos no processo. A quantidade de areia descartada pelo setor é o impacto ambiental mais relevante da cadeia de Fundição principalmente em Santa Catarina, São Paulo, Rio Grande do Sul, atingindo cerca de 2,8 milhões de toneladas no ano de 2009, que já é em grande parte reutilizada como agregado em misturas asfálticas, visando reduzir o volume do material disposto em aterros, e atender as grandes demandas regionais de pavimentação de ruas e estradas (ESTAL/MME, 2009). A Figura 2 mostra o balanço de massa qualitativo do consumo de insumos e matérias primas e a geração de resíduos sólidos e produtos em cada etapa da fundição que é o estudo de caso do presente trabalho.

BALANÇO DE MASSA QUALITATIVO		
ENTRADAS	ETAPA	SAÍDAS
Madeira, gesso, isopor, massa plástica	Ferramentaria	Refugo, madeira, isopor, embalagens (RS), modelo (P)
Areia, resina fenólica/shell/silicato, carvão grafite, álcool, CO ₂ , ar comprimido, gás butano (cozinha)	Macharia	Areia fenólica, emissões atmosféricas, areia shell, areia silicato (RS), macho (P)
Areia, betonita, carvão mineral água, energia elétrica	Preparação areia	Perdas de transporte (RS), areia preparada (P)
Areia verde preparada, caixa, macho, óleo diesel, energia elétrica	Moldagem	Perdas de transportem (RS), molde pronto (P)
Sucata, ferro gusa, inoculante, estanho, cobre, FeSi granulado, energia elétrica, água, areia fenólica e shell. Ajuste de liga: Mn, Pirita, Grafaloy, FeP, Carbureto de Si, Cr	Fusão (cinzento)	Escória, embalagens (RS), ferro fundido (P)
Sucata, ferro gusa, inoculante, FeSiMg liga 4, energia elétrica, água, areia fenólica e shell. Ajuste de liga: Pirita, Grafaloy, FeP, Carbureto de Si	Fusão (nodular)	Escória, embalagens (RS), ferro fundido (P)
Metal líquido, filtro (depende da peça), caixa, molde, macho, energia elétrica	Vazamento	Escória, filtro (RS), peça vazada (P)
Caixa, molde, macho, peça	Desmoldagem	Peça bruta (P), caixa usada, areia verde usada, macho usado (RS)
Peça bruta, energia elétrica, granalha, disco de desbaste	Acabamento	Peça acabada (P), canais, pó da peça, resíduo metálico (rebarbação), peça de refugo, granalha (RS)

OBS.: P = Produto, RS = Resíduos Sólidos.

Figura 2 - Balanço de massa qualitativo de fundição de ferro nodular e cinzento.

Fonte: Moraes (2010).

No estudo de caso proposto neste trabalho, uma grande geração de resíduo de areia de fundição se dá pela utilização de resina fenólica como material ligante no processo de cura a frio, sendo um dos resíduos de maior geração na empresa o de areia fenólica, que é classificado como resíduo Classe I – Perigoso e não pode ter a mesma reutilização da areia verde. Desta forma, a alternativa que a empresa adotou, e que se encontra em algumas outras empresas do setor, foi a aquisição de um sistema de regeneração mecânica de areia fenólica, que permite que o material circule ao longo do processo, reduzindo drasticamente a quantidade de areia virgem que era inserida na produção. Essa tecnologia será abordada e discutida no capítulo a seguir e ao longo do trabalho.

2.6 EVOLUÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS

Na maioria dos países, o desenvolvimento de programas de gerenciamento de resíduos seguiu uma tendência similar. Os primeiros esforços no sentido de promover melhorias na qualidade ambiental eram direcionados àqueles problemas que representavam ameaça direta à saúde pública, como a proteção de mananciais de abastecimento e a redução da poluição atmosférica. Tipicamente, iniciativas focando o correto gerenciamento de resíduos sólidos representavam uma segunda fase na agenda dos países, e eram colocadas em prática quando os problemas mais urgentes já tivessem sido resolvidos. Nos países em

desenvolvimento, os programas de proteção ambiental foram estabelecidos com até duas décadas de atraso em relação aos países desenvolvidos. Enquanto países como Estados Unidos, Canadá, Alemanha e Dinamarca tiveram seus programas de gerenciamento de resíduos implementados no final da década de 1970, a maioria dos países em desenvolvimento sequer tinham conhecimento da extensão de seus problemas ambientais até 1990 (PROBST e BEIERLE, 1999).

A preocupação atual em relação aos resíduos industriais se estende ao longo de todo o ciclo de vida de um produto, desde a extração das matérias primas, passando pela produção de energia que sustenta o processo, a produção, o transporte, a distribuição, a utilização e a manutenção do produto, até que este, após o término de sua vida útil, transforme-se em resíduo, que precisa ser tratado e/ou disposto de maneira adequada (SANTOS, 2005). O esquema da Figura 3 exemplifica essa situação.

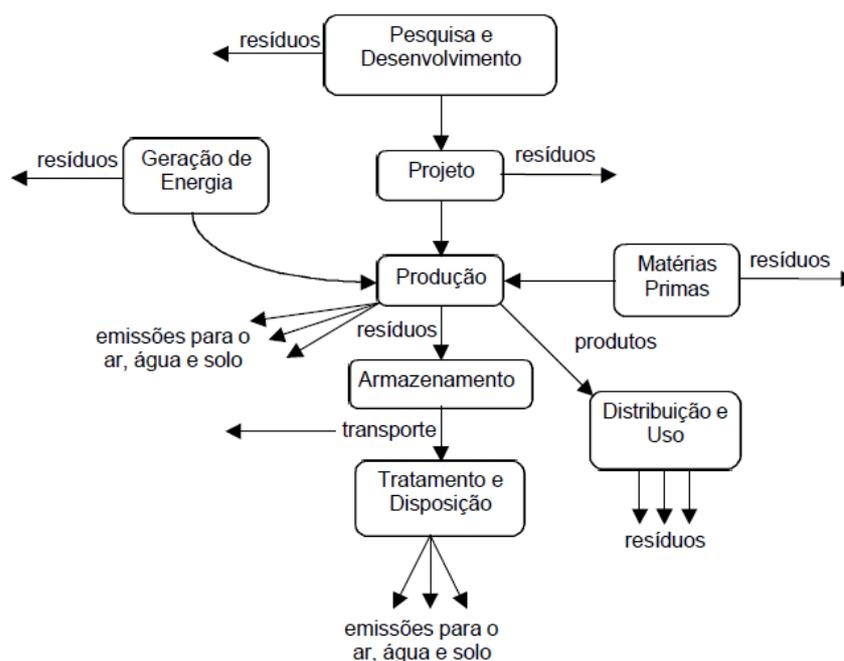


Figura 3 - Geração de resíduos no ciclo de vida de um produto.

Fonte: Santos (2005).

Dessa forma, o que acontece na grande maioria das indústrias de fundição brasileiras ainda acompanha a tendência dos anos 90. Atualmente poucas atitudes são tomadas no que se refere ao gerenciamento de resíduos do setor e isso se mostra menos expressivo

ainda quando se refere à prevenção da geração. A solução que mais se observa atualmente são tecnologias de regeneração de areias, o que atrai investidores por diminuir custos com armazenamento e disposição.

O problema do descarte de areias de fundição está se tornando cada vez mais sério devido à escassez de áreas para disposição do resíduo e seus impactos no meio ambiente. Muitas pesquisas são realizadas hoje visando o reaproveitamento de areia verde como subproduto para a indústria de pavimentação asfáltica, cerâmica, entre outros, reduzindo assim a extração de areia virgem de jazidas, e concluem em sua maioria que a alternativa é técnica e ambientalmente viável, já que a areia verde não interferiu nas características funcionais dos produtos e nem ultrapassou os limites da NBR 10004 no extrato lixiviado das amostras. Entretanto ainda não é permitido pelos órgãos ambientais, uma vez que é classificado como resíduo Classe II-A (não inertes) (SILVA e CHEGATTI, 2008).

Porém, o resíduo que está envolvido em grande parte do estudo de caso do presente trabalho é de areia ligada com resina fenólica, cuja classificação (Classe I – Perigoso) impossibilita sua utilização no exemplo utilizado anteriormente sem passar por um processo de remoção da resina dos grãos de areia.

As areias de fundição são normalmente descartadas depois de utilizadas na moldagem de peças metálicas, geralmente contaminadas por fenol, produto químico orgânico encontrado em resinas, utilizado para conferir resistência ao molde de areia (BRICHESI, 2008).

A regeneração de areias de fundição descartadas é uma técnica que possibilita a remoção de cerca de 90% do material poluente (resinas e ligantes), e permite a reutilização da areia regenerada em processos de moldagem que exigem areia limpa. Através do tratamento físico, químico, ou térmico dado à areia usada, a regeneração remove a capa de resina aderente na superfície do grão, reconduzindo-a ao mais próximo possível da condição de areia nova (GASPAR, 2008).

Para a correta aplicação das tecnologias de regeneração, deve ser avaliado o tipo de areia que entra no sistema de regeneração, o tipo de resina utilizado, e a área (construção civil, fundição, etc.) para seu reuso (ARANZABAL, 1999).

A importância do reuso de areias descartadas de fundição torna-se evidente em razão de fatores econômicos, sendo custos elevados de disposição em aterros, custos da areia

base, elevação dos custos de transporte de areia nova (as jazidas encontram-se cada vez mais afastadas) e ambientais devido à diminuição da ação extrativa e preservação dos recursos naturais, sobrevida de aterros, minimização da contaminação de lençol freático por contaminantes como chumbo, cobre, fenol e outros produtos orgânicos encontrados em resinas. Através do gerenciamento correto principalmente deste material é possível elevar o nível de produtividade em relação ao consumo de recursos naturais e mitigar aspectos e impactos negativos ao meio ambiente.

2.7 ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS (AIA)

Aspectos ambientais são os elementos das atividades, produtos e serviços de uma organização que interagem com o meio ambiente, e impactos ambientais são as conseqüências (mudanças) que resultem das atividades, produtos e serviços de uma organização. Qualquer processo possuirá riscos ambientais que são óbvios, tanto pela natureza do processo, quanto pelos produtos envolvidos. Por exemplo, a disposição inadequada de areias de fundição é um aspecto ambiental associado como a possibilidade de um derrame acidental que leva a um impacto de contaminação do solo e/ou da água, porém, nem todos os riscos ambientais são detectados com facilidade. A identificação dos riscos inerentes às atividades da empresa e a avaliação de suas possíveis conseqüências constituem os passos iniciais para a implementação de um Sistema de Gestão Ambiental (VALLE, 2002).

A proposta da avaliação desses impactos representa o entendimento e a avaliação da significância de impactos ambientais potenciais, que são baseados na análise do inventário realizada. Nesta etapa se destacam a classificação, caracterização e valoração dos dados coletados no processo (CHEHEBE, 1997).

A NBR ISO 14001 (ABNT, 2004) destaca que a organização deve estabelecer e manter procedimentos para identificar os aspectos ambientais de suas atividades, produtos ou serviços que possam por ela ser controlados e sobre os quais se presume que ela tenha influência, a fim de determinar aqueles que tenham ou possam ter impacto significativo sobre o meio ambiente. No contexto deste requisito é importante compreender que a norma explicitamente prescreve que o processo de avaliação para determinar a significância dos aspectos ambientais deve conter, segundo Carvalho (1998), quatro etapas mínimas:

1. Identificação dos aspectos ambientais por atividade, produto ou serviço.
2. Identificação dos impactos ambientais por aspecto identificado.

3. Avaliação da significância dos impactos identificados.
4. Atribuição da significância do aspecto em função da avaliação dos impactos associados, objetivando avaliar o risco ambiental da atividade, produto ou serviço em questão.

A caracterização dos aspectos e impactos ambientais resulta numa fotografia do desempenho ambiental da empresa (ecoeficiência) e, conseqüentemente, no direcionamento necessário para a definição dos investimentos a serem priorizados. Wiemes et al. (1999) colocam que para os aspectos ambientais serem identificados, deve-se levantar e mapear todos os processos da organização e os mesmos desdobrados em atividades para que estes aspectos ambientais específicos possam ser considerados e os respectivos impactos caracterizados. Porém, a análise não deve limitar-se à forma de determinação de aspectos e impactos das normas e, como se tem feito atualmente, de forma qualitativa, mas deve elencar os aspectos mais impactantes e buscar uma avaliação quantitativa. Desta forma se construirá índices de sustentabilidade coerentes, representativos e confiáveis.

A questão fundamental abordada pela quantificação é a eficiência dos recursos, forma de melhorar a gestão da produção e do consumo. Má gestão contribui para a diminuição dos recursos naturais, destruição de ecossistemas, poluição, mudança climática, e desperdício de materiais. Eficiência de recursos emprega uma variedade de abordagens para reduzir o uso de recursos e impactos ambientais por unidade de produção, comércio ou consumo ao longo do ciclo de vida de bens, serviços e materiais e isso pode se tornar visível através do balanço de massa e energia do processo.

Diferentes instrumentos podem ser utilizados para trabalhar a proposta de ecoeficiência. Dentre os instrumentos, cita-se o Sistema de Gestão Ambiental (SGA), estruturado nas normas da série ISO 14000.

O SGA, segundo Moura (2004), é uma maneira sistemática e organizada de avaliar, planejar, implementar e medir os processos de um sistema produtivo, numa ótica ambiental. O escopo da NBR ISO 14001 exige que a organização elabore sua política ambiental, bem como que os seus objetivos levem em consideração os requisitos legais e as informações referentes aos impactos ambientais significativos. Aplica-se aos efeitos ambientais que possam ser controlados pela organização e sobre os quais a mesma tenha influência. Prevê, também, um processo de melhoria contínua, através do qual a organização

deverá estar sempre aperfeiçoando o seu desempenho ambiental, fator importante para a proteção ambiental e minimização de impactos ambientais.

Potrich et al. (2007) afirmam que a norma NBR ISO 14001 define como impacto ambiental qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica que resulte, no todo ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização.

Pode-se dizer, finalmente, que a relação aspecto-impacto equivale à relação causa-efeito. Aspectos significativos são aqueles que têm ou podem ter impactos ambientais significativos. Depois de identificados os aspectos e impactos, podem ser propostos procedimentos de maneira a auxiliar no controle e na definição de responsabilidades e melhorias.

A Tabela 4 mostra exemplos de aspectos e impactos na indústria de fundição, e propõe melhorias para cada situação.

Tabela 4 - Exemplos de aspectos e impactos ambientais críticos.

Aspecto ambiental	Impacto ambiental potencial	Observação	Melhorias
1. Acúmulo de Areia usada Silicato/CO ₂ no pátio da empresa	Contaminação de águas superficiais e do solo; desperdício de recursos naturais; impacto indireto sobre entorno.	Este resíduo está sendo armazenado para a busca de solução para recuperação ou regeneração, e posterior reutilização.	Formação de pilha coberta (passivo) e melhor avaliação de sua reciclagem
2. Escórias de forno	Contaminação do solo e águas superficiais; contaminação de composição de resíduo areia.	Acúmulo de resíduo escória de forno (inerente ao processo de fusão) misturada com a areia de fundição.	Coleta em recipiente adequado e venda como matéria-prima rica em ferro
3. Acúmulo de sucata e moldes grandes no pátio	Contaminação do solo e águas superficiais; potencial de desperdício de recursos naturais e minerais.	Armazenamento de sucata misturada com areia usada de fundição, a céu aberto. Oxidação do material → menor valor e aplicabilidade (no caso da sucata).	Venda de material excedente e acondicionamento em galpão coberto de sucata para fusão.

Fonte: Moraes et al. (2007).

Segundo Erickson (1994), métodos de análise de impacto ambiental são mecanismos estruturados para identificação, coleção e organização de dados sobre impactos ambientais de determinadas atividades. Inicialmente, estes métodos foram concebidos especificamente para o abatimento dos impactos, definidos por São Paulo (1992) como:

Qualquer alteração nas características físicas, químicas ou biológicas do ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia derivada das atividades humanas, e que possa direta ou indiretamente afetar: a saúde, segurança e o bem-estar da população, as atividades econômicas e sociais; a biota; as condições estéticas e sanitárias; e a qualidade dos recursos naturais.

Hoje, na presença de uma visão mais pró-ativa e com um maior detalhamento destes métodos (incluindo dimensões de manutenção da capacidade de suporte dos ecossistemas, conservação da qualidade do ambiente, dimensões socioculturais, econômicas e institucionais) tornou-se possível utilizá-los como fatores fundamentais nas tomadas de decisão e nas ações preventivas, no tocante ao meio ambiente.

Rodrigues (1998) cita uma ampla variedade de métodos de avaliação de impactos ambientais que está disponível em trabalhos dedicados ao tema e inseridos em várias linhas metodológicas principais, como métodos ad hoc, listas de verificação e matrizes descritivas ou escalares, sobreposição de mapas, redes de interação, diagramas de sistemas e modelos de simulação. Cada método, segundo Canter (1977), apresenta vantagens e desvantagens e trata mais adequadamente de problemas e objetivos específicos, podendo-se assumir que a seleção, adaptação e desenvolvimento de métodos e sistemas de definição de Aspectos e Impactos Ambientais dependem dos objetivos da avaliação.

2.8 ECOLOGIA INDUSTRIAL

Tendo em vista o crescente impacto ambiental causado pelo modelo de industrialização ascendente, a Ecologia Industrial (EI) é um conceito que surge para lidar com os problemas ambientais, fornecendo ferramentas que buscam prevenir a poluição e a extração de recursos naturais reduzindo a demanda por matérias primas, água e energia e a disposição de resíduos no meio ambiente.

A Ecologia Industrial está baseada na premissa de que a reestruturação dos sistemas industriais em direção à sustentabilidade ambiental deveria ter como base os princípios organizacionais dos ecossistemas naturais. Assim como estes se caracterizam pelo reuso dos materiais, pela interdependência das espécies e pela utilização da fonte energética solar, os sistemas industriais deveriam otimizar o uso de energia, utilizar fontes renováveis, e promover o fechamento do ciclo de materiais por intermédio de múltiplas conexões das atividades de produção e consumo (COSTA, 2002). A Figura 4 mostra a relação de abrangência espacial da Ecologia Industrial e suas ferramentas.

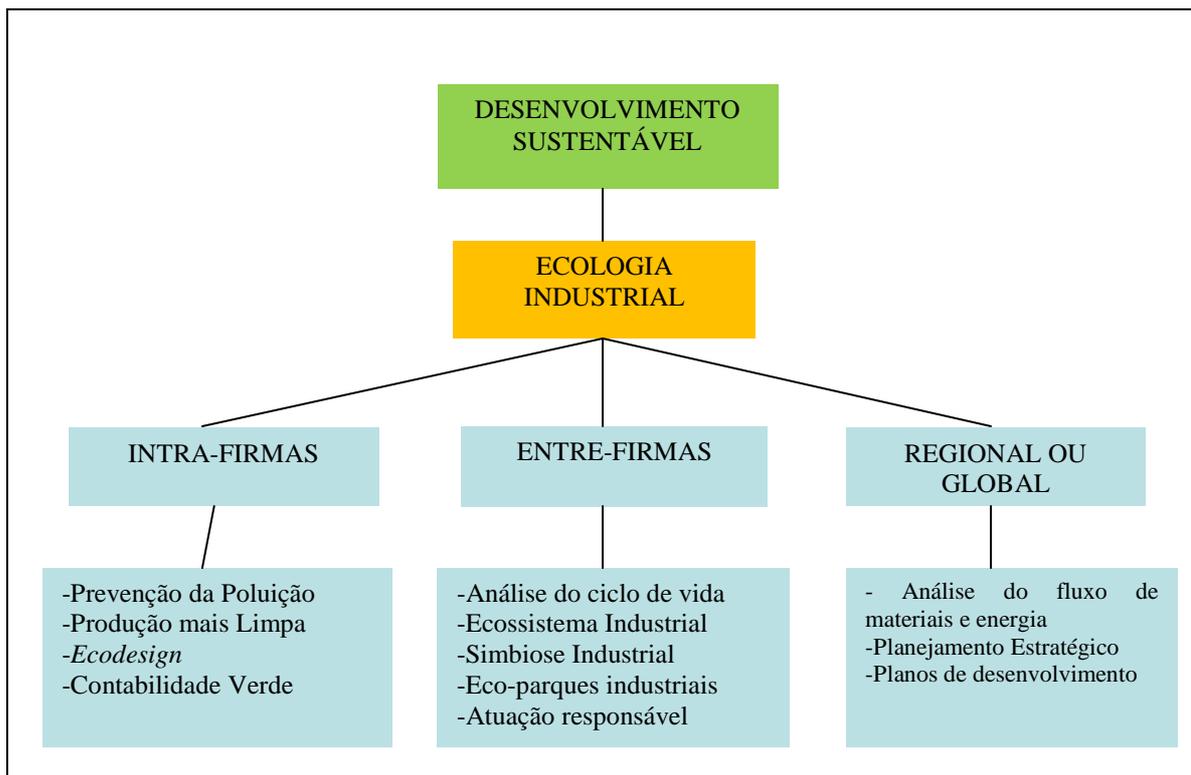


Figura 4 - Níveis de abrangência da Ecologia Industrial.

Fonte Adaptado de Tanimoto (2010).

Uma grande inovação da ecologia industrial é introduzir, por meio da visão holística do sistema, o conceito de cooperação entre empresas de diversos setores. Essa análise não se limita a empresa, ou a um determinado setor, mas a uma rede de empresas localizadas numa determinada região e para as quais um espaço físico pode ser definido. Kiperstok e Marinho (2001) ainda colocam que o sentido geral é de, por meio de um sistema industrial e dos reaproveitamentos e transformações possíveis, utilizar ao máximo os recursos naturais inevitavelmente necessários, reduzindo a um mínimo a pressão sobre a natureza, tanto do lado da demanda quanto do da restituição.

A lógica de processamento interno de materiais e energia, com a recuperação de valores incorporados a elementos que seriam rejeitos de alguns processos, é que leva à associação com a ecologia. O objetivo é desenvolver ciclos de produção, distribuição, consumo e devolução de resíduos tão fechados quanto possível.

Como melhoria ao que fazer com o resíduo quando os fatores culturais, técnicos e econômicos não são favoráveis à sua eliminação na fonte, têm surgido em diversos países

redes usando o conceito de Ecologia Industrial (EI). A busca de consumidores fora dos limites da empresa ou a troca de informações com outras instituições, mesmo de outro ramo de atividade, tem levado a mudanças nas características desses resíduos, transformando-os em coprodutos e reinserindo-os como matéria prima em outra cadeia produtiva (COSTA, 2002). Essa “rede” formada pelo intercâmbio de informações e materiais entre as instituições, em analogia ao ecossistema natural, dá origem ao conceito de ecossistema industrial e, posteriormente, a uma ferramenta da EI, a Simbiose Industrial.

Analogamente, em um ecossistema industrial, o resíduo produzido por uma companhia deve ser usado como recurso material por outra companhia, de modo que nenhum resíduo deixe o sistema industrial ou cause impacto negativo nos sistemas naturais, formando um ecossistema industrial fechado, que consome recursos limitados e produz quantidades mínimas de resíduos (GARNER; KEOLEIAN, 1995). A Figura 5 mostra este modelo de ecossistema industrial.

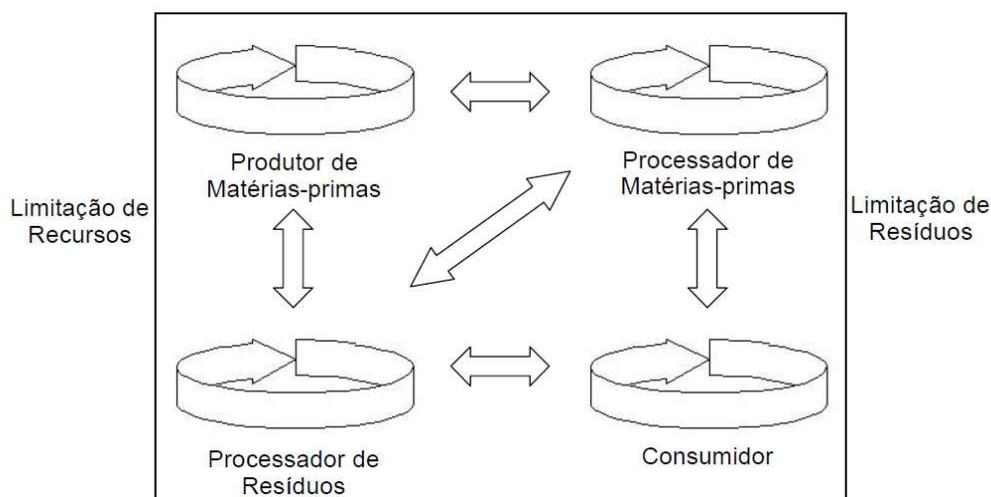


Figura 5 - Modelo de ecossistema industrial.

Fonte: Jelinski et al. *apud* Santos (2005).

Como benefício ambiental, tem-se a redução de resíduos e de poluentes, e ainda a diminuição da demanda por recursos naturais, pela reutilização de resíduos como coprodutos e subprodutos de outros processos. Kiperstok e Marinho (2001) ainda colocam que a Ecologia Industrial visa, igualmente como a Prevenção da Poluição ou a Produção mais Limpa (conceitos que serão abordados na próxima seção), prevenir a poluição, reduzindo a demanda por matérias primas, água e energia e a devolução de resíduos à natureza. Porém, diferencia-se da Produção mais Limpa que prioriza os esforços dentro de cada processo, isoladamente,

colocando a reciclagem externa entre as últimas opções a considerar, enquanto a Ecologia Industrial propõe o intercâmbio de materiais entre as empresas.

Além disso, Tanimoto (2010) comenta que uma das bandeiras “empunhadas” pela EI é a desmaterialização da economia, que procura diminuir a demanda por recursos naturais por meio da substituição de materiais, da mudança de funcionalidade ou serviço ou até mesmo do prolongamento da vida útil dos produtos.

Por fim, Vilela et al. (2007) ressaltam que, independentemente da referência adotada, há elementos comuns que configuram importantes convergências entre os conceitos e definições, sendo eles:

- A analogia com os sistemas biológicos e, por decorrência, uma perspectiva sistêmica dos processos com ênfase nos fluxos de energia e matéria;
- Foco na ecoeficiência e na desmaterialização;
- Visão abrangente dos sistemas industriais (e não apenas de unidades industriais ou de fontes de poluição);
- Ênfase na abordagem preventiva similar, mas não idêntica, a prevenção da poluição (P2) e da produção mais limpa (P+L).

2.9 PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO, PRODUÇÃO LIMPA E PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Segundo Kiperstok et al (2002), a adoção de metodologias de Prevenção da Poluição vem sendo proposta como estratégia eficaz para evitar os desperdícios de matérias primas e energia, convertidos em resíduos sólidos, líquidos e gasosos, responsáveis por adicionar custos aos processos produtivos e gerar problemas ambientais.

Atualmente encontram-se diferentes abordagens concorrentes promovidas no mundo por entidades nacionais e internacionais, como a PP ou P2 – Pollution Prevention, divulgada pela EPA – Environmental Protection Agency –, a PL – Produção Limpa, defendida por organizações ambientalistas e vários centros de Pesquisa e Desenvolvimento e a P+L – Produção mais Limpa, desenvolvida pela UNIDO – United Nations for Industrial Development e UNEP – United Nations Environmental Program. Dessa forma, é importante apresentar as características mais importantes, principalmente de Produção Limpa e Produção

mais Limpa, para facilitar o entendimento do nível de comprometimento das empresas relacionado a cada um desses programas.

Tanto a Produção Limpa como a Produção Mais Limpa são programas baseados no princípio da Prevenção da Poluição, defendendo a exploração sustentável de fontes de matérias primas, a redução no consumo de água e energia e a Prevenção da Poluição utilização de indicadores de desempenho ambiental (FURTADO apud KIPERSTOK et al., 2002). No entanto, vale salientar que a proposta de Produção Limpa é mais audaciosa, pois:

- Baseia-se no princípio da precaução, o qual determina o não-uso de matérias primas e não-geração de produtos com indícios ou suspeitas de provocar problemas ambientais;
- Avalia o ciclo de vida do produto/processo considerando a visão holística;
- Disponibilizam ao público em geral informações sobre riscos ambientais de processo e produtos;
- Estabelece critérios para tecnologia limpa, reciclagem atóxica, marketing e comunicação ambiental;
- Limita o uso de aterros sanitários e tem restrições à incineração como alternativa de tratamento de resíduos.

Atualmente, alguns casos de aplicação de práticas de Prevenção da Poluição e Produção Limpa têm obtido sucesso dentro de organizações com diversos fins. Um caso exposto por Giannetti (2008) mostra a aplicação dessa abordagem em uma empresa de jóias folheadas a ouro de médio porte, localizada em São Paulo, a fim de reduzir o desperdício e a poluição. A relação da geração de resíduos de papel para a massa de peças produzidas diminuiu cerca de 47% em massa. A principal redução foi devido à reutilização de caixas de papelão através do uso de caixas dos próprios fornecedores para entrega de produtos aos clientes, evitando gastos com aquisição de material novo e diminuindo a demanda da empresa por papelão.

A redução de resíduos de embalagens plásticas também aconteceu. A utilização de embalagens descartáveis para o transporte de peças dentro da empresa foi substituída por copos de plástico rígido, que pode ser reutilizado várias vezes. A economia resultante do programa de redução/reutilização, evitando a compra de novos pacotes para o transporte

dentro da empresa, resultou em um total de US\$ 6.573,30 por ano, sendo que o investimento da empresa para executar esse programa foi de US\$ 18,00, devido à aquisição de caixas de papelão para manter as novas embalagens acondicionadas. A relação gembalagens plásticas/kgpeças produzidas reduziu de 710 para 20 e a economia na aquisição de embalagens atingiu US\$ 225,80.

Também houve diminuições na proporção de resíduos de sucata de metal com a massa de peças produzidas, reduzindo em 42% em peso em relação ao ano anterior à implementação do programa, devido ao reaproveitamento de materiais metálicos dentro da empresa.

Reeve (2007) faz um relato das melhorias ambientais na indústria de acabamento de metais em Victória, Austrália, nos últimos 15 anos. Este trabalho tem sido amplamente extraído da extensa experiência do autor na indústria de acabamento de metais, e é fornecida como uma “Nota de Campo”. O autor observa que o consenso geral na Austrália é que apenas cerca de 20% das empresas de acabamento de metal realmente tem implementado boa gestão e medidas de controle de processo nos últimos 15 anos. No entanto, ele sugere que a proporção é de mais de 30%, o que é um sinal positivo para o futuro. Cianeto, cromo hexavalente, cádmio, chumbo e as emissões de solventes clorados ainda não foram eliminados por algumas empresas de acabamento metálico, mas as notas fornecem relatos dos recentes avanços na aplicação de tecnologias limpas, tanto no tratamento de superfícies de metal quanto em sistemas de circuito fechado de uso e recuperação de banho químico, os quais eliminam a necessidade de soluções de fim-de-tubo.

Nesse contexto, surge o conceito de Produção mais Limpa (P+L), definido pelo CNTL (2003) como 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 geradas, com benefícios ambientais, de saúde ocupacional e econômicos.

Nos últimos 50 anos, a partir do melhor entendimento da cadeia de geração de resíduos, as políticas de controle da poluição evoluíram dos métodos conhecidos como de “fim-de-tubo” para as tendências mais recentes, baseadas no princípio de prevenção, que modificou a abordagem convencional de “O que fazer com os resíduos?” para “O que fazer para não gerar resíduos?”. Sobre este último princípio fundamenta-se a Produção mais Limpa.

Esta abordagem sobre a questão dos resíduos levou a uma mudança de paradigma, onde o resíduo, que antes era visto apenas como um problema a ser resolvido, passou a ser encarado também como uma oportunidade de melhoria. A Figura 6 mostra a evolução temporal das questões ambientais.



Figura 6 - Evolução das questões ambientais.
Fonte: CNTL, 2003.

Portanto, no nível da gestão, P+L implica em mudança de atitudes e comportamentos, de todos os envolvidos no processo, propiciando uma nova cultura empresarial, impactando diretamente na melhoria do desempenho ambiental. Pode-se entender, a partir das definições anteriores, que tanto a Prevenção da Poluição como a Produção mais Limpa pretendem integrar os objetivos ambientais ao processo de produção, a fim de reduzir os resíduos e as emissões em termos de quantidade e toxicidade e, dessa maneira, reduzir custos num processo de melhoria contínua (KIPERSTOK et al., 2002).

De acordo com a PMAISL (2002), o princípio básico da metodologia de P+L é eliminar a poluição durante o processo de produção, não no final. Assim, todos os resíduos que a empresa gerou custaram dinheiro, porque 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, de multas pela falta desses cuidados, ou ainda pelos danos à imagem e a reputação da empresa.

Ao implantar um Programa de P+L, ao longo do tempo, espera-se redução nos custos, oriunda dos ganhos com a diminuição do consumo de matérias primas e energia e com a minimização da geração dos resíduos na fonte, ou seja, ocorre um aumento da produtividade dos recursos, gerando benefícios ambientais e conseqüentemente, vantagens econômicas (NASCIMENTO, 2002). A partir dessa visão, a valorização dos resíduos ainda descartados como coprodutos para reciclagem interna ou externa atribuindo valor agregado a coprodutos se fortalece. Por esta razão, o Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL) – instalado desde 1996 dentro do SENAI do Rio Grande do Sul, por meio da UNIDO (Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Social) e da UNEP (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) – adverte que P+L é, antes de qualquer coisa, uma ação econômica, porque baseia-se no fato de que qualquer resíduo de qualquer sistema produtivo só pode ser proveniente das matérias primas ou insumos de produção utilizados no processo.

Comparando as mudanças que ocorrem na estrutura de custos de uma empresa em duas situações possíveis, quando não há e quando há investimento em Produção mais Limpa, verifica-se que neste último caso os custos decrescem significativamente com o tempo, resultado dos benefícios gerados a partir do aumento da eficiência dos processos, do uso eficiente de matérias primas, água e energia, e da redução de resíduos e emissões gerados, como demonstrado na Figura 7 (CNTL, 2003).

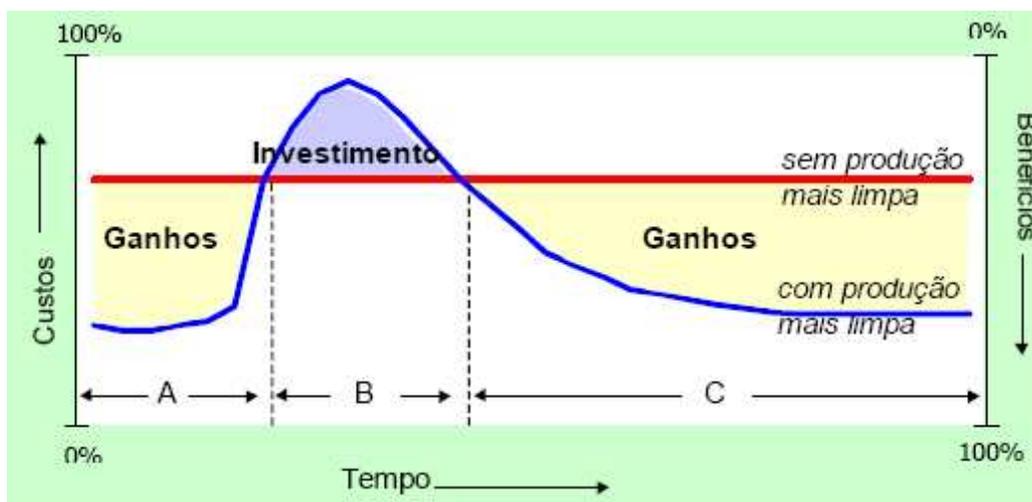


Figura 7 - Custos e benefícios com a implementação de medidas de P+L.

Fonte: CNTL, 2003.

Quando se toma a decisão de implantar ações de Produção mais Limpa, a princípio ocorre uma redução dos custos totais pela adoção de medidas sem investimento,

como por exemplo, ações de boas práticas operacionais (good-housekeeping). Visualmente isto corresponde ao segmento A do gráfico. Num segundo momento (segmento B) ocorre um incremento nos custos totais, resultado dos investimentos feitos para as adaptações necessárias, incluindo a adoção de novas tecnologias e modificações no processo existente. Com a entrada em ação dos processos melhorados e novas tecnologias, ocorre uma redução nos custos totais que permite a recuperação do investimento inicial e, com o passar do tempo, os ganhos com a maior eficiência permitem uma redução permanente nos custos totais. Visualmente esta redução de custos pode ser observada na diferença entre as duas curvas, no segmento C da Figura 7.

Este comportamento se percebe em empresas de todos os portes, porém a implementação em empresas de diferentes tamanhos possui suas características particulares. Segundo dados do Anuário do Trabalho na Micro e Pequena Empresa do Sebrae (2008), o segmento representa 99,8% dos novos empreendimentos criados no país nos últimos anos. As pequenas e médias empresas se consolidam em uma rede com mais de seis milhões de empreendimentos formais, capazes de gerar mais de 13 milhões de empregos e movimentar uma economia correspondente a 25% do PIB do país.

As preocupações econômicas de curto prazo, a falta de informações e a atitude dos gerentes são as principais barreiras que impedem a visualização dos diversos benefícios econômicos, ocupacionais e ambientais do programa. Em paralelo à melhoria dos processos, a Produção mais Limpa garante a melhoria dos produtos, bem como das condições de trabalho dos empregados, contribuindo ainda para a segurança dos consumidores. A Produção mais Limpa oferece oportunidades para uma relação ambiental do tipo “ganha-ganha”, na qual a melhoria ambiental aumenta os ganhos econômicos das micro e pequenas empresas, gerando um verdadeiro círculo virtuoso (PMAISL, 2009).

Ainda segundo PmaisL (2009), a transformação de matérias primas, água e energia em produtos ou serviços, e não em resíduos, tornam as micro e pequenas empresas mais competitivas. Os consumidores, por sua vez, enxergam as empresas como responsáveis não somente pela qualidade de seus produtos ou serviços, mas também pela relação entre suas práticas produtivas e o meio ambiente.

A Produção Mais Limpa propõe formas para estas empresas manterem-se no mercado globalizado e migrarem para práticas mais sustentáveis. O relatório da parceria de 10

anos entre o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS) e o SEBRAE (PMAISL, 2009) apresenta uma avaliação de 161 empresas brasileiras participantes de um programa de Produção Mais Limpa, que por sua vez, investiram aproximadamente R\$ 6,3 milhões em melhorias orientadas e geraram um potencial de redução de custos anuais da ordem de R\$ 23 milhões. Na média, as empresas que participaram do programa são de médio porte, com 30 empregados e faturamento bruto anual em torno de R\$ 10 milhões.

A partir da implantação das soluções propostas, os benefícios ambientais foram os seguintes:

- Redução anual do consumo de 6,2 milhões de toneladas de matérias primas;
- Economia de 351.125 toneladas de água;
- Redução de 3,4 milhões de quilowatts/ano no consumo de energia elétrica;
- Redução anual de 1,7 milhões de metros cúbicos no consumo de gás;
- Redução na geração de 9,5 mil toneladas de emissões atmosféricas;
- Redução no tratamento e/ou lançamento de 267 mil metros cúbicos de efluentes líquidos industriais;
- Redução na geração de 945,8 mil toneladas/ano de resíduos sólidos e 3,8 mil toneladas de resíduos perigosos;
- Reciclagem interna de 7,5 mil toneladas/ano de resíduos transformados em matérias primas e/ou novos produtos.

Durante a implantação do programa de P+L, diversas medidas são avaliadas do ponto de vista da eficiência ambiental e viabilidade econômica. A Figura 8 mostra que as medidas mais simples, de housekeeping, são as mais adotadas. Housekeeping é um termo internacional para designar “organização, limpeza e boas práticas de qualidade e/ou processo” (PMAISL, 2009).

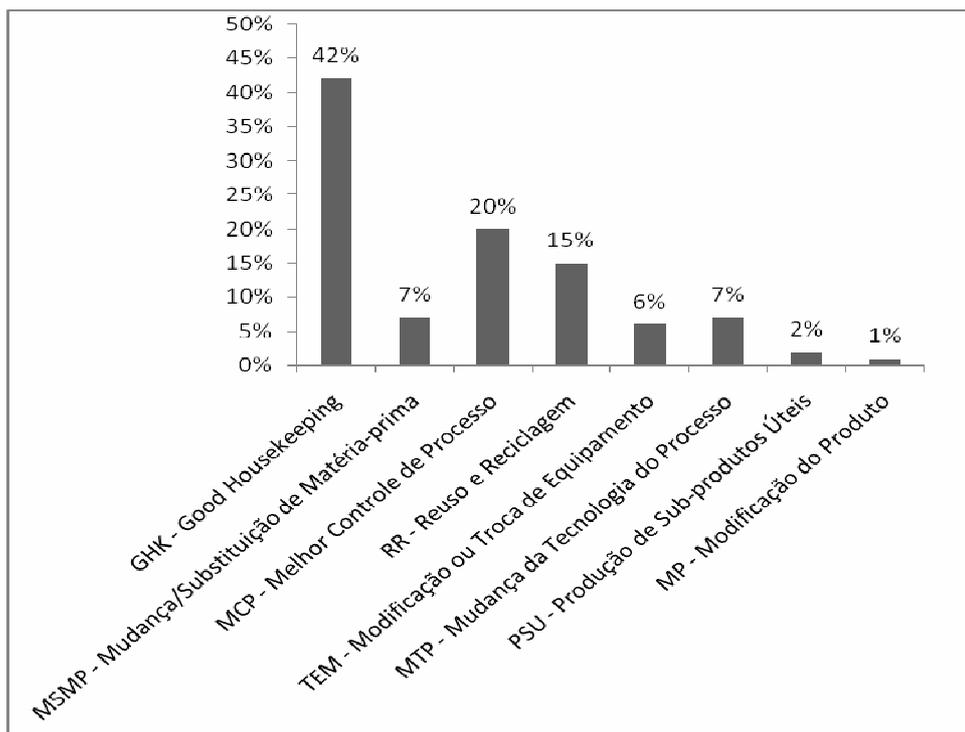


Figura 8 - Distribuição das medidas de P+L adotadas.

Fonte: Adaptado de PMAISL (2009).

Outra pesquisa feita entre um grupo de 200 pequenas empresas-piloto revelou que para cada R\$ 1 investido em projetos de ecoeficiência e de responsabilidade social corporativa, houve um retorno de R\$ 4 (PMAISL, 2009). Além dos ganhos econômicos, os benefícios ambientais foram animadores:

- Redução anual de seis milhões de toneladas de matérias primas;
- Economia de 350 mil metros cúbicos de água por ano;
- Economia anual de três milhões de kWh;
- Menos 5,5 toneladas anuais de emissões atmosféricas;
- Reaproveitamento de 230 toneladas/ano de resíduos diversos.

Cabe também relatar o trabalho desenvolvido pelo Núcleo de Caracterização de Materiais (NucMat) na Aciaria de uma siderúrgica brasileira, que teve como objetivo implementar um Programa de Produção mais Limpa adaptando o programa usual (UNIDO/UNEP) à realidade da organização, descrito por Vargas (2008). A unidade, com produção anual de 500 mil toneladas de aço bruto e aproximadamente 1.200 colaboradores, já possuía certificações de qualidade ISO 9002 e ISO 14001 e iniciou a implementação no setor

de Aciaria por ser a área mais crítica, representando 84% dos resíduos gerados pela empresa. A implementação do programa, após uma série de treinamentos abordando questões ambientais e o conceito de P+L, trabalhou através de um software de coleta de idéias onde os colaboradores relatavam suas sugestões de melhorias que posteriormente eram avaliadas quanto a sua viabilidade de implementação. O Programa obteve sucesso, expresso nos seguintes resultados:

- Minimização de, aproximadamente:
 - o 1,37 t/ano de geração de resíduos sólidos metálicos (carepa, cascões, sucata, ligas metálicas);
 - o 46 t/ano de perda de matéria prima (fundentes);
 - o 420 l/ano de óleo combustível;
 - o 130 t/ano de resíduos sólidos não-metálicos (refratários, construção civil, EPI's, borracha, entre outros).
- Redução do consumo de, aproximadamente:
 - o 80 mil folhas de papel/ano (reaproveitamento em impressão);
 - o 120.000 mil copos de plásticos/ano.
- Economia de aproximadamente 78.600 KW/ano no consumo de energia elétrica;
- Economia de aproximadamente 1.600 m³ no consumo de água de cinzas/ano;
- Redução no uso de Níquel Eletrolítico com ganhos de receita estimados em R\$ 200.00,00/ano;
- Estimativa de ganhos econômicos que totalizam aproximadamente R\$ 700.000,00 ao ano, como resultado de investimentos de cerca de R\$ 90.000,00 em ações de P+L.

O total de sugestões emitidas no período de vigência do Programa (4 meses) foi de 163, sendo 111 aprovadas quanto as suas viabilidades e 45 implementadas e padronizadas. Indicadores Econômicos e Ambientais foram formulados e aplicados, porém serão expostos e discutidos na metodologia e resultados do presente trabalho.

Internacionalmente, a ferramenta de P+L também possui expressão, principalmente em países emergentes e superpopulosos que precisam lidar com a gestão, geração e disposição inadequada de seus resíduos. A China tem hoje a maior produção anual de aço galvanizado e a maior quantidade de indústrias de galvanização no mundo. No entanto, com tecnologia obsoleta, a indústria de galvanização a quente foi identificada como uma das indústrias que consomem maior quantidade de matérias primas e energia, produzindo uma série de poluentes e causa grave contaminação no país (KONG, 2010).

Kong (2010) mostra os ganhos que a ferramenta de P+L traz em uma empresa de galvanização a quente. Após a produção de meio ano, um resumo das opções de P+L que foram implementadas e os benefícios econômicos são mostrados na Tabela 5. Como pode ser visto na tabela, os benefícios ambientais e as economias de custo são notáveis.

Tabela 5 - Análise ambiental e de benefícios econômicos anuais de uma indústria após a implementação da P+L

Benefícios Ambientais	
Redução da emissão de SO ₂	120 toneladas
Redução da emissão de CO ₂	6000 toneladas
Redução do consumo de Zinco	6,7 kg/t de aço
Redução do consumo de ácido	6 kg/t de aço
Redução do consumo de Cloreto de Zinco	1,5 kg/t de aço
Redução do consumo de água	340 l/t de aço
Consumo de energia (eletricidade no lugar de óleo pesado)	120 kwh/t (40 kg/t de aço)
Análise Econômica	
Custo de investimento total	\$ 1.205.958
Economia de matéria-prima (zinco, ácido, cloreto de zinco)	\$ 839.000
Economia de água	\$ 5.950
Economia de energia	\$ 542.160
Custo de manutenção poupado	\$ 7.000
Custo de operação dos equipamentos ambientais	\$ -17.227
Lucro líquido	\$ 1.376.883
Prazo de retorno	0,9 ano

Fonte: Adaptado de Kong (2010).

Através da implementação do projeto, quatro unidades de demonstração foram construídas para mostrar os benefícios de custo para outras empresas de galvanização e os impactos positivos para os governos locais; um sistema de avaliação da P+L foi desenvolvido

para fazer com que as empresas minimizem o investimento com a atualização técnica e tenham resultados mais efetivos e um sistema de treinamento para operadores para que as empresas tenham trabalhadores mais hábeis e as implementações sejam de forma sustentável.

Especificamente no setor de fundição, alguns ganhos tem sido obtidos por programas de P+L disseminados e incentivados pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) no estado de São Paulo. Um caso de sucesso ocorreu em uma indústria de fundição de médio porte que produz aproximadamente 6.800 t/ano de peças fundidas em aço, alumínio e ferro para mercados diversos, que desenvolveu um processo mecânico de tratamento da areia usada (resíduo Classe II que anteriormente era descartado), sendo reutilizada no processo produtivo e para a fabricação de blocos de concreto. O principal benefício ambiental da medida adotada foi a eliminação da necessidade de disposição final de cerca de 1.500 t/mês de areia de fundição. Além disso, esta medida permitiu a redução de 83% do consumo de areia, que passou de 600 a 1.600 t/ mês para 100 a 300 t/ mês, dependendo da demanda dos clientes. Do ponto de vista econômico foram obtidos:

- Economia anual média de R\$ 500.000,00 com a redução no consumo de areia;
- Economia anual média de R\$ 240.000,00, relativa ao transporte e disposição final do resíduo;
- Lucro (receita) anual médio de R\$ 50.000,00, com a venda dos blocos produzidos com areia fina.

Estes resultados permitiram uma economia média anual de R\$ 790.000,00, com tempo de retorno do investimento em cerca de 15 meses (CETESB, 2003).

Tendo em vista os conceitos e exemplos de aplicação apresentados neste capítulo, assume-se a necessidade de integração de resultados obtidos com os programas, baseados principalmente em práticas preventivistas, com os fluxos do sistema em questão, seja ele de abrangência local, regional ou global. As melhorias obtidas permitem avaliar o impacto da prevenção na quantidade de matérias primas e insumos envolvidos nos sistemas, melhorando os fluxos de materiais e aumentando a produtividade, consumindo menos recursos para a produção da mesma – ou até mesmo maior – quantidade de produtos.

Parte dos materiais que entram no sistema terminam como resíduos de produção (RP) como resultado do normal funcionamento dos processos de produção. Segundo o autor, os bens produzidos na região ou importados pela região compreendem:

- Bens de consumo duráveis, que constituem parte do estoque de materiais da região (infra-estruturas, veículos automóveis, etc.);
- Bens que são consumidos durante o período de contabilização e que terminam como resíduos (resíduos associados ao consumo, RC, que incluem os resíduos de bens de longa duração);
- Exportações, que podem ter como destino outras regiões do país (Exp) ou outros países do mundo (Exm).

A contabilização destes fluxos de materiais ao longo do espaço geográfico também ocorre para o setor de fundição em nível internacional. Dados do governo dos EUA, dos grupos de indústria dos EUA e dos perfis do balanço de massa do Reino Unido podem contribuir para a compreensão da geração de areia de fundição e comparação entre os diferentes processos de fabricação. Os números dos EUA e do Reino Unido são similares em termos de diversidade de metais (onde os EUA é de 72%, 13%, 10% para o ferro, alumínio e aço, respectivamente, e o Reino Unido 76%, 13%, 8%), energia por tonelada de metal fundido vendável (10,1 e 9,3 milhões de Btu/ton nos EUA e Reino Unido, respectivamente) e as emissões globais, com semelhanças notáveis em benzeno e material particulado. Uma diferença notável é a utilização de areia, onde os EUA envia 0,5 toneladas de resíduos de areia por tonelada de metal fundido para aterro, enquanto o Reino Unido gera 0,25 toneladas (DALQUIST; GUTOWSKI, 2004).

Outro exemplo na Europa é o Programa de Balanço de Massa Biffaward, um fundo multimilionário que concede bolsas para a comunidade e projetos ambientais em todo o Reino Unido e visa melhorar a informação sobre o impacto ambiental da utilização de recursos. Biffaward já financiou mais de 30 projetos separados, como parte deste programa e coordena-os com o objetivo de proporcionar a imagem mais detalhada do balanço de massa do Reino Unido até os dias atuais. O projeto está sendo realizado pelo Fórum para o Futuro, em nome da Royal Society of Wildlife Trusts (TOCR), e em nome da Biffa. Os recursos do fundo vem de taxas de créditos de aterros, doado pela Biffa Waste Services (BIFFAWARD, 2011).

A metodologia presente no relatório “The Foundry Mass Balance Project” da Castings Technology International faz parte desse programa Biffaward sobre o uso sustentável dos recursos. O objetivo deste programa é fornecer acesso, pesquisa e informações sobre os fluxos dos diferentes recursos na economia do Reino Unido, de forma isolada ou em uma combinação de regiões, materiais ou setores da indústria (DONOHOE, 2001).

Os materiais estão constantemente se movimentando ao redor do mundo humano. Eles são extraídos de uma parte da terra, transformados, transportados para o ponto de uso e utilizados como matérias primas para produtos específicos. Eles são mantidos nos estoques até serem levados para o processo de produção, conforme exigido em taxas pré-definidas e são combinados para fazer os produtos ou prestar os serviços de organizações comerciais. Grande parte da matéria prima trazida para o ambiente de produção será eliminada como resíduos. De fato, estima-se que para cada tonelada de produto fabricado por uma empresa, dez toneladas de materiais são consumidos. Isto significa que as nove toneladas restantes são compostas de resíduos e outras emissões (DONOHOE, 2001).

Alguns materiais serão reciclados, quer internamente dentro da organização ou externamente, por outra organização. Estes podem ser devolvidos de volta para o processo, ou formar uma matéria prima para utilização em outro processo. Movimentação de materiais fora de uma organização, portanto, serão caracterizados como produto, resíduos a ser eliminados, emissões ou resíduos para reciclagem. Eles certamente não desaparecerão e por isso é possível medir estes fluxos e estoques dentro e fora da organização e fazer a afirmação "o que entra, precisa sair (ou aumentar o estoque dentro da organização)". Isso traz um equilíbrio, um balanço de massa, para que se possa verificar a contabilização de todos os materiais dentro do sistema (DONOHOE, 2001).

A Figura 10 exemplifica a representação gráfica da metodologia através do Balanço de Massa Global do Setor de Fundidos.

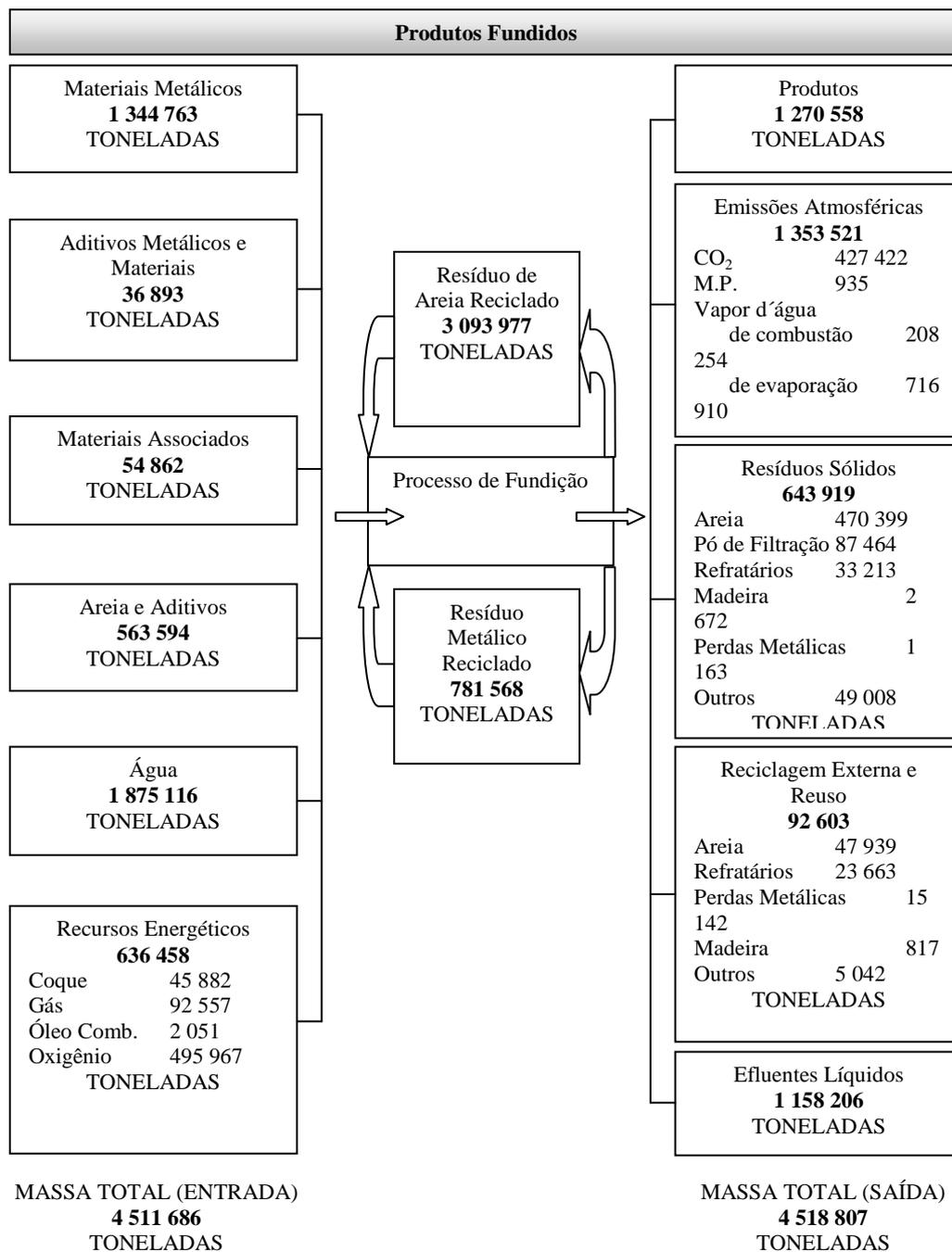


Figura 10 - Balanço de massa de produtos fundidos no Reino Unido.

Fonte: Adaptado de Donohoe (2001).

A integração e complementaridade dos conceitos e aplicações do balanço de massa com Ecologia Industrial permite a geração de informações básicas sobre a situação ambiental, econômica e produtiva dos processos, que sintetizadas geram indicadores capazes de expressar os ganhos obtidos de forma simples, além de identificar focos de ações

específicas para aprimoramento da eficiência dos materiais e energia inseridos no sistema, subsidiando decisões políticas e mercadológicas que priorizem o uso racional de recursos.

2.11 INDICADORES AMBIENTAIS

O termo indicador é originário do Latim *indicare*, que significa descobrir, apontar, anunciar, estimar. Os indicadores podem comunicar ou informar acerca do progresso em direção a uma determinada meta, como, por exemplo, o desenvolvimento sustentável, mas também podem ser entendidos como um recurso que deixa mais perceptível uma tendência ou fenômeno que não seja imediatamente detectável (HAMMOND et al., 1995).

Segundo o IBGE (2004), os indicadores podem ser entendidos como ferramentas constituídas por uma ou mais variáveis que, associadas por meio de diversas formas, revelam significados mais amplos sobre os fenômenos a que se referem.

A definição das variáveis e o levantamento e acúmulo de dados são etapas fundamentais da construção de indicadores; porém, informações brutas, sem nenhum tratamento, não são consideradas indicadores em si. Necessariamente, os indicadores apresentam certo grau de sistematização, de maneira que, os mais desejados são aqueles que resumem ou simplificam as informações relevantes, fazendo com que certos fenômenos que ocorrem na realidade se tornem mais aparentes (BELLEN, 2005).

A abordagem da pirâmide de informações desenvolvida pela Organization of Economic Cooperation and Development (OECD) e apresentada na Figura 11, sintetiza visualmente a relação entre dados, indicadores, índices e informação. Apresenta que os indicadores podem capturar dados complexos, de várias origens e segundo diversos modos de mensuração, e transformá-los em uma estrutura fácil de comunicar, tal como um índice global. Índices globais são o topo de uma pirâmide informacional, onde na base estão os dados primários de campo de várias naturezas e no meio estão os indicadores que os capturam e comunicam acerca do complexo objeto estudado, como, por exemplo, o desempenho ambiental (HAMMOND et al., 1995 apud BELLEN, 2002).

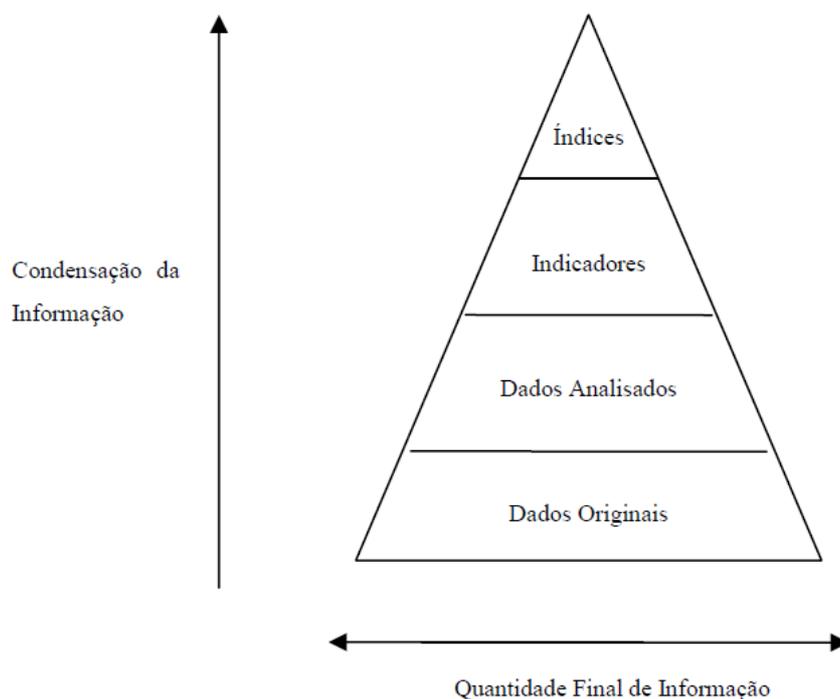


Figura 11 - Pirâmide de informações.
Fonte: Hammond (1995 *apud* BELLEN, 2002).

Um dos desafios da construção do desenvolvimento sustentável é o de criar instrumentos de mensuração capazes de prover informações que facilitem a avaliação do grau de sustentabilidade das sociedades, monitorem as tendências de seu desenvolvimento e auxiliem na definição de metas de melhoria. Os indicadores de sustentabilidade têm sido utilizados, também, como forma de melhorar a base de informações sobre o meio ambiente, auxiliar na elaboração de políticas públicas, simplificar estudos e relatórios e assegurar a comparabilidade entre diferentes regiões (OECD, 2006). Rabelo e Lima (2007) afirmam que na busca de uma forma de quantificar a sustentabilidade, os indicadores de sustentabilidade são essenciais para concretizar um processo de desenvolvimento em bases sustentáveis, através da operacionalização de um conjunto de variáveis que são relevantes para a comunicação de informações e, por conseguinte, para a compreensão da realidade investigada.

O indicador quantitativo, se bem definidos os parâmetros, é mais fácil de ser reproduzido ao longo do tempo, permitindo uma maior confiabilidade na informação, ao passo que o indicador qualitativo é mais suscetível a variações. Em situações em que haja necessidade da utilização de indicadores qualitativos, estes devem ser selecionados

obedecendo a critérios que reflitam o objetivo final do que se deseja informar, devendo ser representativos e confiáveis (STROBEL, 2005).

Os indicadores são, portanto, instrumentos essenciais para guiar a ação e subsidiar o acompanhamento e a avaliação do progresso alcançado rumo à sustentabilidade, podendo reportar fenômenos de curto, médio e longo prazo. Os indicadores viabilizam o acesso às informações relevantes geralmente retidas a pequenos grupos ou instituições, assim como apontam a necessidade de geração de novos dados (IBGE, 2004).

Nos últimos anos, tornou-se cada vez mais claro que a economia sustentável deve ser construída em torno de produtos sustentáveis, não apenas os processos industriais sustentáveis. Durante a última década, as mudanças nos padrões de consumo (por exemplo, o crescimento da população, um padrão de vida crescente, os desejos individuais para consumir produtos e serviços) têm compensado os ganhos ambientais que têm sido alcançados através de programas que visam tornar os processos de produção mais limpos e eficientes. Estratégias orientadas para processos podem efetivamente reduzir os impactos ambientais associados à concepção e fabricação de produtos.

Centros Nacionais de Produção Mais Limpa (NCPCs) procuram um papel ativo na resposta a este desafio. Em primeiro lugar, NCPCs têm um mandato para desenvolver competências nas estratégias de gerenciamento de produto. Portanto, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) já considera o foco em produtos como parte integrante da missão dos NCPCs. Em segundo lugar, a situação atual do NCPC dá a chance de ampliar significativamente sua esfera de influência. A comunidade internacional apelou para a criação de uma rede de centros nacionais de consumo sustentável desde 1994, quando o governo norueguês sediou um simpósio internacional sobre consumo sustentável como parte do seguimento da Agenda 21 (PNUD, 1998).

Recentemente uma série de organizações desenvolveu conjuntos de sustentabilidade ecológica e indicadores de eco-eficiência como os desenvolvidos no âmbito da ISO 14031 - Diretrizes para a avaliação do desempenho ambiental (ABNT, 2004). No entanto, estes conjuntos de indicadores pouco fazem para ajudar as empresas a entender como os sistemas de medição do desempenho ambiental evoluem. Eles oferecem listas simples de indicadores com a orientação limitada quanto à forma de escolha ou aplicá-las ao longo do tempo, a fim de tornar mais sustentável (GREINER, 2001).

As empresas podem estar em plena conformidade com as exigências do governo, mas ainda fazem pouco progresso na redução de seus impactos sobre a sustentabilidade global ou local. Os outros indicadores são necessários para examinar, por exemplo, a emissão de gases de efeito estufa ao longo do tempo e incluir estimativas de cadeia de fornecimento e as contribuições do ciclo de vida.

A maioria dos indicadores de sustentabilidade da indústria dá ênfase a uma parte da equação do desenvolvimento sustentável (meio ambiente) sobrepondo as duas outras (sociais e econômicas). As características econômicas e sociais incluem viabilidade econômica, justiça social e o desenvolvimento da comunidade e do trabalhador. Um corpo cheio de indicadores, representando as “três pernas” da sustentabilidade, é fundamental para mostrar até que ponto uma organização está se movendo em direção às práticas mais sustentáveis de produção.

Azapagic e Perdan (2000) também ressaltam que os indicadores de produção sustentável permitem a identificação de opções mais sustentáveis por meio de:

- comparação de produtos similares feitas por diferentes empresas;
- comparação dos diferentes processos que produzem o mesmo produto;
- benchmarking das unidades dentro das corporações;
- classificação de uma empresa contra outras empresas do setor;
- avaliação do progresso rumo ao desenvolvimento sustentável de um setor.

Segundo o Relatório sobre Produção mais Limpa e Consumo Sustentável na América Latina e Caribe, publicado em 2005 pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), do total de entidades pesquisadas, cerca de 65% trabalharam com indicadores ambientais nas várias atividades relacionadas à P+L e outros temas ambientais. Dentre as entidades governamentais, cerca de 50% fizeram uso deste instrumento e nas entidades privadas, este índice foi de cerca de 90%. Desta forma, verifica-se que há uma preocupação em se avaliar o andamento e os resultados das ações ambientais e de P+L por meio do uso de indicadores ambientais, especialmente pela iniciativa privada, onde as avaliações econômicas e ambientais são cada vez mais utilizadas para justificar os esforços e investimentos a serem realizados.

Adriansee (1993) já falava sobre o papel dos indicadores, os quais cumprem o objetivo social de melhorar a comunicação entre os tomadores de decisões políticas e a sociedade na discussão de temas complexos sobre os quais há necessidade de um consenso social acerca da estratégia de sua abordagem, como a política ambiental. Para tanto, um indicador deve tornar perceptível um fenômeno não detectável em termos imediatos, tendo um significado maior que o fornecido pela observação direta, expresso por gráficos ou fórmulas estatísticas.

Os indicadores e índices podem ser utilizados para um conjunto de diversas aplicações, consoante os objetivos em causa. Na Tabela 6 observa-se que os indicadores ambientais podem ajudar em análises em diversas áreas.

Tabela 6 - Áreas de atuação dos Indicadores.

Áreas de atuação dos Indicadores	
1. Avaliação do desempenho	Os indicadores ajudam a avaliar o desempenho ou concretização, se base de comparação estiver claramente identificada.
2. Limiares	Os limiares constituem uma base importante para a avaliação. Em ge ultrapassagem de um limiar de sustentabilidade bem definido deverá e uma mensagem óbvia aos políticos e à sociedade em geral.
3. Interligações causais	Os indicadores são importantes para apoiar a investigação das causas, as interligações entre as pressões e as condições ambientais.
4. Construção de Modelos e Cenários	Os indicadores fornecem dados reais e ajudam os testes de campo modelos e possíveis cenários futuros.

Fonte: Adaptado de Livestock and Environment Toolbox, 2004.

Desta forma, frente à situação analisada, procura-se utilizá-los, a partir da aplicação do programa de P+L e do balanço de materiais, para nortear a identificação e mitigação dos possíveis aspectos e impactos ambientais presentes na indústria de fundição e em suas atividades de produção, conforme a metodologia apresentada no capítulo seguinte.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para desenvolver os objetivos propostos, foram elaborados diagramas de funcionamento da linha de produção e fluxogramas de massa através de observação “in loco”, incluindo o levantamento dos maquinários, equipamentos e materiais envolvidos e o levantamento quantitativo e qualitativo da entrada e saída de material por equipamento envolvido nas modificações analisadas, além de registros mensais de consumo de matérias primas e insumos.

Uma estratégia utilizada para evidenciar a situação econômica e ambiental ao longo do período de estudo foi através de entrevistas dirigidas ao empresário e aos colaboradores de forma informal, porém com o objetivo de extrair a maior quantidade de informações sobre o referido espaço de tempo, já que aconteceram diversas modificações na economia global e, conseqüentemente, na empresa, subsidiando explicações das mudanças e situações levantadas.

Desta forma, buscou-se avaliar variações no consumo de materiais e energia, a partir de melhorias decorrentes da implementação de um Programa de Produção mais Limpa em uma empresa de fundição de pequeno porte ao longo do período de estudo – Maio de 2008 a Abril de 2011.

3.1 APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

O estudo de caso apresentado se deu na Indústria Metalúrgica Lorscheitter, empresa de pequeno porte com aproximadamente 60 colaboradores atuando no setor de fundição desde a sua fundação em 1988, após a aquisição pelos atuais sócios de uma antiga fundição que já existia no local (Balanças São Sebastião Ltda), cuja produção de ferro fundido era voltada a produção de balanças mecânicas para medições de baixas massas.

Localizada no município de São Sebastião do Caí, cerca de 50 km de Porto Alegre, a empresa opera em turno único e atende principalmente o setor de fabricação de máquinas, agrícola e automotivo, bombas d’água e construção mecânica.

As pesquisas tecnológicas apoiadas e patrocinadas pela Lorscheitter visam o desenvolvimento de projetos envolvendo a otimização de processo, melhoria da qualidade dos produtos fundidos e melhorias de indicadores ambientais do processo de fundição.

A empresa tem como um de seus parceiros tecnológicos o grupo de pesquisa NucMat/UNISINOS, desde 2005. Os primeiros trabalhos em conjunto culminaram na elaboração de um diagnóstico ambiental da empresa (projeto FUNDI-RS apoiado pelo SEBRAE-RS, e SINDIMETAL) com a proposição de sugestões de melhorias baseadas na concepção da Produção Mais Limpa. Como contribuição acadêmica e técnica dos resultados obtidos produziram um Trabalho final de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica e artigos apresentados em Seminários e Congressos.

A partir destes resultados, a empresa também solicitou estudos sobre as possibilidades de regeneração das areias usadas, uma das melhorias indicadas pelo grupo de pesquisa. Esta questão da valorização dos resíduos sólidos gerados em Fundição, através da aplicação do Programa de Produção Mais Limpa, está dentro das linhas de pesquisa do NucMat, portanto, estudos preliminares sobre a regeneração de areias descartadas para reuso no processo de moldagem na Lorscheitter foram realizados, resultando inclusive na troca da areia de moldagem à base de Silicato-CO₂ – de baixa reciclabilidade – para o sistema de resina Fenólica-alcalina e regenerável.

A regeneração de areias verdes descartadas de fundição requer apenas um tratamento mecânico, que consiste em um processo de fricção por atritos entre os grãos de areias, para obter as características próximas dos grãos de areia novos. Por outro lado, as areias quimicamente ligadas com resinas, requerem além da etapa de regeneração mecânica um tratamento subsequente, que proporciona a total limpeza dos contornos de grãos de areia, conferindo condições de religação em operações de moldagem ou na confecção de machos.

O grupo de pesquisa NucMat vem desenvolvendo este estudo na empresa desde 2009 através do Projeto “Desenvolvimento tecnológico para regeneração combinada mecânico-térmico de areias fenólicas de fundição” - REGENERAFUNDI (CNPq-RHAE) e tem demonstrado a necessidade do casamento da regeneração mecânica e térmica para atingir a limpeza adequada dos grãos de areia provenientes do processo de moldagem em areia com resina fenólica alcalina (GASPAR et al., 2007).

Para tanto, construiu-se um protótipo de um regenerador modular com estágios de tratamento mecânico, regeneração mecânica e termo-mecânica, para definir parâmetros de tratamento e servir de base à construção de equipamento industrial de baixo custo de aquisição e manutenção, fácil operação e instalação, com autonomia de tratamento adequado

ao uso por pequenas empresas de fundição. Esta foi uma relevante para a empresa, trazendo uma série de benefícios ambientais e econômicos, tendo em vista a extensiva geração deste tipo de resíduo nesta empresa. O desenvolvimento desta tecnologia não foi abordado de maneira mais completa neste trabalho, porém os ganhos que serão obtidos são apresentados, pois enriquecem a discussão da eficiência de materiais.

O desenvolvimento desta tecnologia de regeneração e a implementação do Programa de P+L influenciam diretamente no consumo de materiais na empresa, porém outras ferramentas tiveram que ser aplicadas e desenvolvidas na empresa antes de introduzir estes conceitos, pois a situação ambiental e gerencial do processo antes da parceria era crítica. Foram aplicadas ferramentas de Gestão Ambiental, como o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), Análise de Aspectos e Impactos Ambientais (AIA) e identificação de possibilidades de P+L através das próprias ferramentas específicas da P+L (Níveis 1, 2 e 3) e seus resultados e comentários estão expressos nas seções seguintes. Apesar de não ser especificamente o foco do presente estudo, estas ferramentas auxiliaram e influenciaram diretamente no processo de qualificação ambiental da empresa, bem como na variação do consumo de recursos em seu processo.

3.1.1 Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

Como a situação gerencial dos resíduos da maioria das organizações deste setor tem pouca atenção do ponto de vista administrativo, foi necessária a elaboração de um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. Para elaboração do PGRS utilizou-se uma metodologia baseada nas legislações vigentes e adaptada pelo Núcleo de Caracterização de Materiais da Unisinos (NucMat) para este tipo de empreendimento.

A primeira etapa foi conhecer e buscar informações sobre o processo produtivo de uma fundição de ferro fundido do Vale do Rio dos Sinos, considerada uma empresa de pequeno porte de acordo com a Lei Complementar nº 123/2006, para após realizar um diagnóstico ambiental, onde se identificou a situação atual da empresa, se esta possuía licença e/ou pendências ambientais, bem como sua estrutura organizacional (fluxograma) e balanço de massa qualitativo (diagrama de blocos).

Concluída a familiarização, realizou-se um levantamento, por setor, dos resíduos gerados na empresa durante oito meses no ano de 2009. Com a ajuda dos colaboradores, iniciou-se a quantificação dos resíduos e dos equipamentos envolvidos no processo.

Para analisar os dados, foram elaborados diagramas de blocos - entradas e saídas - e fluxograma do processo produtivo. Estes dados foram compilados para a elaboração do plano de gerenciamento de resíduos.

Com a qualificação e a quantificação dos resíduos gerados, possibilitou-se uma análise mais profunda dos resíduos focados pelo estudo, podendo estabelecer relações de consumo de matérias primas e insumos, bem como a criação de indicadores de eficiência do processo.

Juntamente com o plano de gerenciamento, realizou-se uma capacitação dos colaboradores voltada para questões ambientais com o objetivo de sensibilizá-los frente à quantidade de resíduos gerados pelo setor de fundição e para haver maior cooperação na coleta dos dados.

A empresa, que possui licença de operação vigente, utiliza ciclo fechado de água para resfriamento, tendo baixa geração de efluentes líquidos, a não ser pelo esgoto cloacal e de cozinha enviado para a rede municipal

A Figura 12 expressa o fluxograma geral do processo de produção de ferro fundido utilizando Areia Fenólica.

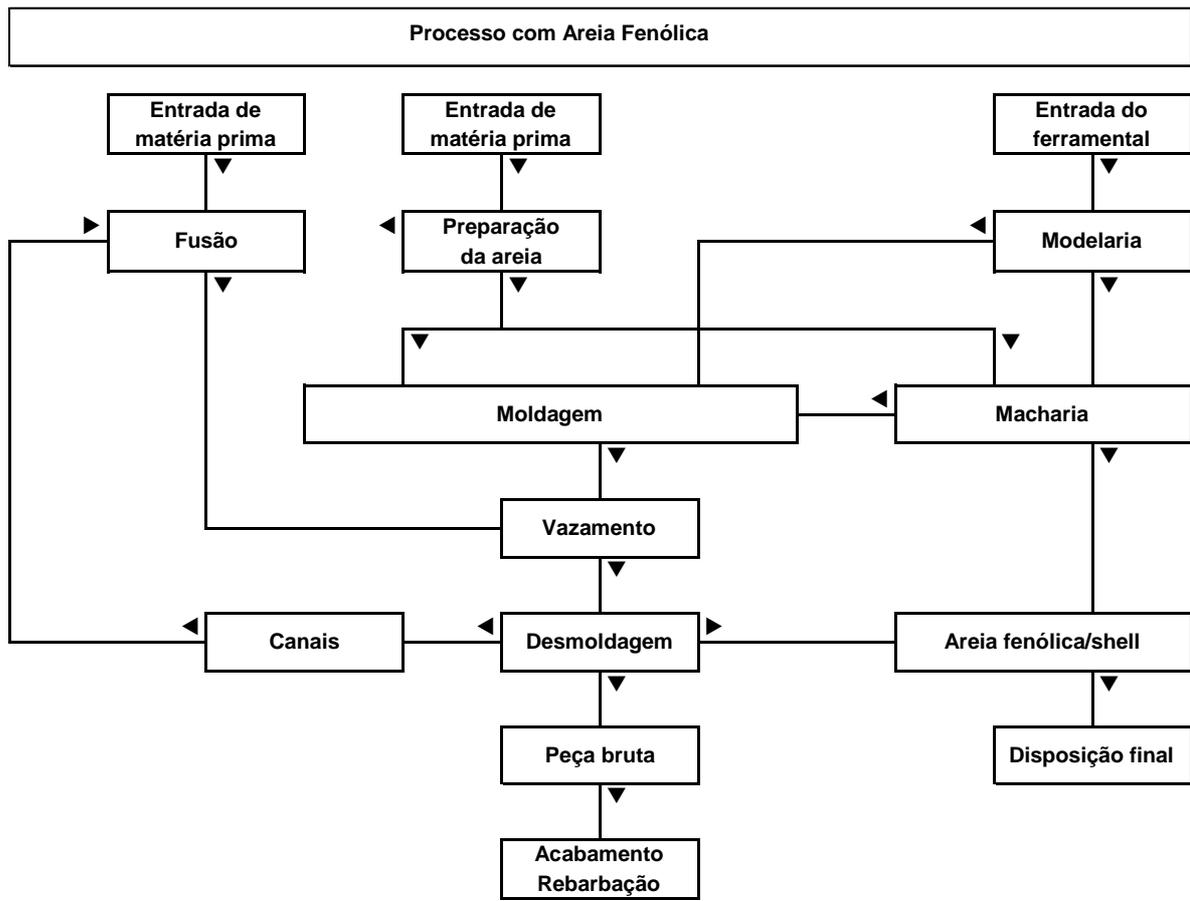


Figura 12 - Fluxograma geral do processo com Areia Fenólica

Após analisar a estrutura organizacional do processo produtivo, monitoraram-se as entradas e saídas de todas as etapas do mesmo, como é exemplificado na Figura 13.

BALANÇO DE MASSA QUALITATIVO		
ENTRADAS	ETAPA	SAÍDAS
Madeira, gesso, isopor, massa plástica	Ferramentaria	Refugo, madeira, isopor, embalagens (RS), modelo (P)
Areia, resina fenólica/shell/silicato, carvão grafite, álcool, CO ₂ , ar comprimido, gás butano (cozinha)	Macharia	Areia fenólica, emissões atmosféricas, areia shell, areia silicato (RS), macho (P)
Areia, betonita, carvão mineral água, energia elétrica	Preparação areia	Perdas de transporte (RS), areia preparada (P)
Areia verde preparada, caixa, macho, óleo diesel, energia elétrica	Moldagem	Perdas de transportem (RS), molde pronto (P)
Sucata, ferro gusa, inoculante, estanho, cobre, FeSi granulado, energia elétrica, água, areia fenólica e shell. Ajuste de liga: Mn, Pirita, Grafaloy, FeP, Carbureto de Si, Cr	Fusão (cinzento)	Escória, embalagens (RS), ferro fundido (P)
Sucata, ferro gusa, inoculante, FeSiMg liga 4, energia elétrica, água, areia fenólica e shell. Ajuste de liga: Pirita, Grafaloy, FeP, Carbureto de Si	Fusão (nodular)	Escória, embalagens (RS), ferro fundido (P)
Metal líquido, filtro (depende da peça), caixa, molde, macho, energia elétrica	Vazamento	Escória, filtro (RS), peça vazada (P)
Caixa, molde, macho, peça	Desmoldagem	Peça bruta (P), caixa usada, areia verde usada, macho usado (RS)
Peça bruta, energia elétrica, granalha, disco de desbaste	Acabamento	Peça acabada (P), canais, pó da peça, resíduo metálico (rebarbação), peça de refugo, granalha (RS)

Figura 13 - Balanço de massa qualitativo de cada etapa do processo de fundição.

3.1.2 Análise de Aspectos e Impactos Ambientais

Concomitante a elaboração do PGRS, também foram levantados os aspectos e impactos ambientais relacionados com o processo que, conseqüentemente, foram analisados.

Em uma análise qualitativa (MORAES et al., 2010) realizaram um levantamento de aspectos e respectivos impactos potenciais de cada etapa do processo. Após o levantamento e pontuação dos impactos ambientais para o processo de fundição como um todo, tem-se uma tendência que os setores Preparação da Areia, Moldagem e Fusão, que mais pontuaram, causem maior impacto potencial ambiental.

Porém, como cada setor possui sua quantidade particular de aspectos considerados, achou-se necessário desenvolver uma relação com o número de aspectos de cada etapa do processo isoladamente. Desta forma, notou-se uma situação diferente da análise do total pontuado por cada setor, tendo maior potencial impactante os setores Moldagem, Fusão e Acabamento. Analisando o aspecto consumo energia elétrica observou-se que o mesmo gera o impacto uso de recursos naturais, que, conforme os dados obtidos, corresponde a 60% dos impactos potenciais totais da empresa e se faz presente em todas as etapas do processo.

O consumo de água no processo de fundição em questão, apesar de aparecer em apenas duas etapas, teve pontuação máxima, por ser um recurso natural relativamente escasso. O uso ocorre na preparação da areia e na fusão, sendo muito mais significativo nessa última etapa, usada para o resfriamento. O sistema de resfriamento funciona em circuito fechado, a água então pode ser reutilizada várias vezes, havendo perdas somente por evaporação. Devido ao fato de não ser possível quantificar exatamente o consumo de água do processo por falta de equipamentos que o façam, este dado foi estimado pelos próprios colaboradores, que chegaram a um gasto de aproximadamente 2.000 l/semana.

Em relação aos resíduos, percebe-se que apesar de representar 1/5 dos impactos potenciais (contaminação do solo/água e ocupação em aterro), constitui um grande problema do setor. Sabe-se que mensalmente a indústria chega a descartar aproximadamente 125 t de areias de fundição, um resíduo Perigoso (Classe I), segundo a norma NBR 10004.

3.1.3 Ferramentas do Programa de Produção mais Limpa

No fluxograma da Figura 14 são apresentadas as ferramentas utilizadas na implementação de um Programa de Produção mais Limpa. Estas ferramentas, propostas pelo CNTL e adaptadas à realidade de trabalho do NucMat, buscam as melhorias contínuas tendo como base a minimização da geração de resíduos nos Níveis 1 e 2. Na medida em que resíduos são gerados em todas as etapas da produção industrial, estas ferramentas devem ser sempre consideradas na implantação do Programa.

Além disso, deve-se observar a possibilidade de reciclagem externa destes resíduos (Nível 3) numa perspectiva de desenvolvimento de coprodutos de maior valor agregado, obedecendo premissas básicas como segregação interna, não contaminação, caracterização dos coprodutos e estabelecimento de controles e limitações para sua reciclagem.

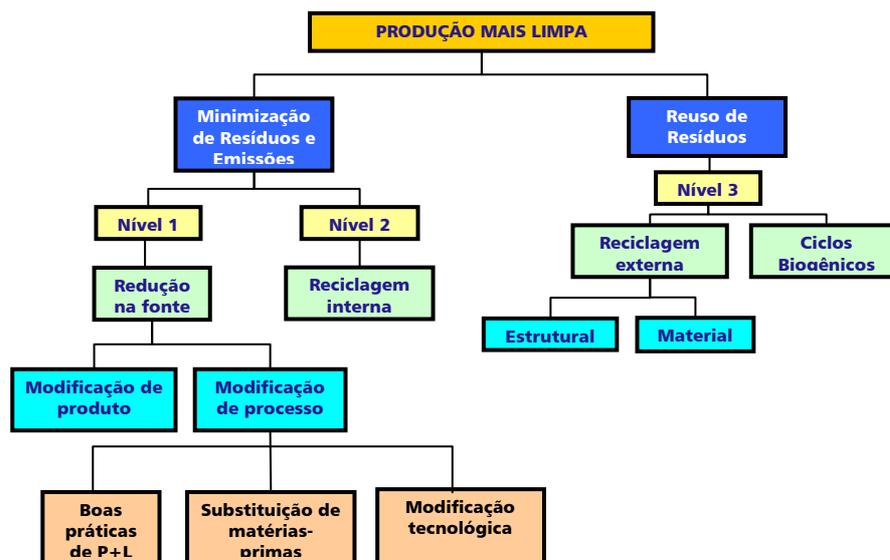


Figura 14 - Fluxograma geral das ferramentas de Produção mais Limpa.

Ao se analisar este fluxograma percebe-se que muitas empresas já aplicam algumas destas ferramentas, sem contabilizar os ganhos ambientais e econômicos advindos destas ações.

Traçando um paralelo com a realidade encontrada em um estudo de caso de implementação de P+L em uma Siderúrgica, descrito por Pires (2009), a Figura 15 apresenta um gráfico com a proporção dos Níveis em que as sugestões de P+L se encaixaram em cada célula da empresa.

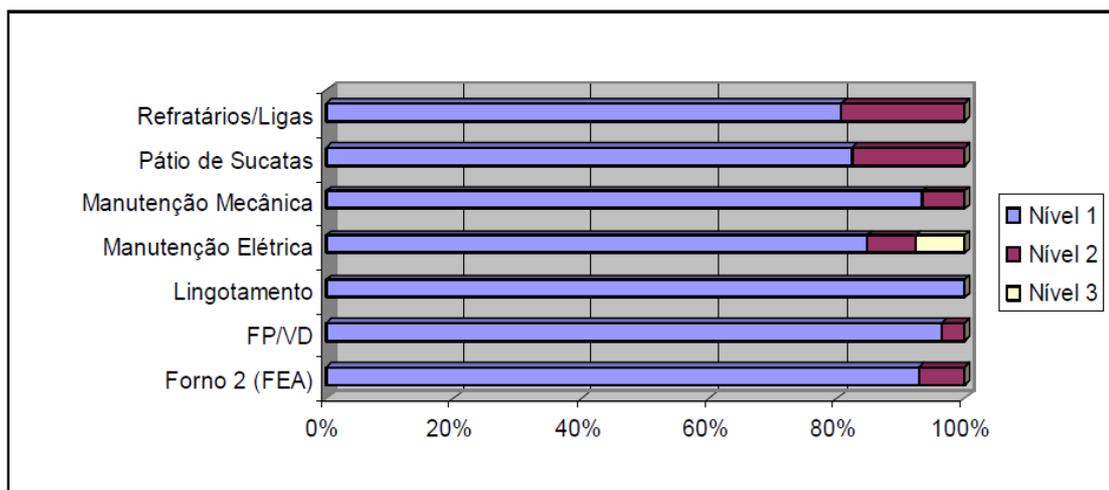


Figura 15 - Níveis de P+L que as sugestões se enquadraram, por célula.

Este gráfico evidencia o foco da metodologia de produção mais Limpa no Nível 1, Redução na Fonte, o que engloba a premissa básica da P+L de redução e eliminação da geração de resíduos no processo causador do impacto. Percebe-se também a baixa ocorrência da ferramenta de Nível 3 (Reciclagem Externa e Ciclos Biogênicos), que é vista pela metodologia do CNTL como “menos desejável”.

Esta situação ajuda na discussão da complementariedade das ferramentas de Ecologia Industrial, podendo tornar o Nível 3 uma espécie de Simbiose Industrial dentro do conceito de Produção mais Limpa, elevando os ganhos econômicos e ambientais e evitando uma “marginalização” do conceito de Reciclagem Externa.

3.2 IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA DE P+L NA FUNDIÇÃO

A seguir, apresenta-se de uma forma geral a metodologia adotada pelo Núcleo de Caracterização de Materiais (NucMat) da Unisinos e aplicada na indústria de fundição em questão, como mostra a Figura 16. Cabe salientar que os dados de metodologia expostos a seguir nesse capítulo já foram aplicados na empresa, sendo mérito deste trabalho uma análise posterior dos resultados que este programa trouxe em termos de benefícios e barreiras. Para o desenvolvimento desta metodologia baseou-se na Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) / Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) e adotada no Brasil pelo Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL).

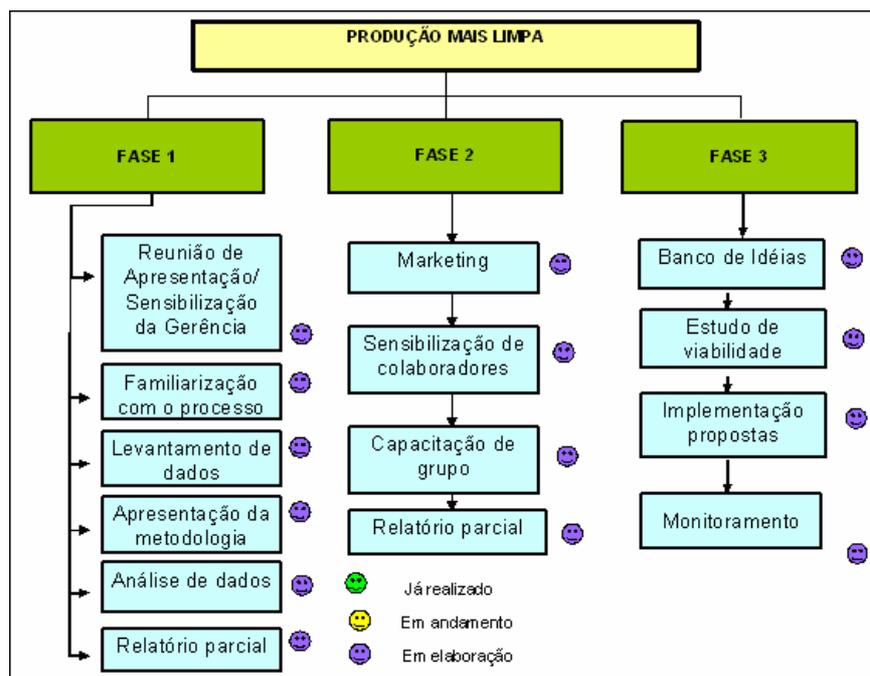


Figura 16 - Passos para a implementação de um programa de P+L.

Fonte: Moraes et al. (2008).

Para que a Fase 1 seja contemplada deve-se:

Sensibilizar a gerência para garantir o sucesso do Programa P+L é fundamental.

a) Obter resultados consistentes que depende decisivamente do comprometimento da empresa com o P+L.

a) Identificar possíveis barreiras que possam impedir a implementação.

b) Definir a amplitude do Programa de P+L na empresa.

c) Elaborar fluxograma e diagrama de blocos do processo produtivo, para conhecer bem o processo, identificando todas as entradas e saídas que envolvem a produção (matéria prima, insumos, água, energia, resíduos gerados, etc.). Este levantamento de dados deve ser realizado, preferencialmente, qualitativa e quantitativamente. A Figura 17 apresenta um exemplo de diagrama de bloco.

d) Realizar um diagnóstico ambiental do processo, que é a compilação dos dados obtidos no fluxograma, diagrama de blocos. Com estes dados é possível avaliar os aspectos e impactos ambientais.

e) Identificar o foco de avaliação, com as informações do diagnóstico ambiental e da planilha dos principais aspectos e impactos ambientais. Estas informações são analisadas considerando os regulamentos legais, as quantidades de resíduos gerados, a toxicidade dos resíduos e os custos envolvidos.

BALANÇO DE MASSA QUALITATIVO E QUANTITATIVO				
ENTRADAS	QUANTIDADE	PROCESSO	SAIDAS	QUANTIDADE
MATÉRIAS-PRIMAS:		Processo 1	PRODUTO:	
INSUMO:			RESÍDUO:	
MATÉRIAS-PRIMAS:		Processo 2	PRODUTO:	
INSUMO:			RESÍDUO:	

Figura 17 - Exemplo de diagrama de blocos para o balanço de massa qualitativo e quantitativo.
Fonte: Moraes et al. (2010).

Na Fase 2 é elaborado uma estratégia de divulgação da P+L, onde é realizado o lançamento oficial do Programa, define-se a matriz de sensibilização e aplicação do treinamento para todos os colaboradores do setor ou da empresa.

Na Fase 3 é elaborado o balanço do material e são estabelecidos indicadores, também são identificadas as causas da geração de resíduos e são identificadas as opções (sugestões) de P+L. Após a identificação das sugestões, estas são analisadas ambiental e economicamente antes e depois da implementação das melhorias. Esta fase exige também que seja elaborado um sistema de monitoramento constante do Programa, pois a princípio sempre se pode tornar o processo mais eficiente. As sugestões que compõe o banco de idéias são geradas pelos próprios funcionários e coletadas pelos pesquisadores do NucMat, através de planilhas de detalhamento e entrevistas com os idealizadores, para que as mensurações sejam mais próximas da realidade. Cabe salientar que estiveram envolvidos aproximadamente 25 pesquisadores em todo o processo de melhoria ambiental, sendo alguns responsáveis pela coleta e mensuração das sugestões do presente trabalho. Este grupo abrange estudantes e profissionais das áreas de Gestão Ambiental, Engenharia de Produção, Engenharia Metalúrgica, Engenharia Mecânica, Engenharia Elétrica, Administração, Biologia, Engenharia de Alimentos, Química e Engenharia Ambiental.

3.2.1 Elaboração de Indicadores Ambientais para P+L

Para que as práticas do Programa de Produção mais Limpa, utilizadas nos processos produtivos, sejam apresentadas de forma objetiva e facilmente compreendida, é necessário que sejam estabelecidos critérios e definidos indicadores. A seleção dos indicadores ambientais deve ser desenvolvida de forma que permita avaliar a medição qualitativa e quantitativa dos impactos ambientais.

Para a seleção dos indicadores ambientais foi utilizada a metodologia desenvolvida pela equipe do Núcleo de Caracterização dos Materiais da Unisinos (NucMat) que permitiu analisar a medição qualitativa e quantitativa dos impactos ambientais (VARGAS et al., 2009), quando da implementação do Programa de Produção mais Limpa em uma siderúrgica gaúcha via projeto de pesquisa, no período de 2007 a 2009. Exemplos de construção de indicadores ambientais utilizados neste projeto anterior são apresentados nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7 - Definição para abrangência do impacto ambiental.

ABRANGÊNCIA	CRITÉRIOS PARA IMPACTO AMBIENTAL
Somente Setor	Sugestões que tenham um benefício ou benfeitoria com impacto ambiental positivo apenas local e não se estendem aos demais setores ou áreas de empresa, nem no seu entorno.
Na área produtiva	Sugestões que tenham um benefício ou benfeitoria com impacto ambiental positivo que podem se estender as demais atividades semelhantes dentro da área produtiva.
Empresa como um todo	Sugestões que tenham um benefício ou benfeitoria com impacto ambiental positivo que podem se estender as demais atividades dentro da empresa ou que ocorra apenas dentro de seus limites.
Empresa + Comunidade Local	Sugestões que tenham um benefício ou benfeitoria com impacto ambiental positivo que podem se estender as demais atividades semelhantes dentro da empresa e que tenham impacto na sociedade. <ul style="list-style-type: none"> - Emissões de odores. - Doação/ venda de resíduos para reciclagem.
Global	Sugestões que tenham um benefício ou benfeitoria com impacto ambiental positivo que envolva, direta ou indiretamente, os seguintes fatores: <ul style="list-style-type: none"> - Desperdício ou uso indevido de recursos naturais. - Potencial contaminação do solo. - Uso de energia. - Consumo de água. - Emissão de gases e particulados. - Minimização de resíduos com redução de ocupação de área em ate

Fonte: Vargas et al. (2009).

Tabela 8 - Definição do tipo de mudança cultural envolvido.

TIPO DE MUDANÇA	CRITÉRIOS PARA MUDANÇA CULTURAL
ALTA	Sugestões que possuem P+L (conforme orientado em treinamento), sugestões que mencionam as expressões usadas na P+L, ou sugestões que, por meio de entrevistas com o funcionário, percebeu-se a preocupação com melhorias ambientais.
BAIXA	Sugestões que não fazem menção de expressões usadas em P+L como: reutilizar, poluir, reduzir, diminuir, minimizar, recircular, reciclar, separar, segregar, reaproveitar, etc.

Fonte: Vargas et al. (2009).

Sendo assim, baseado nos critérios apresentados a seguir, foi elaborado um quadro de indicadores ambientais (Tabela 9), para a avaliação das sugestões de P+L, contemplando ao mesmo tempo, o nível atingível dos impactos ambientais e as mudanças culturais, que podem ser observados nas sugestões de melhorias ambientais do Programa de P+L.

Tabela 9 - Quadro de indicadores ambientais.

Pontuação dos Indicadores ambientais	Impacto Ambiental / Mudança cultural
1	Somente no setor e baixa mudança cultural com P+L
1.5	Alta mudança cultural
2	Abrange os demais setores e tem baixa mudança cultural com P+L
2.5	Alta mudança cultural
3	Na empresa e com baixa mudança cultural com P+L
3.5	Alta mudança cultural
4	Empresa e Comunidade e com baixa mudança cultural com P+L
4.5	Alta mudança cultural
5	Global e com baixa mudança cultural com P+L
5.5	Alta mudança cultural

Fonte: Vargas et al. (2009).

3.2.2 Elaboração de Indicadores Econômicos para P+L

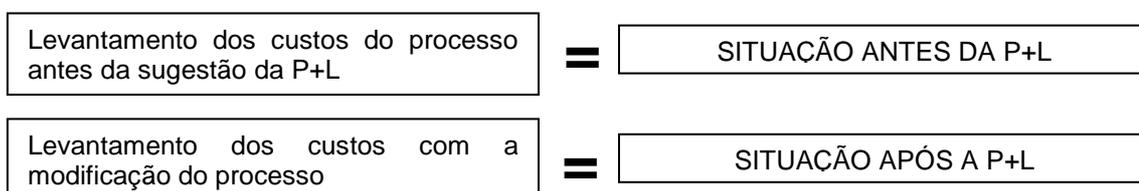
A P+L procura implantar ações que tragam ganhos ambientais enfatizando os benefícios econômicos com os resultados obtidos. Para avaliar os benefícios econômicos, a partir da contribuição de melhorias ambientais, foram elaborados indicadores econômicos durante o Programa de P+L na empresa (MORAES; et al., 2008).

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

BENEFÍCIO ECONÔMICO = CUSTO DA SITUAÇÃO ANTES DO P+L – CUSTO DA SITUAÇÃO APÓS O P+L
--

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

A metodologia de quantificação do Benefício Econômico abrange:



O prazo de retorno de investimento permite estimar em quanto tempo ele se pagará. Representa o número mínimo de meses a partir do qual, os valores econômicos obtidos após a P+L, serão ganhos permanentes pela empresa.

Para os cálculos é usado como base o Guia do P+L - Centro Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (Rede Brasileira de Produção mais Limpa, 2002).

$$\text{PRAZO RETORNO DO INVESTIMENTO} = \text{INVESTIMENTO} / \text{BENEFÍCIO ECONÔMICO}$$

A Tabela 10 demonstra exemplo de indicadores econômicos obtidos de melhorias ambientais através da análise do investimento da sugestão e do retorno financeiro que ela proporciona.

Tabela 10 - Indicadores econômicos baseados em investimento e tempo de retorno.

Pontuação dos Indicador econômicos	Investimento /retorno
1	Até R\$ 5.000,00 com retorno em 1 mês
1.3	Com retorno até 6 meses
1.6	Com retorno acima de 6 meses
2	De R\$ 5.000 à R\$ 40.000 com retorno até 6 meses
2.3	Com retorno até 10 meses
2.6	Com retorno acima de 10 meses
3	De R\$ 40.000 à R\$ 200.000 com retorno até 6 meses
3.3	Com retorno até 10 meses
3.6	Com retorno acima de 10 meses
4	De R\$ 200.000 à R\$ 800.000 com retorno em até 12 meses
4.3	Com retorno em 18 meses
4.6	Com retorno acima de 18 meses
5	Acima de R\$ 800.000 com retorno em até 36 meses
5.3	Com retorno em 48 meses
5.6	Com retorno acima de 48 meses

Fonte: Vargas et al. (2009).

Uma questão importante a ser comentada referindo-se a esta metodologia de elaboração de indicadores econômicos é a sua adaptação para a realidade do estudo de caso do presente trabalho. As faixas de valores estabelecidos pelo NucMat foram baseados na implementação do Programa de P+L em uma Siderúrgica de grande porte, com aproximadamente 1.200 colaboradores e produção de 500 mil toneladas de aço bruto, sendo necessária uma adaptação dos valores à realidade do estudo de caso, em uma Indústria de Fundição com 5% da quantidade de colaboradores e 90 toneladas de ferro fundido produzido anualmente. A Tabela 11 apresenta esta adaptação.

Tabela 11 - Indicadores econômicos baseados em investimento e tempo de retorno corrigidos.

Pontuação dos Indicadores econômicos	Investimento /retorno
1	Até R\$ 500,00 com retorno em 1 mês
1.3	Com retorno até 6 meses
1.6	Com retorno acima de 6 meses
2	De R\$ 500,00 à R\$ 1.000,00 com retorno até 6 meses
2.3	Com retorno até 10 meses
2.6	Com retorno acima de 10 meses
3	De R\$ 1.000,00 à R\$ 5.000,00 com retorno até 6 meses
3.3	Com retorno até 10 meses
3.6	Com retorno acima de 10 meses
4	De R\$ 5.000,00 à R\$ 20.000,00 com retorno em até 12 meses
4.3	Com retorno em 18 meses
4.6	Com retorno acima de 18 meses
5	Acima de R\$ 20.000,00 com retorno em até 36 meses
5.3	Com retorno em 48 meses
5.6	Com retorno acima de 48 meses

Fonte: Adaptado de Vargas et al. (2009).

3.3 AVALIAÇÃO DO BALANÇO DE MASSA E EFICIÊNCIA DOS MATERIAIS

Em um balanço de massa estão registradas informações sobre entradas e saídas de energia e materiais utilizados e a quantidade de matérias primas, insumos, produtos e resíduos é expressa por medidas como: massa (kg, t), volume (l, m³), energia (kWh).

Através de planilhas de consumo de matérias primas e insumos da empresa é possível avaliar a variação dos fluxos de entradas de materiais ao longo dos 36 meses de estudo, permitindo observar os ganhos advindos da implementação de um Programa de Produção mais Limpa e identificar pontos que demandam maior atenção do ponto de vista gerencial.

4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nos capítulos seguintes são expressos os resultados e discussões da aplicação da metodologia proposta.

4.1 A FUNDIÇÃO – HISTÓRICO

A empresa, inicialmente como produtora de balanças mecânicas para medições de baixas massas (Balanças São Sebastião Ltda), atendia o mercado de comércio de alimentos, sendo adquirida pelos atuais sócios que observaram a possibilidade de explorar e produzir os próprios componentes em ferro fundido utilizado nas balanças. Desta forma, foi criada uma nova empresa agregada – Indústria Metalúrgica Lorscheitter Ltda – responsável por atender clientes externos de diversos setores, e a qual é foco deste estudo.

A Indústria Metalúrgica Lorscheitter Ltda hoje produz e distribui peças em ferro fundido nodular e cinzento para todo o mercado brasileiro, seja ele: agrícola, automobilístico, para construção de máquinas ou bombas d'água. Visa oferecer um produto de qualidade, tecnologicamente atualizado, e ainda uma solução às necessidades específicas de cada cliente, desta forma a empresa procura atender a cada cliente de forma individual, a fim de executar com êxito o projeto solicitado.

A Moldagem é mecanizada em areia verde para peças de 0,5 kg a 30,0 kg e as peças de 30,0 kg a 2.800,0 kg são confeccionadas num processo de moldagem manual com areia e resina fenólica, intitulado processo de moldagem de cura a frio, o que confere excelente qualidade ao produto final.

Procurando explicitar a inserção da empresa no espaço geográfico e, portanto, sua influência regional proveniente de suas atividades e fluxos de materiais, a localização da planta é apresentada na Figura 18.

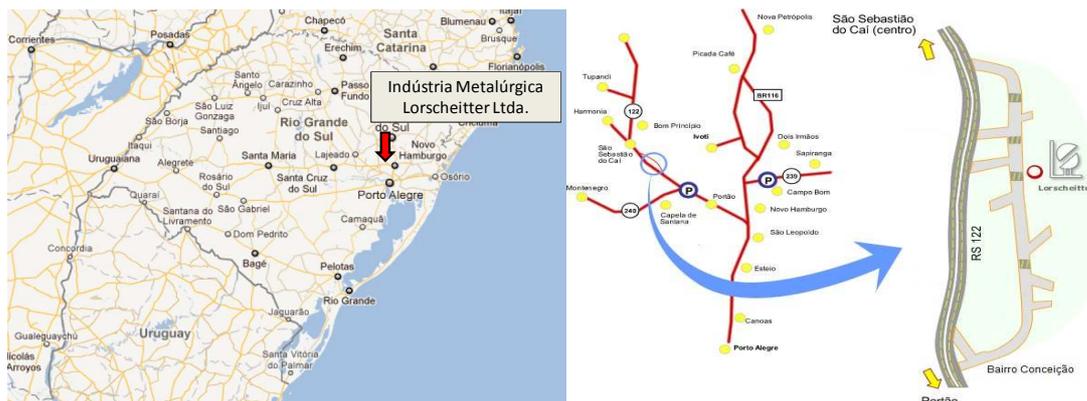


Figura 18 - Localização da empresa.

A planta de produção está localizada no Município de São Sebastião do Caí, no estado do Rio Grande do Sul – Brasil, e encontra-se próxima à RS-240, o que facilita o recebimento de insumos e matérias primas bem como o escoamento rodoviário da produção, que pode chegar a 120 t/mês.

Uma linha do tempo foi construída (Figura 19) para a melhor visualização das atividades desenvolvidas na empresa ao longo dos anos, bem como as intervenções e parcerias realizadas do ponto de vista tecnológico e de melhorias de produtos e processos.

O desenvolvimento da linha do tempo se deu principalmente pela necessidade de evidenciar e discutir as modificações no processo ao longo da parceria empresa/universidade (grupo de pesquisa) que foram relevantes para a melhoria do panorama ambiental e econômico da empresa. Destacam-se os Projetos de Pesquisa realizados, contratações de profissionais qualificados, produção de trabalhos de conclusão, artigos e participação em mostras de iniciação científica e feiras do setor e de meio ambiente, modificações na tecnologia de processamento em areia verde (sistema mecanizado de moldagem e sistema de recuperação de areia), troca da tecnologia de fusão, prêmios conquistados por projetos na empresa, instalação de outras tecnologias para melhoria do processo, obtenção de Licença de Operação pelo órgão ambiental e, por fim, a implementação das Sugestões do Programa de Produção mais Limpa (8 casos de P+L) ao longo do período analisado. A identificação temporal destas sugestões implementadas permite avaliar influências da prevenção e redução da geração de passivos no consumo de materiais e energia da empresa.

A jornada de trabalho na empresa é de 8 horas diárias, divididas em dois turnos (manhã e tarde) ao longo dos cinco dias úteis semanais, com alguns finais de semana voltados

para a realização de manutenção e produção de peças específicas que não foram realizadas ao longo dos dias úteis semanais. Organiza-se através de uma administração familiar formada por dois sócios gerentes que coordenam atividades de administração e planejamento de metas e das diretrizes da empresa. Uma característica marcante do cotidiano destes e outros colaboradores é o desempenho de tarefas - sejam elas de produção, manutenção, gestão e implantação de melhorias - de uma forma mútua, onde os colaboradores são deslocados para pontos da produção que necessitem mais atenção e mão-de-obra.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

A empresa está instalada em um terreno de 7200 m², com uma área construída utilizada para obter seu produto final de 1600 m². Pode ser dividida atualmente nos setores apresentados na Figura 20, compreendendo:

- Setor de Fusão;
- Setores de Acabamento e Expedição (Rebarbação, Pintura, CNC);
- Setor de Macharia;
- Setor de Modelaria;
- Setor de Manutenção;
- Setores de Moldagem (Manual e Mecanizada);
- Setor de Estoque;
- Setor de Administração;
- Refeitório;
- Depósito para materiais diversos.

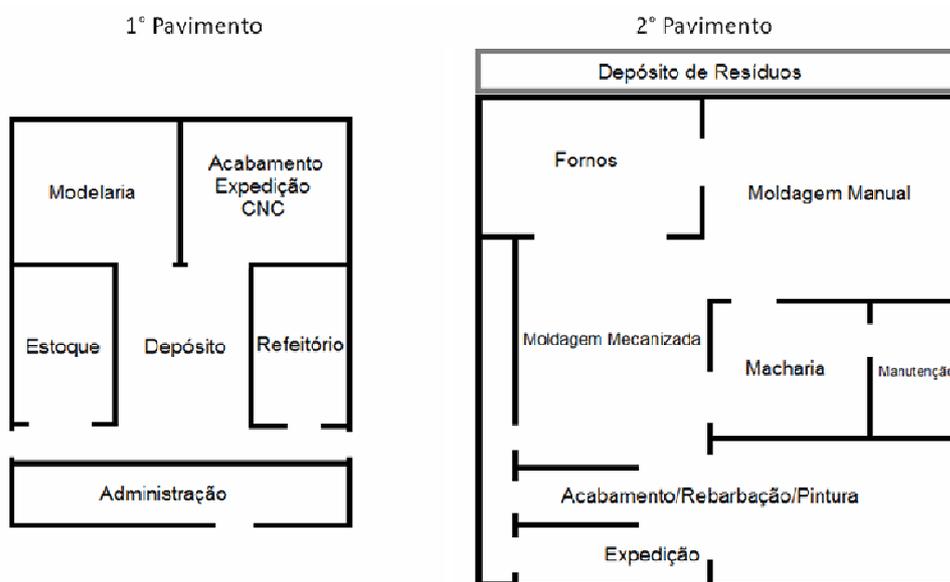


Figura 20 - Layout básico da empresa.

A observação e pesquisas de instruções operacionais permitiram realizar fluxogramas básicos dos processos. Foram identificados 3 processos distintos:

- Processo em Areia Verde – Moldagem Mecanizada, representado na Figura 21;

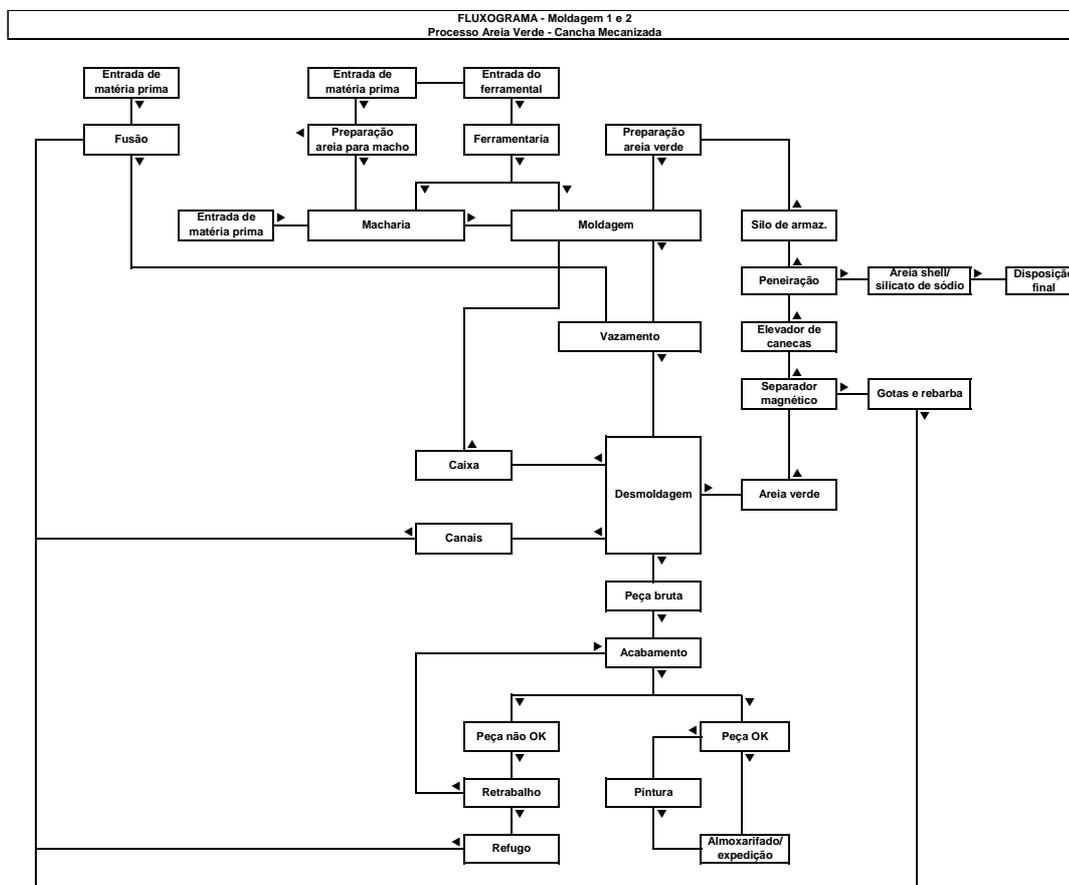


Figura 21 - Fluxograma da Moldagem Mecanizada em Areia Verde.

O processo de moldagem mecanizada em areia verde inicia com a entrada de matéria prima para a fusão e preparação de areia para macho. Paralelamente ocorre a entrada do ferramental, utilizado para dar a forma da peça a areia verde, que se soma aos machos para a consolidação do molde a ser preenchido pelo ferro fundido. Esse processo ocorre em uma linha mecanizada, onde o funcionário aciona um alimentador que preenche a caixa com areia verde. Após o molde estar pronto ocorre o vazamento e posterior desmoldagem após a solidificação da peça, retornando a caixa para ser preenchida novamente, os canais retornam para refusão e a areia verde para a recuperação do ferro fundido residual contido e posterior regeneração para seguir no processo em um ciclo fechado. A peça bruta segue para o acabamento e pintura.

- Processo em Areia verde – Moldagem Manual, representado na Figura 22;

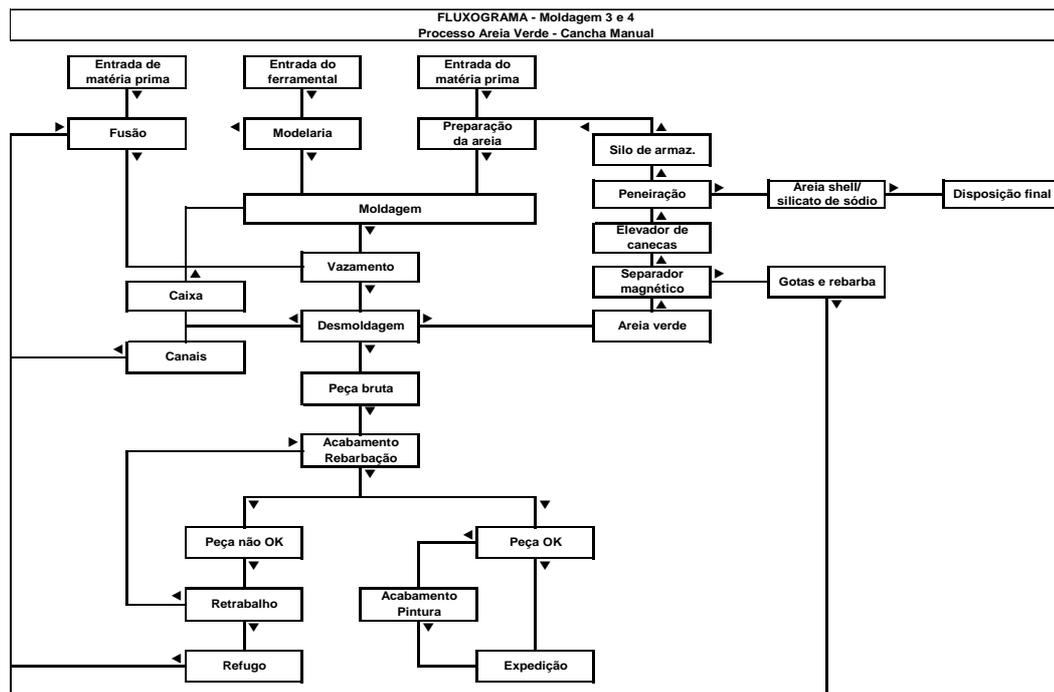


Figura 22 - Fluxograma da Moldagem Manual em Areia Verde

O processo de moldagem manual em areia verde ocorre de forma similar ao anterior, sendo apenas modificada no ponto de preparação da caixa de areia verde, que é preenchida e dada a forma da peça manualmente, sem o auxílio da linha mecanizada descrita anteriormente.

- Processo em Areia Fenólica – Moldagem Manual, representado na Figura 23.

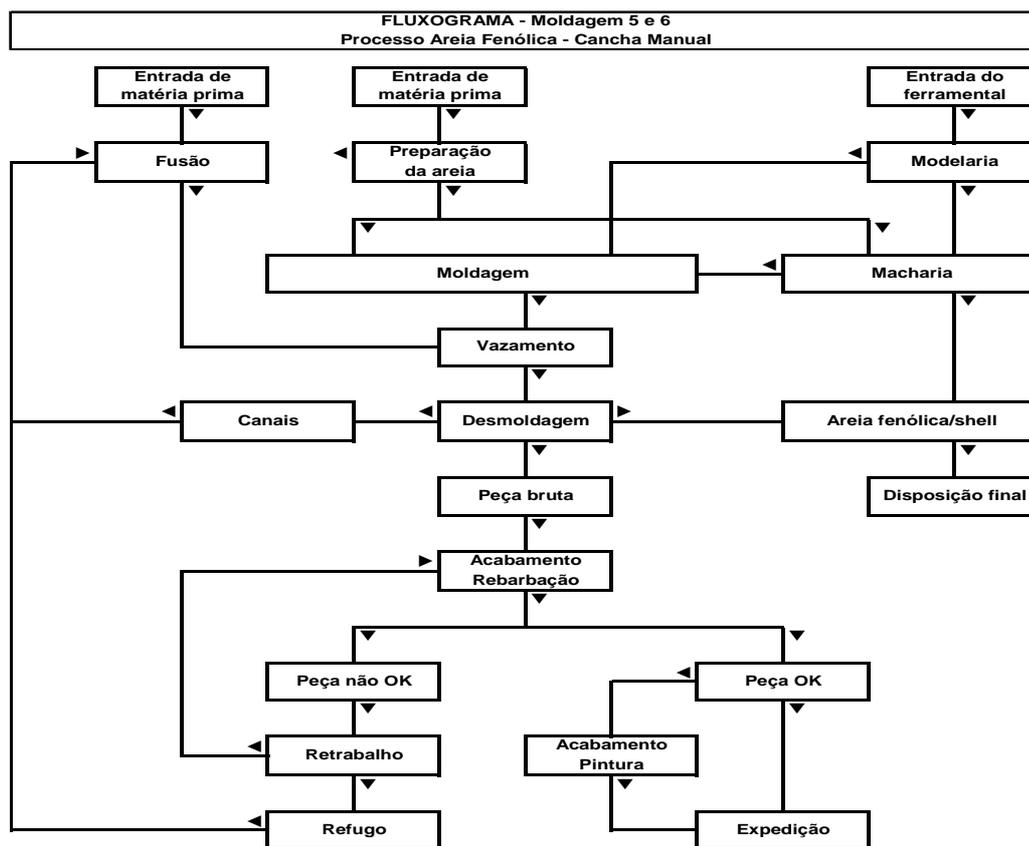


Figura 23 - Fluxograma da Moldagem Manual em Areia Fenólica.

O processo de moldagem manual em areia fenólica ocorre através da entrada de matéria prima para a fusão do ferro e para a preparação da forma da peça na modelaria. A diferenciação dos outros processos ocorre pelas matérias primas da preparação da areia fenólica, que envolve a mistura, em outro equipamento misturador, da resina fenólica ligante e catalisadores para acelerar o processo de endurecimento do molde. Posteriormente o processo se assemelha com os outros dois descritos anteriormente, porém o resíduo de areia fenólica e Shell (areia dos machos) são dispostos no pátio da empresa, e posteriormente enviados para aterro industrial. Com o funcionamento do regenerador de areia fenólica apresentado anteriormente, apenas o resíduo Shell, varrição e outros excedentes de areia e acabamento das peças são dispostos.

Após a identificação dos fluxos de produção da empresa, realizou-se um levantamento dos equipamentos utilizados no processo, que foram listados na Tabela 12.

Tabela 12 - Listagem de equipamentos da empresa.

Equipamento	Capacidade	Quantidade
Forno de Indução Elétrica	1t	2
Forno Rotativo	2t	1
Jato de granalha Grande	1t	2
Jato de granalha Pequeno	0,35t	1
Máquinas de moldar	200/dia	4
Panelas de vazamento	50kg	8
Misturador de areia (quimicamente tratada)	0,3t	2
Máquina de Rebolo	-	2
Sistema de preparação de areia (verde)	40t	1
Misturador automático de areia Fenólica	6t/h	1
Carregadeira/ Empilhadeira	-	1
CNC Usinagem	1000/500/500 mm	1
Regenerador Mecânico de areia (Fenólica)	-	1
Caminhão	6t	2
Caminhão Munk	15t	1

4.3 IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA

O objeto de estudo propriamente dito se dá através da implementação do método proposto na empresa estudada e conseqüentemente na identificação das oportunidades de melhorias no que tange a Produção mais Limpa, bem como a qualificação e quantificação dos benefícios atingidos com a implementação dessas oportunidades, sendo possível a realização de um balanço econômico e ambiental. Essas informações trazem uma série de benefícios que, isoladamente, realmente aconteceram, porém se faz necessário visualizar esses benefícios de uma forma global dentro da instituição, mostrando quais materiais e energias realmente tiveram seus consumos minimizados no âmbito da aquisição destes recursos.

A primeira etapa do Programa de Produção mais Limpa foi de conhecimento do processo produtivo da empresa onde se realizou o levantamento e a quantificação das entradas e saídas de todo o processo. Com a ajuda dos dados obtidos nesta etapa, elaborou-se o plano

de gerenciamento de resíduos e o inventário dos aspectos e impactos ambientais da empresa, já citados anteriormente. Também nesta fase do projeto, foi realizada uma série de treinamentos com colaboradores e gerência, primeiramente sobre conceitos ambientais gerais através de sensibilizações e exposições de casos reais, sendo posteriormente introduzidos conceitos específicos para a implantação de um Programa de Produção mais Limpa. Os treinamentos tiveram boa aceitação e receptividade por parte dos colaboradores e gestores, sendo treinados 53 colaboradores que representaram 78% do total de colaboradores que trabalharam na empresa neste período. Esse percentual é relativamente baixo para uma empresa deste porte, porém deve-se considerar a rotatividade característica do setor, onde colaboradores foram desligados das atividades da empresa neste período, o que impede que os colaboradores tenham continuidade dentro do escopo do Programa de Produção mais Limpa. Outra questão importante é a presença de colaboradores que foram contratados após a realização dos treinamentos, o que pode resultar em colaboradores trabalhando na empresa sem o conhecimento pleno da ferramenta, o que evidencia a necessidade da repetição destas capacitações em vários momentos ao longo da implementação.

A segunda etapa, na qual este trabalho se foca, consiste na continuidade da implantação do programa de Produção mais Limpa através da proposição de idéias e sugestões. Desta forma, tendo como base a linha do tempo proposta, a implementação do Programa de Produção mais Limpa na Indústria Metalúrgica Lorscheitter aconteceu efetivamente no mês de Junho de 2010.

Para analisar a evolução do Programa de P+L, foram elaborados gráficos das sugestões emitidas em 2010 e 2011. Devido ao início dos treinamentos de P+L terem ocorrido em maio de 2010, o gráfico de sugestões emitidas (Figura 24) abrange maio a dezembro de 2010. A Figura 25 apresenta o gráfico das sugestões emitidas em 2011.

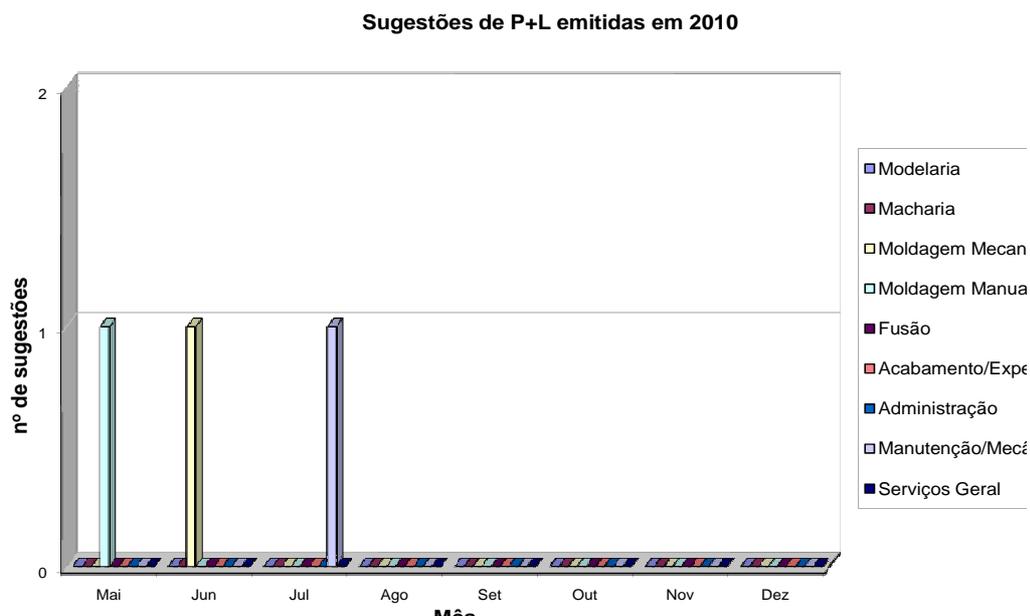


Figura 24 - Levantamento de sugestões emitidas em 2010.

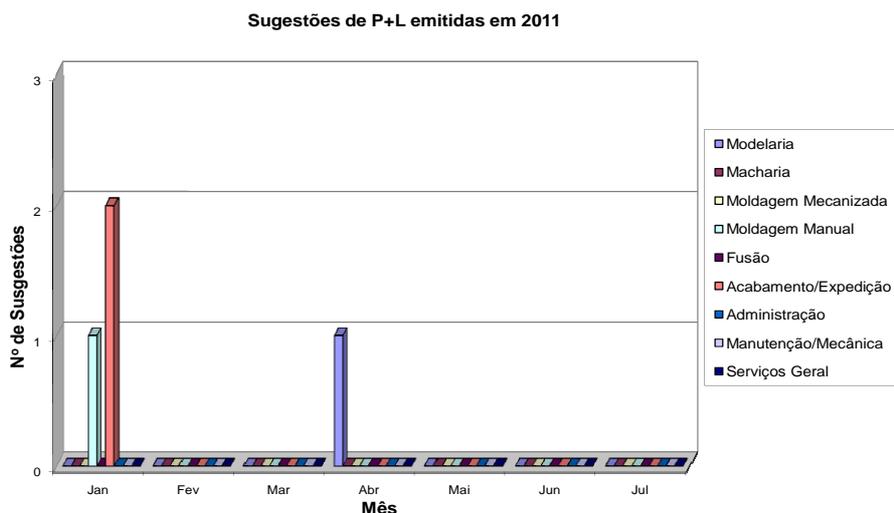


Figura 25 - Levantamento de sugestões emitidas em 2011.

No total entre 2010 e 2011 foram emitidas 7 sugestões. Desta maneira, em 1 ano de Programa um total de 60 colaboradores sugeriram 7 melhorias que foram implementadas. Traçando um paralelo com o caso da implementação do Programa em uma Siderúrgica, apresentado por Vargas (2008), onde um total de 300 colaboradores sugeriram 45 melhorias que foram implementadas, percebe-se que a oferta de sugestões por funcionário foi praticamente a mesma, resguardados os portes das empresas. Assim, o padrão de emissão de

sugestões baseado na metodologia do NucMat segue uma tendência entre os dois Programas, porém isso pode ser confirmado especificamente através da mensuração das quantidades de resíduos sólidos, emissões atmosféricas e efluentes líquidos reduzidos com o total de sugestões implementadas, observando a efetividade das mesmas em relação à prevenção da poluição. Também com esse propósito, as sugestões são mensuradas e classificadas no próximo capítulo.

4.3.1 Sugestões de P+L

A seguir são descritas as 8 intervenções realizadas pela parceria empresa/grupo de pesquisa NucMat. Inicialmente são descritos os benefícios de uma modificação tecnológica de grande impacto e posteriormente as 7 sugestões idealizadas e desenvolvidas pelos colaboradores e pesquisadores no contexto da Produção mais Limpa, sendo:

- Sugestão N° 1 (modificação tecnológica): Troca de tecnologia de Fusão – Substituição de Forno Rotativo a Óleo por Forno Elétrico a Indução;
- Sugestão N° 2: Troca dos misturadores do tipo Simpson para misturador automático;
- Sugestão N° 3: Mudar a geometria da estrutura centralizadora (colarinho) da moldagem mecanizada, para que, quando compactada, menor quantidade de areia caia no chão;
- Sugestão N° 4: Instalar barreiras e guias na saída do misturador de areia verde para que no lançamento da mesma na esteira não ocorram perdas;
- Sugestão N° 5: Enclausurar a máquina de usinagem CNC;
- Sugestão N° 6: Destinação mais adequada para cavacos de alumínio e ferro gerados no processo de usinagem com CNC;
- Sugestão N° 7: Melhor acondicionamento de areia base;
- Sugestão N° 8: Troca da geometria das caixas de molde da moldagem manual.

A seguir são descritas em detalhes, mensuradas e discutidas as sugestões de P+L e impactos detectados no contexto da aplicação da pesquisa (ganhos e indicadores ambientais e econômicos).

Sugestão N° 1: Troca de tecnologia de Fusão – Substituição de Forno Rotativo a Óleo por Forno Elétrico a Indução. Janeiro de 2009. Setor de Fusão.

Descrição: O empresário já mostrava interesse e através de discussões com o grupo de pesquisa NucMat evidenciou-se a necessidade da troca do forno de fusão do ferro fundido, Forno Rotativo a Óleo, Figura 26, que utiliza o calor proveniente da combustão da mistura de Óleo Petroquímico BTE (BPF + Biodiesel) com oxigênio puro, para aquecer a carga metálica até seu ponto de fusão – por dois Fornos Elétricos a Indução (Figura 27), que utilizam uma bobina na qual ocorre circulação de corrente elétrica, formando um campo eletromagnético ao redor do cadinho provocando o aquecimento e consequente fusão da carga metálica contida no interior do forno.



Figura 26 - Forno Rotativo a Óleo.



Figura 27 - Forno Elétrico à Indução.

Sugestão de melhoria de P+L: Dentro da metodologia de Produção mais Limpa, esta modificação teve um grande impacto econômico e ambiental considerando que o Forno Rotativo a Óleo consome grande quantidade de minério de ferro, possui fonte energética não renovável derivada de petróleo somada ao uso de um recurso natural renovável (Oxigênio

puro), produz maior quantidade de escória por tonelada de ferro fundido devido à atmosfera altamente oxidante e gera quantidades significativas de emissões atmosféricas. Já o Forno Elétrico a Indução possui energia elétrica derivada em sua maior parte de fontes renováveis, utiliza menor quantidade de minério metálico para produção da mesma tonelada de ferro fundido, permitindo utilização de sucatas de metal oriundas de outros processos industriais, havendo apenas um maior consumo de carburante para corrigir os teores de carbono do banho metálico, mais baixos nas sucatas em comparação com a matéria prima ferro gusa.

Como Aspectos Ambientais dessa sugestão pode-se destacar consumo de óleo petroquímico, consumo de energia elétrica, consumo de oxigênio líquido, consumo de minério de ferro, consumo de sucatas e consumo de carburante. Os Impactos Ambientais provenientes destas atividades são: utilização de recursos naturais não-renováveis e geração de emissões atmosféricas.

Benefícios Ambientais:

- Diminuição na geração de 192 kg de CO₂ por tonelada de ferro fundido;
- Diminuição na geração de 11,4 kg de SO₂ por tonelada de ferro fundido;
- Diminuição na geração de 171,6 kg de escória por tonelada de ferro fundido.

Benefícios Econômicos: O benefício econômico desta modificação tecnológica foi mensurado através do levantamento de custos para cada tecnologia na produção de uma tonelada de ferro fundido e a produção média no período de vigência de cada tecnologia, gerando o custo total mensal de produção, como mostra a Tabela 13.

Tabela 13 - Custos de produção de cada tecnologia.

	Custo por tonelada fundida (R\$)	Produção média no período (t)	Custo Total (R\$)
Forno Rotativo	1.219,89	85,06	103.763,84
Forno a Indução	646,18	83,17	53.742,79

A relação entre o investimento de aquisição dos dois Fornos a Indução, que foi de R\$ 500.000,00, e o benefício econômico mensal entre as duas tecnologias permitiu a geração da estimativa de retorno do investimento, mensurado em 10 meses. Ou seja, dez meses após a implementação da melhoria o investimento foi pago, gerando um benefício de R\$ 50.000,00 mensais ao longo do tempo restante.

Ferramentas de P+L e Indicadores: Dentro das metodologias propostas e utilizadas neste trabalho para avaliação e caracterização dos benefícios oriundos das melhorias, os níveis de Produção mais Limpa, os indicadores econômicos e os indicadores ambientais são definidos:

- Dentro da Minimização de Resíduos e Emissões, enquadra-se na Ferramenta de Nível 1 > Redução na Fonte > Modificação de Processo > Modificação Tecnológica.
- Indicador Econômico: 5 - Acima de R\$ 20.000,00 e com retorno em até 36 meses.
- Indicador Ambiental: 5 - Global e com baixa mudança cultural com P+L.

Sugestão N° 2: Troca dos misturadores do tipo Simpson para misturador automático. Maio de 2010. Setor de Moldagem Manual.

Descrição: No setor de moldagem o processo de mistura para obtenção de areia quimicamente ligada (fenólica) era feito em dois misturadores do tipo Simpson, onde há perdas de: areia fenólica, areia nova, resina fenólica e catalisador. Não há padrão nas medidas acarretando em mais desperdícios e podendo trazer defeitos nos moldes (Figura 28).



Figura 28 - Preparação da Areia Fenólica com misturador Simpson.

Sugestão de melhoria de P+L: Aquisição de sistema automático de mistura de areia, resina fenólica e catalisador Figura 29.



Figura 29 - Misturador automático.

Com a compra do novo misturador não há mais as perdas de areia pronta para moldagem, que ocorriam nas saídas dos antigos. Por se tratar de um misturador automático, as quantidades de matérias-primas são aferidas e padronizadas, evitando desperdícios e defeitos nos moldes. Será necessária menos mão-de-obra, para realizar a mistura.

O Aspecto Ambiental desta sugestão está relacionado às perdas que ocorrem no misturador Simpson. Estas perdas geravam em torno de 17,7 toneladas de resíduo (areia pronta para moldagem que cai no chão) por ano. Esses resíduos Classe I – Perigosos ocupam área em aterro e, se mal gerenciados, causam contaminação de água e solo. O desperdício de matérias-primas caracteriza o mal uso de recursos naturais não renováveis, e os impactos associados à produção desses materiais (na cadeia de produção anterior da empresa) são maximizados, visto que essa matéria prima em perfeitas condições de uso foi desperdiçada.

Os Impactos Ambientais positivos são: aumentar a vida útil de aterro industrial classe I – Perigoso e reduzir o uso de recursos naturais não renováveis.

Benefícios Ambientais: Depois da troca do misturador, obteve-se um impacto ambiental positivo, e relevante benefício econômico. De maneira que; reduzindo o consumo de matéria prima na indústria, reduz-se também a extração da mesma no meio ambiente. O novo misturador trouxe a possibilidade de menor consumo de matéria prima, obtendo ainda maior produtividade, gerando lucros para a empresa além de diminuir os fatores de risco ambiental devido ao volume reduzido de resíduo Classe I produzido, ocupando ainda menor área ao ser disposto em aterro.

Benefícios Econômicos: Os benefícios econômicos podem ser expressos através da Tabela 14, referente ao consumo dos insumos antes e depois da P+L e da Tabela 15 que representa as perdas do processo antes e depois da mudança tecnológica, sendo ANTES a

média mensal dos meses de Agosto, Setembro e Outubro de 2010 (período de análise para implantação da sugestão) e DEPOIS a média mensal atual.

Tabela 14 - Comparativo de consumo de insumos no processo de mistura.

INSUMO	ANTES P+L (misturador antigo)	DEPOIS P+L (misturador novo)
Areia Base	93.270 Kg/mês	97.911 Kg/mês (24476,1Kg Areia nov 73428,3Kg areia regenerada*)
Resina	5.520 Kg/mês	1.716,32 Kg/mês
Catalisador	685 Kg/mês	376,78 Kg/mês

*A areia usada é na proporção de 75% regenerada (proveniente de equipamento de regeneração adquirido pela empresa) e 25% nova (areia base).

Tabela 15 - Comparativo de perdas de insumos no processo de mistura.

INSUMO	ANTES P+L	DEPOIS P+L
Areia Fenólica	1.480 Kg/mês*	Não há perdas significativas com o novo misturador.
Resina	7,79 Kg/mês	Não há perdas significativas com o novo misturador.
Catalisador	0,428 Kg/mês	Não há perdas significantivas com o nov misturador.

* 2% do total de material processado no equipamento.

Segundo o supervisor do setor, o novo misturador funciona por batelada, gerando cerca de 5 toneladas de areia misturada por dia. Cada batelada leva cerca de 33 kg de areia, 1,6% a 1,9% de resina (em relação à areia) e 22% de catalisador (em relação à resina).

Através dessas informações e do custo unitário dos insumos listados, a mensuração do benefício econômico pôde ser realizada, como mostra a Tabela 16 que demonstra o ganho anual com um fator de correção de 60% devido ao índice de confiabilidade dos dados levantados na empresa.

Tabela 16 - Comparativo de custos do processo de mistura e benefício anual.

INSUMO	PREÇO	Custo baseado no cons de matéria prima mens antes da P+L	Custo baseado no consu de matéria prima mens depois da P+L
AREIA BASE	R\$0,0582	R\$ 5.428,31	R\$ 1.424,50
CATALISADOR RES. ALC. TRIACETINA	R\$ 4,1500	R\$ 2.842,75	R\$ 1.563,63
RESINA FENOLIC ALCALINA BAQ	R\$ 2,8600	R\$ 14.929,20	R\$ 4.908,67
TOTAL Mensal		R\$ 23.200,26	R\$ 7.896,80
Benefício Anual (Custo antes P+L - Custo depois P+L x 12)			R\$183.641,52
Fator de Correção 60%			R\$110.184,91

Levando em conta o custo de aquisição e instalação do equipamento que foi de R\$ 20.000,00, o mesmo se paga em 1,3 meses e após esse prazo, reverte-se em benefício direto para a empresa.

Ferramentas de P+L e Indicadores: Dentro das metodologias propostas e utilizadas neste trabalho para avaliação e caracterização dos benefícios oriundos das melhorias, os níveis de Produção mais Limpa, os indicadores econômicos e os indicadores ambientais são definidos:

- Ferramenta de P+L que envolve esta sugestão é de Nível 1 > Redução na Fonte > Modificação de Processo > Modificação Tecnológica.
- Indicador Econômico: 4 - De R\$ 5.000,00 à 20.000,00 e com retorno em até 12 meses.
- Indicador Ambiental: 5.5 - Global e com alta mudança cultural com P+L.

Sugestão N° 3: Mudar a geometria da estrutura centralizadora (colarinho) da moldagem mecanizada, para que, quando compactada, menor quantidade de areia caia no chão. Junho de 2010. Setor de Moldagem Mecanizada.

Descrição: Areia verde após preparada ou tratada adequadamente é transportada até os silos de armazenamento para preenchimento das caixas. Os silos estão posicionados sobre as máquinas de moldagem. A abertura do sistema de vazão do silo é feita de forma pneumática e sem um controle de velocidade ideal. Quando o funcionário aciona o equipamento, o sistema libera a areia que é centralizada e direcionada pelo colarinho para o preenchimento da caixa, porém parte dessa areia cai diretamente no chão, ao redor da máquina (Figura 30) e sobre os próprios colaboradores.



Figura 30 - Areia verde no chão ao redor da máquina de moldagem.

Sugestão de melhoria de P+L: Modificar a geometria do colarinho (Figura 31), uma peça metálica como se fosse um molde para areia que ficará sobrando para ser compactada. A mudança seria fazer um colarinho mais alto e com as paredes inclinadas para fora (Figura 32) para aumentar a área que recebe a areia do silo (como um funil) e diminuir a inclinação para a areia ficar sobre a caixa (como uma base de pirâmide quadrada), evitando que seja projetada para fora da caixa.



Figura 31 - Colarinho antigo.

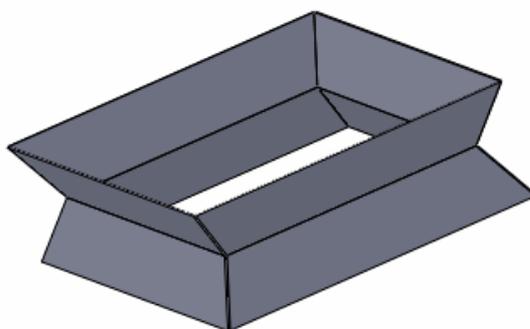


Figura 32 - Formato do novo colarinho.

Dessa forma menor quantidade de areia cai fora da caixa e também é reduzida a quantidade de areia que cai a ser compactada, pois, na forma antiga de paralelepípedo havia excesso de areia que acabava sendo jogada para fora da caixa. Um protótipo de madeira foi montado e testado em dois dias diferentes. Os resultados estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Quantificação de areia verde desperdiçada.

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

Foi reduzida em cerca de 50% a quantidade de areia que cai durante o processo de moldagem mecanizado em areia verde, que era entre 5,35 e 7 kg por caixa moldada. Além da redução da quantidade de matéria prima e insumos para a realização da mesma etapa produtiva, ainda considera-se a questão de que toda areia verde que anteriormente era derramada no chão era recolhida pelo operador do sistema e reinserida diretamente nas caixas. Isso acabava trazendo resíduos e impurezas que poderiam interferir na moldagem e qualidade da peça (produto final), além do fato do operador ter que interromper seu trabalho para realizar essa função, desperdiçando tempo produtivo e colocando em risco a integridade do equipamento, além de prejudicar a ergonomia do funcionário responsável.

O Aspecto Ambiental desta sugestão está relacionado ao consumo de energia elétrica, água e de matéria prima, ou seja, ao uso de recursos naturais não renováveis. O Impacto Ambiental positivo é a minimização do uso dos recursos naturais não renováveis.

Benefícios Ambientais: Como benefícios ambientais desta sugestão, evidenciam-se principalmente a menor utilização de insumos e matérias primas consumidas para a produção da mesma quantidade de produto, além de uma parcela desta areia ser misturada com resíduos de varrição, o que aumenta significativamente o volume de resíduo a ser disposto, tendo em vista o número de repetições deste processo (Tabela 18), aumentando a vida útil de aterros.

Tabela 18 - Caixas moldadas na moldagem mecanizada em areia verde.

Moldagem Mec. de Areia Verde	
Dia	Nº caixas moldadas
09/ago	343
10/ago	332
11/ago	359
12/ago	364
13/ago	278

Benefícios Econômicos: Os benefícios econômicos advindos desta sugestão são descritos na Tabelas 19 e 20 a seguir, considerando que o custo de produção de 1 kg de areia verde é de R\$ 0,05.

Tabela 19 - Perdas de areia verde por caixa moldada.

	Perdas por caixa	
	Antes P+L	Depois P+L
Perda de areia (kg)	6	3
Perda de areia (R\$)	0,33	0,16
Benefício Econômico (R\$)	0,16	

Tabela 20 - Desenvolvimento do benefício econômico gerado pela oportunidade de P+L.

	Caixas	Antes P+L (R\$)	Depois P+L (R\$)
Prod. Diária de caixas	335	109,06	54,53
Prod. Anual de caixas	80400	26173,58	13086,79
Benefício Econômico (R\$)	Diário	54,53	
	Anual	13086,79	

O benefício econômico anual desta sugestão foi de R\$ 13.086,79, não necessitando investimentos, tendo portanto um retorno imediato do investimento.

Ferramentas de P+L e Indicadores: Dentro das metodologias propostas e utilizadas neste trabalho para avaliação e caracterização dos benefícios oriundos das melhorias, os níveis de Produção mais Limpa, os indicadores econômicos e os indicadores ambientais são definidos:

- Ferramenta de P+L que envolve esta sugestão é de Nível 1 > Redução na Fonte > Modificação de Processo > Modificação Tecnológica e Boas Práticas de P+L.
- Indicador Econômico: 4 – De R\$ 5.000,00 à 20.000,00 e com retorno em até 12 meses.
- Indicador Ambiental: 1.5 – Somente no setor e com alta mudança cultural com P+L.

Sugestão N° 4: Instalar barreiras e guias na saída do misturador de areia verde para que no lançamento da mesma na esteira não ocorram perdas. Julho de 2010. Setor de Manutenção Mecânica.

Descrição: Foi observado que parte da areia preparada para a fabricação de moldes perdia-se no caminho do misturador para moldagem (esteira). A perda começava na saída do misturador, logo que a porta do misturador era aberta a areia verde era jogada para além dos limites da esteira e caía no chão, para baixo do misturador (Figura 33).

Parte da areia verde caía entre a esteira e a polia fazendo com que deslizesse lateralmente. O movimento lateral causava a queda de mais areia no percurso da esteira.



Figura 33 - Queda de areia verde da esteira.

Sugestão de melhoria de P+L: A solução proposta foi de colocar barreiras mecânicas que impedissem a queda da areia no momento da saída do misturador.

Essas barreiras foram feitas com restos de chapa e borracha de uma esteira que já não estava mais em uso. Elas foram posicionadas de forma que impedissem por completo a queda da areia em três direções (Figura 34). No seguimento da esteira foram colocadas barreiras para centralizar a areia e evitar quedas posteriores no percurso e roletes laterais para evitar o movimento nesse sentido.



Figura 34 - Barreiras para evitar queda de areia verde.

O Aspecto Ambiental desta sugestão está relacionado ao consumo de energia elétrica, água e de matéria prima, ou seja, ao uso de recursos naturais não renováveis e os Impactos Ambientais positivos são as minimizações do uso dos recursos naturais não renováveis.

Benefícios Ambientais: O funcionário recolheu e pesou a areia verde que caía por “virada” – operação do misturador e abertura da porta que deposita areia na esteira – na área referente à largura da esteira e comprimento da saída do misturador até a barreira centralizadora. Além disto, contou o número de “viradas”. Esses dados estão na Tabela 21 e também são projetados para a produção média anual.

Tabela 21 - Perdas de areia verde.

SAÍDA DO MISTURADOR		
Dia	Nº de "viradas"	Perdas de areia verde (kg)
03/ago	60	10
05/ago	75	13
06/ago	100	12
09/ago	76	11
10/ago	63	12
11/ago	60	12
Média	72,33	11,66
Ano	18.806	219.277,9

Uma parcela da areia verde que antes era perdida aumentava a quantidade do resíduo de varrição, e outra parcela aumentava os custos com a regeneração deste material, pois se tornava resíduo sem ao menos ter entrado no processo produtivo. Essa quantidade de areia (219 t/ano) deixou de cair e, conseqüentemente, de ser regenerada novamente sem necessidade.

Benefícios Econômicos: O benefício econômico envolvido nesta sugestão está expresso na Tabelas 22 e 23 a seguir.

Tabela 22 - Perdas diárias de areia verde e benefício econômico.

	Perdas por dia	
	Antes	Depois
Perda de areia (kg)	11	0
Perda de areia (R\$)	0,60	0,00
Benefício Econômico (R\$)	0,60	

Tabela 23 - Perdas anuais de areia verde e benefício econômico.

	Perdas por ano	
	Antes	Depois
Perda de areia (kg)	2640	0
Perda de areia (R\$)	143,24	0,00
Benefício Econômico (R\$)	143,24	

O benefício econômico anual desta sugestão foi de R\$ 143,24. Apesar de o benefício ter baixo valor, o retorno é imediato, não necessitando investimentos para a implementação. Além disso, este é o ganho econômico direto, não sendo contabilizados custos com a retirada do material do local e regeneração dessa areia.

Ferramentas de P+L e Indicadores: Dentro das metodologias propostas e utilizadas neste trabalho para avaliação e caracterização dos benefícios oriundos das melhorias, os níveis de Produção mais Limpa, os indicadores econômicos e os indicadores ambientais são definidos:

- Ferramenta de P+L que envolve esta sugestão é de Nível 1 > Redução na Fonte > Modificação de Processo > Modificação Tecnológica e Boas Práticas de P+L.
- Indicador Econômico: 1 - Até R\$ 500,00 e com retorno em 1 mês.
- Indicador Ambiental: 1.5 – Somente no setor e com alta mudança cultural com P+L.

**Sugestão N° 5: Enclausurar a máquina de usinagem CNC. Janeiro de 2011.
Setor de Acabamento/ Expedição.**

Descrição: A máquina de usinagem CNC (Figura 35), que se encontra em local onde não há proteção adequada, fica exposta a chuvas e material particulado do processo devido à proximidade de uma área aberta (houve a remoção de uma janela para facilitar o acesso de peças usinadas aos caminhões), oxidando as estruturas internas e deteriorando o equipamento (Figura 36).



Figura 35 - Máquina de Usinagem CNC.



Figura 36 - Danos causados ao equipamento.

Sugestão de melhoria de P+L: Enclausurar a CNC através da construção de uma parede no local da abertura (Figura 37), a qual o empresário manifestou o interesse de não utilizar mais como área de expedição, sendo as peças usinadas retiradas por outro portão. A abertura mede 2,65 m de altura por 4,75 m de largura e, se fechada, evitará a exposição do equipamento as intempéries.



Figura 37 - Abertura na parede ao lado na CNC.

Os Aspectos Ambientais envolvidos nesta sugestão são consumo de energia elétrica, troca de componentes e geração de resíduos sólidos e os Impactos Ambientais provenientes dos Aspectos são a utilização de recursos naturais renováveis e não-renováveis e contaminação de solo/água.

Benefícios Ambientais: Os benefícios ambientais envolvidos nessa sugestão se dão pela conservação do equipamento, evitando que se danifique e precise de manutenções corretivas desnecessárias que consumirão mais energia e outros materiais provenientes de recursos naturais não renováveis.

Benefícios Econômicos: Os benefícios econômicos advindos desta sugestão seguem um raciocínio simples. Anteriormente à sugestão, o equipamento ficava exposto, obrigando manutenções e reposição de peças semestrais que chegam ao custo de R\$ 3.000,00. O custo da construção da parede de alvenaria sem revestimento externo com as medidas especificadas anteriormente é de R\$ 1.045,25. Após 1,8 meses o investimento para a construção da parede se paga, acabando com custos desnecessários e com a deterioração do equipamento que custou para a empresa R\$ 290.000,00.

Ferramentas de P+L e Indicadores: Dentro das metodologias propostas e utilizadas neste trabalho para avaliação e caracterização dos benefícios oriundos das melhorias, os níveis de Produção mais Limpa, os indicadores econômicos e os indicadores ambientais são definidos:

- Ferramenta de P+L que envolve esta sugestão é de Nível 1 > Redução na Fonte > Modificação de Processo > Boas Práticas de P+L.
- Indicador Econômico: 3 - De R\$ 1.000,00 à 5.000,00 e com retorno em até 6 meses.
- Indicador Ambiental: 1.5 – Somente no setor e com alta mudança cultural com P+L.

Sugestão N° 6: Destinação mais adequada para cavacos de alumínio e ferro gerados no processo de usinagem com CNC. Janeiro de 2011. Setor de Acabamento/Expedição.

Descrição: A empresa usina suas peças produzidas e também fornece serviço de usinagem para outras empresas, por possuir um equipamento que realiza este trabalho. Dessa forma, existe geração de cavaco de alumínio e ferro (Figura 38), que são armazenados na empresa sem destinação ou outra finalidade.



Figura 38 - Cavacos de alumínio e ferro.

Sugestão de melhoria de P+L: Constatou-se na empresa uma possível destinação adequada aos cavacos de ferro que podem ser utilizados como carga nos fornos, porém, como não trabalha com a fusão de alumínio, observou-se a necessidade de também destinar este outro material. Desta forma, com os cavacos de alumínio gerados na usinagem de peças que não são produzidas na empresa, realizou-se um intercâmbio com uma empresa que funde esse metal, onde a Lorscheitter fornece cavacos em troca de modelos (em alumínio fundido) de peças a serem produzidas.

Os Aspectos Ambientais envolvidos nessa sugestão são a geração de resíduos sólidos, consumo de energia elétrica possível derramamento de óleo e os Impactos Ambientais são o consumo de recursos naturais não-renováveis e a contaminação de solo/água.

Benefícios Ambientais: O processo de usinagem gera um tipo de resíduo amplamente reutilizado hoje em dia, o que possibilitou a realização de uma troca de materiais através de uma relação simbiótica com outra empresa (cavacos de alumínio por modelos de peças em alumínio) inclusive utilizando o mesmo transporte, reduzindo custos e impactos provenientes desta atividade, porém a empresa não documenta essa troca, dificultando mensurações convenientes. Como benefício ambiental ressalta-se a refusão de 7 toneladas anuais de ferro provenientes do Acabamento, evitando até mesmo o consumo de sucatas adquiridas externamente.

Benefícios Econômicos: A Tabela 24 mostra a utilização de sucatas e a quantidade de cavacos gerados ao longo de 3 meses.

Tabela 24 - Consumo e custos de Sucata Forjada e Prensada e Cavaco de ferro.**Média de quantidade e custo total da Sucata Forjada/Prensada**

Tempo (3 meses)	Quantidade (kg)	Custo total (R\$)
01/08/10 à 31/10/10	10.458,33	5.767,75

Média de quantidade e custo total do Cavaco:

Tempo (3 meses)	Quantidade (kg)	Custo total (R\$)
60 dias	1.753,56	0,00

Como benefício econômico direto anual evidencia-se a substituição do consumo de R\$ 4.208,54 em sucatas adquiridas externamente por cavacos inicialmente tratados como rejeito na produção, sendo uma sugestão isenta de investimento.

Ferramentas de P+L e Indicadores: Dentro das metodologias propostas e utilizadas neste trabalho para avaliação e caracterização dos benefícios oriundos das melhorias, os níveis de Produção mais Limpa, os indicadores econômicos e os indicadores ambientais são definidos:

- Ferramenta de P+L que envolve esta sugestão é de Nível 2 > Reciclagem Interna e Nível 3 > Reciclagem Externa > Material.
- Indicador Econômico: 3 – De R\$ 1.000,00 à 5.000,00 e com retorno em até 6 meses.
- Indicador Ambiental: 5.5 – Global e com alta mudança cultural com P+L.

Sugestão N° 7: Melhor acondicionamento de areia base. Janeiro de 2011.
Setor Moldagem Manual.

Descrição: A areia base é o principal insumo consumido na fundição e estava sendo acondicionado no chão do setor de moldagem manual (Figura 39), em contato direto com resíduos de varrição e sem isolamento adequado, o que causava significativas perdas deste recurso.



Figura 39 - Acondicionamento de areia base.

Sugestão de melhoria de P+L: Melhorar o acondicionamento da areia base através da utilização da estrutura de armazenamento (moega – Figura 40) presente na empresa, de onde o insumo é succionado para o misturador.



Figura 40 - Moega para acondicionamento de areia base.

Com a utilização desta estrutura evita-se a disposição inadequada deste material na área de produção, o que impacta tanto no consumo do insumo para produzir, como no ambiente de trabalho do funcionário.

Como Aspectos Ambientais evidencia-se o consumo de areia base, consumo de energia elétrica e geração de resíduos. Os Impactos Ambientais decorrentes são a utilização de recursos naturais não-renováveis (energia elétrica e areia base, proveniente de lavras) e contaminação de solo e água.

Benefícios Ambientais: Como benefício ambiental desta sugestão evidencia-se o fim da perda de areia base, que era descartada como resíduo de varrição sem ao menos ter

entrado no processo produtivo, chegando a representar, de acordo com os colaboradores, cerca de 5%.

Benefícios Econômicos: O benefício econômico envolvido nessa sugestão envolve uma questão importante. Seguindo uma média de consumo de areia base da empresa – considerando o período de estudo – de 180 toneladas, a média das perdas chega a 9 toneladas por mês, porém o preço de mercado da areia base é R\$ 0,05 por quilograma, levando o custo das perdas a um valor anual de R\$ 5.400,00. Este custo frente aos demais da empresa não tem grande representatividade e isso se refletiu no cuidado que o material recebia no seu acondicionamento, porém a quantidade de resíduos gerada foi definitivamente significativa.

Ferramentas de P+L e Indicadores: Dentro das metodologias propostas e utilizadas neste trabalho para avaliação e caracterização dos benefícios oriundos das melhorias, os níveis de Produção mais Limpa, os indicadores econômicos e os indicadores ambientais são definidos:

- Ferramenta de P+L que envolve esta sugestão é de Nível 1 > Redução na Fonte > Modificação de Processo > Boas Práticas de P+L.
- Indicador Econômico: 4 - De R\$ 5.000,00 à 20.000,00 e com retorno em até 12 meses.
- Indicador Ambiental: 1.5 – Somente no setor e com alta mudança cultural com P+L.

Sugestão N° 8: Troca da geometria das caixas de molde da moldagem manual. Abril de 2011. Setor de Modelaria.

Descrição: A empresa estava consumindo areia fenólica pronta em excesso, então se percebeu que modificando o formato da caixa de moldagem (Figura 41), poderia diminuir o consumo de areia fenólica sem alterar no resultado final do produto.



Figura 41 - Moldes quadrados.

Sugestão de melhoria de P+L: Adaptar as caixas de moldagem para o formato redondo (Figura 42), o que eliminaria a quantidade de areia que preenche os ângulos das caixas quadradas, gerando um menor consumo de areia fenólica para a fusão da mesma peça.



Figura 42 - Moldes redondos.

Os Aspectos Ambientais envolvidos nessa sugestão são o consumo de areia base, o consumo de resina fenólica, o consumo de catalisador e a geração de resíduos e o Impacto Ambiental é o consumo de recursos naturais não renováveis e a contaminação do solo e água.

Benefícios Ambientais: A sugestão proporciona melhor aproveitamento de espaços na caixa de moldagem. Retirando os cantos da caixa retangular, arredondando a mesma, torna-se possível a utilização de menor quantidade de matéria prima, evitando assim a extração de recursos não renováveis, e a disposição em aterros, além de aumentar a eficiência no processo, produzindo as mesmas peças com menor quantidade de areia. O benefício chega a atingir 3,8 t de areia fenólica preparada por ano que deixa de ser consumida.

Benefícios Econômicos: Através da cotação dos insumos e da proporção de mistura da areia fenólica foi possível encontrar o custo do quilograma da areia fenólica misturada, como mostra a Tabela 25.

Tabela 25 - Cálculo do custo unitário da Areia Fenólica preparada.

INSUMO	PREÇO (kg)	PROPORÇÃO
AREIA BASE	R\$ 0,0582	1
CATALISADOR RES. FEN. ALC. TRIACETINA	R\$ 4,1500	(1,6%~1,9% da areia) 0,017
RESINA FENOLICA ALCALINA BAQ	R\$ 2,8600	(22% do catalisador) 0,0038
CUSTO AREIA FENÓLICA (1 kg)		R\$ 0,1397

Com a mudança no formato das caixas, economizou-se 38 kg de matéria prima (areia fenólica pronta) por caixa moldada. O que gera para a empresa em benefício econômico a cerca de R\$5,30 por peça produzida na caixa redonda em relação a retangular, como mostra a Tabela 26.

Tabela 26 - Benefício econômico por caixa moldada.

QUANTIDADE DE AREIA DESPERDIÇADA (KG)	38
CUSTO POR KG DE AREIA FENÓLICA (R\$)	R\$ 0,1397
BENEFÍCIO ECONÔMICO POR CAIXA	R\$ 5,3086

Os dados de produção da quantidade de peças por caixas moldadas em um espaço de tempo não foram informados devido o fato de a empresa produzir uma grande variedade, não havendo o controle da quantidade de peças produzidas por caixa moldada. O material necessário para esta boa prática estava disponível na empresa, fazendo com que a sugestão não tivesse custo de implementação. Desta forma, para se estimar um benefício anual foi considerada a moldagem de 100 caixas por ano, gerando um benefício anual corrigido (80%) de R\$ 424,68.

Ferramentas de P+L e Indicadores: Dentro das metodologias propostas e utilizadas neste trabalho para avaliação e caracterização dos benefícios oriundos das melhorias, os níveis de Produção mais Limpa, os indicadores econômicos e os indicadores ambientais são definidos:

- Ferramenta de P+L que envolve esta sugestão é de Nível 1 > Redução na Fonte > Modificação de Processo > Boas Práticas de P+L.

- Indicador Econômico: 1.6 - Até R\$ 500,00 c/ retorno em 6 meses.
- Indicador Ambiental: 5.5 – Global e com alta mudança cultural com P+L.

Tendo apresentado a modificação tecnológica e as sete sugestões de P+L, torna-se necessário a compilação das principais informações obtidas através da mensuração econômica e ambiental das mesmas, demonstrando os ganhos totais obtidos com a implementação das melhorias, como mostra a Tabela 27.

Tabela 27 - Resumo dos ganhos obtidos com as melhorias de P+L.

Sugestões	Benefício Econômico Anual	Benefício Ambiental Anual	Material/Equipamento envolvido
1	R\$ 600.000,00	35.250 kg	Emissões Atmosféricas (CO ₂ e SO ₂) e Escória
2	R\$ 110.184,91	17.730 kg	Areia Fenólica preparada
3	R\$ 13.086,79	258.235 kg	Areia Verde preparada
4	R\$ 143,24	219.277,9 kg	Areia Verde preparada
5	R\$ 1.954,75	Troca de peças/manutenção	CNC
6	R\$ 4.208,54	7.000 kg	Ferro Gusa/Sucata
7	R\$ 5.400,00	108.000 kg	Areia Base
8	R\$ 424,68	3.800 kg	Areia Fenólica preparada
TOTAL	R\$ 735.402,91	649.292,9 kg	

Dentro de uma série de materiais e equipamentos que foram envolvidos nas modificações, é possível notar o expressivo ganho econômico e ambiental quando os mesmos são extrapolados para uma escala anual, atingindo a economia de R\$ 735.402,91 e evitando a geração de aproximadamente 650 toneladas de resíduos diversos.

4.3.2 Barreiras e Facilidades Encontradas

Algumas barreiras e benefícios são comentados neste capítulo, que se baseia em relatos dos pesquisadores sobre suas impressões ao desenvolver atividades na Lorscheitter.

A empresa realizou, ao longo desse período de estudo, alguns intercâmbios de resíduos com outras empresas e não registrou as informações, tornando impossível a mensuração exata destes ganhos, bem como a inexistência de planilhas e manifestos de controle e transporte de resíduos, dificultando o desenvolvimento do projeto.

Além da dificuldade de conversar com funcionários da administração, gerando algumas dificuldades na obtenção de dados, quando os colaboradores da produção foram questionados sobre a utilização de equipamentos, processos, ou andamento de alguma

mudança na empresa houve divergências, o que pode evidenciar possivelmente a falta de treinamento operacional dos colaboradores e comunicação entre eles e com a empresa.

Grande parte dos funcionários não colaborou com as boas práticas operacionais como era esperado, mesmo depois de diversos treinamentos de P+L, o que pode ser explicado, por exemplo, pela ausência de benefícios (premiações) por parte da administração às sugestões aprovadas e implementadas, prática bem comum em outras empresas com Programas de P+L implementados com sucesso, como o caso descrito por Vargas (2008). Outra explicação pode se dar pela rotatividade característica do setor, o que pode ter levado colaboradores treinados ao desligamento da empresa, bem como a inserção de novos colaboradores não treinados no sistema produtivo.

Por outro lado, o grupo de pesquisa teve livre acesso à empresa, proporcionando aprendizagem dentro da indústria, como “chão de fábrica”, onde os pesquisadores envolvidos adquiriram grande conhecimento sobre o setor metal mecânico em si, entendendo melhor a sua realidade. Através dos ganhos ambientais já mensurados e expressivos no que diz respeito às questões ambientais, a parceria grupo de pesquisa/empresa conquistou prêmios diversos, tornando-se uma boa referência para outras empresas do mesmo ramo e da mesma região. Destaca-se também a troca de experiência entre pesquisadores e colaboradores através da convivência com diferentes áreas do conhecimento, bem como relações interpessoais de extrema validade para o crescimento pessoal e profissional.

Foi observada a mudança cultural de alguns colaboradores, que se interessaram em promover ganhos ambientais não só dentro da empresa, mas em suas próprias atividades, levando a metodologia de Produção mais Limpa adiante.

É importante salientar que, baseado no período em que o grupo de pesquisa vem desenvolvendo projetos de pesquisa com esta empresa, nem todas as mudanças realizadas na empresa foram consideradas, pelo fato das mesmas não terem sido sugeridas por colaboradores ou pesquisadores, sendo decididas pela alta administração, assim como a importância da padronização, controle e monitoramento das sugestões idealizadas para que permitam que os ganhos sejam duradouros e a empresa não retorne às práticas e modelos de produção anteriores ao Programa de Produção mais Limpa.

4.4 BALANÇO DE MASSA – CONSUMO E EFICIÊNCIA DE RECURSOS ENVOLVIDOS NO PROGRAMA DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Dentre todos os materiais listados nos diversos setores, os principais consumidos ao longo dos 36 meses de pesquisa e vinculados com as melhorias propostas no Programa de Produção mais Limpa foram selecionados para a realização das análises do ponto de vista do consumo e eficiência de materiais e energia. São eles:

- Resina Fenólica Alcalina;
- Catalisador (Triacetina);
- Areia Base;
- Sucatas;
- Ferro Gusa;
- Ferro Liga Si/Mg;
- Oxigênio Líquido;
- Óleo Petroquímico BTE;
- Carburantes;
- Energia Elétrica.

Nesta etapa, as melhorias do programa de Produção mais Limpa são avaliadas através da variação do consumo de recursos na produção, onde gráficos dessas variações ao longo do período da pesquisa são apresentados e relacionados com as intervenções na empresa, discutindo variações, acréscimos e decréscimos na utilização destes insumos e matérias-primas.

Inicialmente, apresenta-se a produção da fundição ao longo do período de estudo (Figura 43), que demonstra o perfil da empresa em termos de produção, que variou de 60 a 120 t/mês. Observa-se a baixa produção no período de Dezembro de 2008 a Novembro de 2009, o que pode ser explicado por uma queda de produção do setor em si e outros, devido à crise econômica que abalou o mercado. O setor vinha seguindo um crescimento desde o ano de 2004, atingindo em 2008 um volume de 3,4 milhões de toneladas fundidas, sofrendo essa queda no ano seguinte, que fechou com um volume de 2,3 milhões de toneladas, da qual a

Lorscheitter não se isentou. Porém, em 2010 o setor retomou a produção anterior à crise e segue em crescimento nos dias de hoje.

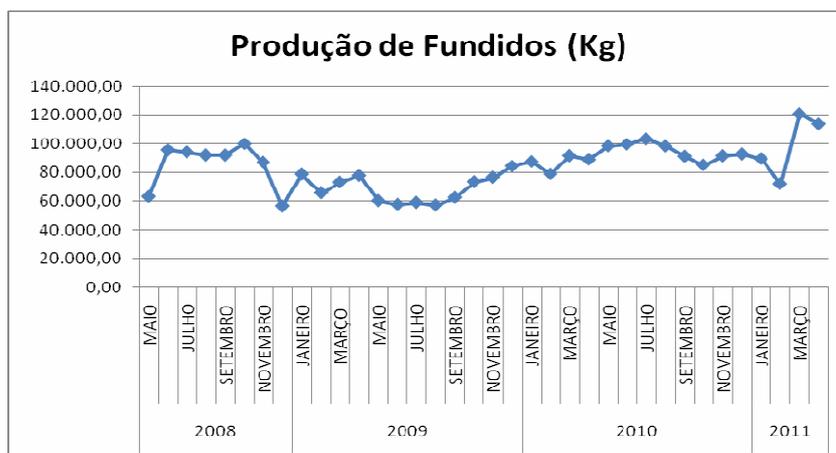


Figura 43 - Produção de ferro fundido na Lorscheitter ao longo dos 36 meses.

Dentre os materiais listados que são alvos da análise, a Areia Base é o que está presente e tem o consumo influenciado pela maioria das sugestões de P+L. A Figura 44 apresenta o consumo deste insumo ao longo dos meses. Algumas reduções na utilização deste insumo podem ser relacionadas com as sugestões de P+L que foram implementadas, o que permite identificar qual foi o comportamento do consumo com as melhorias em funcionamento. No gráfico é possível perceber a redução deste insumo a partir de Maio de 2010, o que coincide cronologicamente com a aplicação das sugestões N^{os} 3 e 4 que foram desenvolvidas em setores que tem a Areia Base como principal insumo.

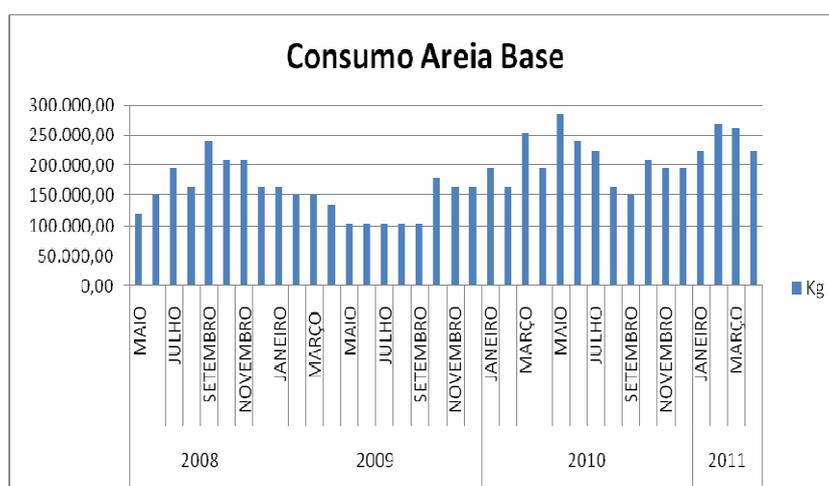


Figura 44 - Consumo de Areia Base no período de estudo.

Este material tem fundamental importância na empresa, pois seu consumo está presente em três setores da fundição e sua geração como resíduo é a mais significativa do processo produtivo. Também é possível relacionar este gráfico com a Sugestão de P+L N° 2, que representou o ganho mais significativo que se refere a este insumo. Em Maio de 2010 a empresa realizou a troca do equipamento de mistura da areia com a resina e o catalisador, o que otimizou o processo deixando de gerar uma quantidade significativa de resíduos. A Figura 45 representa esse ganho na relação do consumo de areia base com a produção de ferro fundido.

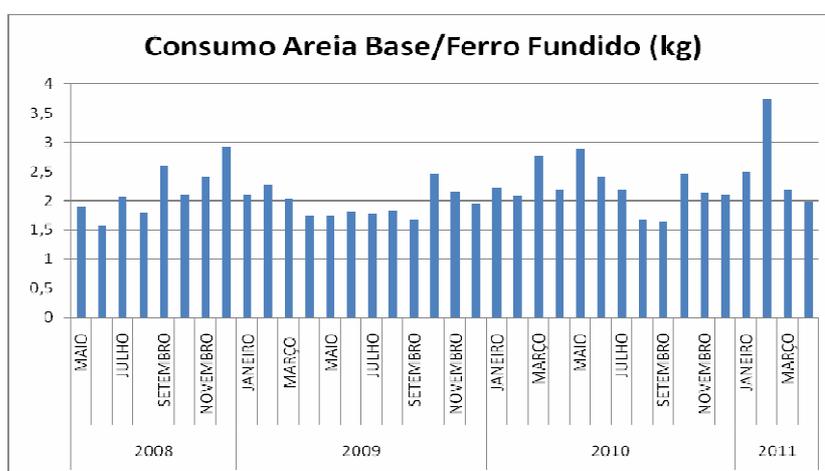


Figura 45 - Relação do consumo de areia base por quilograma de ferro fundido.

Observa-se a diminuição da relação areia base / ferro fundido no período da aplicação da sugestão de P+L, porém a relação sofre um aumento nos meses seguintes. Uma questão importante que cabe ressaltar é a relação estabelecida e apresentada na revisão bibliográfica para a produção de ferro com areias (proporção de 3 areia para 1 ferro), onde a empresa, com exceção do mês de Fevereiro de 2011, se manteve abaixo deste padrão. Os aumentos evidenciados nos meses seguintes às sugestões de P+L e principalmente em Fevereiro de 2011 podem ser explicados pela queda da produção de peças fundidas na linha de produção com areia verde, a qual é totalmente recirculada, sendo direcionada para a linha de produção com areia fenólica que ainda não tinha padronizado a utilização do regenerador mecânico para fechar o ciclo, como no caso da areia verde.

Outro ganho se dá quando a comparação do consumo mensal de resina fenólica (Figura 46) e catalisador (Figura 47) é feita com a média mensal de produção.

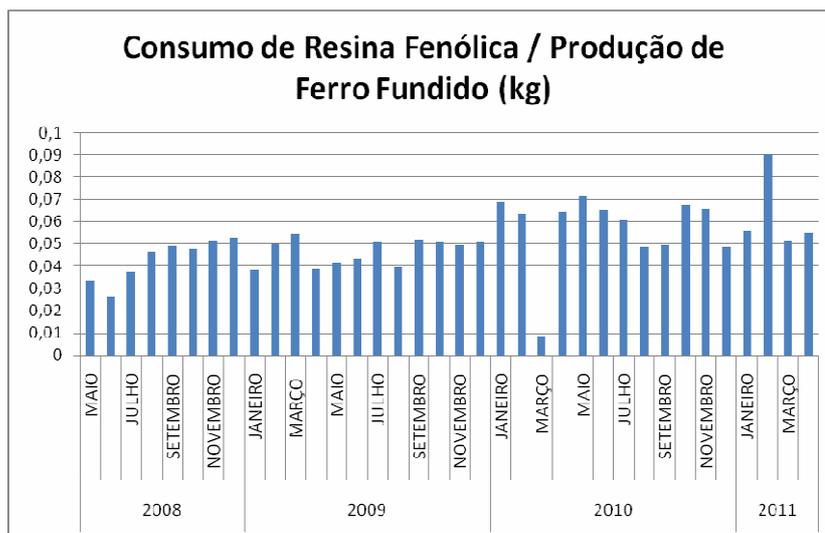


Figura 46 - Relação do consumo de Resina Fenólica por ferro fundido produzido.

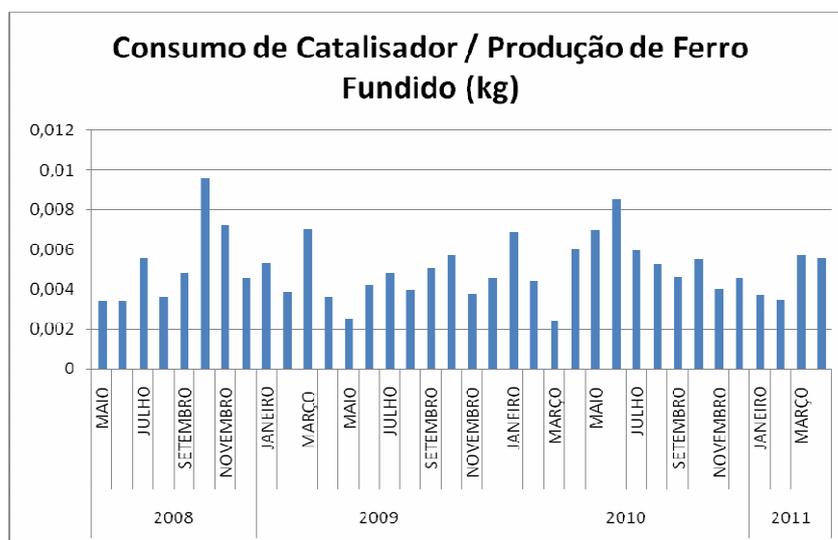


Figura 47 - Relação do consumo de Catalisador por ferro fundido produzido.

Ao analisar os gráficos é possível perceber uma redução do consumo dos insumos na empresa, ao passo que nos 3 meses seguintes a produção aumentou ou se manteve no mesmo valor, o que representa um aumento de produtividade na empresa, que foi resultado da troca de tecnologia idealizada pelos próprios colaboradores no Programa de Produção mais Limpa. Esse benefício se soma às perdas que existiam na tecnologia de mistura anterior, que gerava quantidade significativa de resíduos os quais sequer entravam no processo. O consumo destes materiais possui um comportamento inesperado nos meses de Fevereiro e Março de 2011, o que pode ser explicado pela variabilidade dos dados, já que ocorreu um aumento significativo na produção de peças com areia fenólica. Ao longo das análises fica perceptível

a variação das linhas de produção adotadas para gerar o produto final, o que não foi possível contabilizar por não haver na empresa informações disponíveis.

No que se refere à Sugestão N° 1 de P+L – Troca de tecnologia de fusão – os ganhos também foram mensurados. A Figura 48 apresenta a relação do consumo de Ferro Gusa, principal matéria prima do Forno Rotativo, tecnologia de fusão que foi substituída, com a produção de ferro fundido.

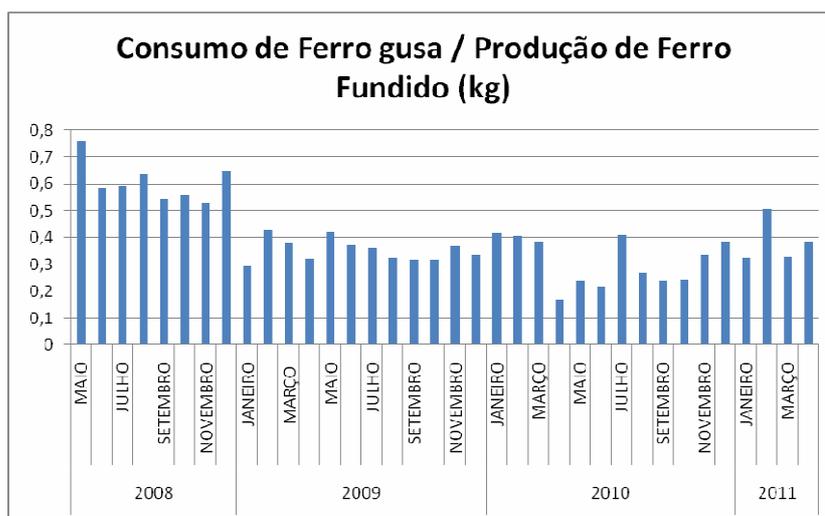


Figura 48 - Relação do consumo de Ferro Gusa por ferro fundido produzido.

A partir de Novembro de 2008 percebe-se uma redução significativa no consumo do minério, o que pode ser explicado pela queda brusca de produção no período, porém em Janeiro de 2009 houve a implementação da Sugestão N° 1, sendo instalado dois Fornos a Indução. Esta nova tecnologia permite que se utilize maior quantidade de sucata de ferro, cobre e aço para a fusão, substituindo o Ferro Gusa, o que explica a diminuição do consumo desta matéria prima, mesmo com o aumento da produção. Com a utilização desta nova tecnologia, a rotina de fusão do ferro passou a utilizar energia elétrica, porém o Forno Rotativo a óleo petroquímico não foi completamente desativado, sendo utilizado na complementação de metal para a produção de peças com mais de duas toneladas. A troca de tecnologia foi um marco para o início da utilização de sucatas na produção, o que traz uma série de benefícios não só para a empresa em termos econômicos, mas para o meio ambiente, já que o Ferro Gusa trazido do estado de Minas Gerais deixa de ser a principal matéria prima, dando lugar para as sucatas metálicas provenientes de empresas da região e revendidas por

outras empresas locais, o que evita transportes desnecessários e colabora para a economia da região.

O consumo dos diversos tipos de sucatas no processo pode ser representado pela Figura 49.

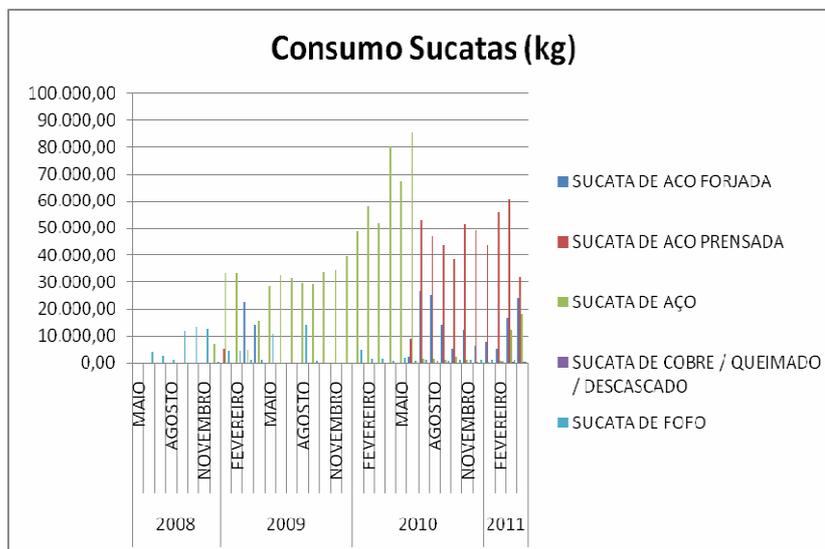


Figura 49 - Consumo de Sucatas no período de estudo.

Com o objetivo de relacionar o consumo das sucatas com a produção ao longo do período de estudo, os tipos de sucatas foram somados, gerando a Figura 50 que representa essa relação.

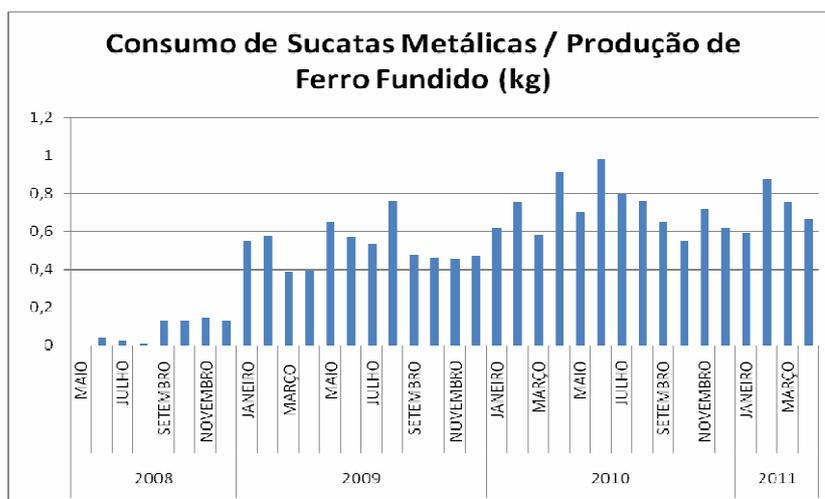


Figura 50 - Relação do consumo de Sucatas Metálicas por ferro fundido produzido.

O consumo crescente de sucatas além de fortalecer o mercado local, ainda apresenta um ganho de difícil mensuração, representado pela redução de emissões atmosféricas envolvidas no transporte de minério de outros estados e na produção deste minério. Além da emissão de gases, ainda reduz a pressão sobre os ecossistemas naturais, tendo em vista a série de impactos ambientais gerados e recursos naturais consumidos, para consumir materiais disponíveis no mercado. Porém, a utilização de sucatas como matéria prima no Forno a Indução exige correções do teor de carbono do banho metálico, o que acaba aumentando o consumo de carburante na produção (Figura 51).

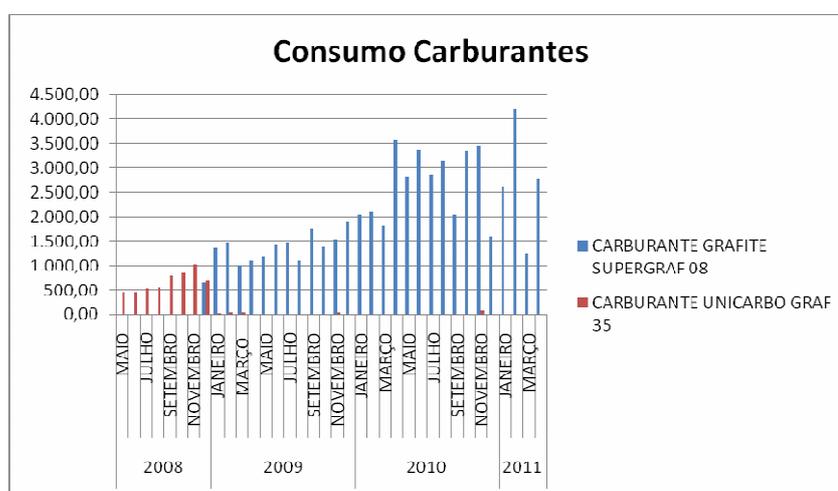


Figura 51 - Consumo de Carburante ao longo do período de pesquisa.

Percebe-se a utilização de um tipo de carburante, indicado para o Forno Rotativo (Carburante Unicarbo Graf 35), que cessa no mês de Dezembro de 2008 dando lugar ao tipo adequado ao Forno a Indução (Carburante Grafite Supergraf 08), elevando seu consumo ao longo do tempo, chegando a consumir mais de 4 toneladas mensais. É importante salientar que, em função da redução do uso de ferro gusa (material com alto teor de carbono, em torno de 4%), há necessidade de adição de carburante no forno a indução para acerto da composição química do ferro fundido. Por outro lado, o carburante que era utilizado no Forno Rotativo era proveniente do estado de São Paulo, enquanto o atual é adquirido próximo a empresa pois tanto Rio Grande do Sul como Santa Catarina são fornecedores deste material devido a produção de carvão na região, reduzindo emissões atmosféricas e outros impactos associados com o transporte deste material até a empresa.

Outro material prima consumido na nova tecnologia de fusão e que também apresentou aumento do consumo foram os ferros ligas, em especial o Ferro Liga Si/Mg,

conforme a Figura 52. Assim como no caso do carburante, estas ligas passam a ser necessária para acerto de composição química final do metal líquido, e pelo aumento da produção de ferro fundido nodular. Este tipo de produto tem maior valor agregado, e é mais fácil de ser obtido pelo processo de fusão via Forno a Indução que atinge maiores temperaturas que o forno rotativo, fator fundamental para produção de ferro nodular.

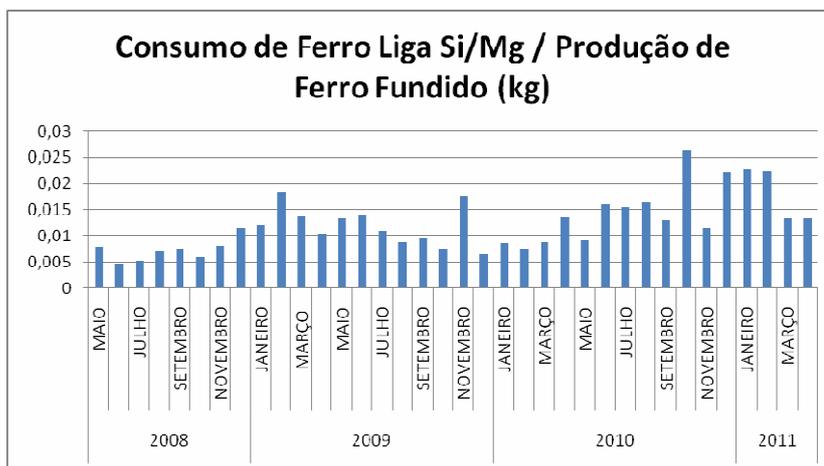


Figura 52 - Relação do consumo de Ferro Liga Si/Mg por ferro fundido produzido.

De qualquer forma, tem se discutido com o empresário para auxiliar a redução desta matéria prima também, ou seja, uma seleção de fornecedores de sucata pode ser feita através do estudo da composição dos metais, podendo observar concentrações de ligas que interessem à produção solicitada pelos clientes da Lorscheitter. Ou seja, sucatas ricas em ligas utilizadas na empresa podem substituir o consumo das ligas na forma de matéria prima, o que agrega maior valor à produção baseada em sucatas, tendo em vista o alto custo de mercado das ligas. O quilograma de Ferro Liga Si/Mg chega a custar R\$ 7,45.

De forma a sintetizar a evolução do fluxo e a tendência de consumo dos principais materiais envolvidos na produção (areia base, ferro gusa e sucatas metálicas), a Figura 53 apresenta o gráfico para esses materiais.

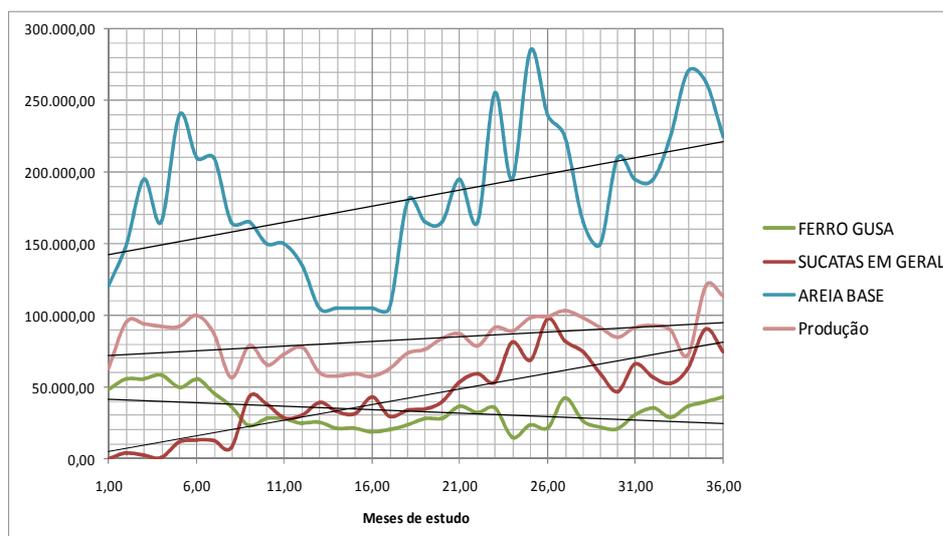


Figura 53 - Consumo dos principais materiais envolvidos ao longo do período de estudo.

Com as linhas de tendências é possível analisar o cruzamento entre as linhas do ferro gusa e das sucatas em geral, o que evidencia o benefício obtido com a Sugestão de P+L N° 1. A troca da tecnologia de fusão permitiu essa modificação da matéria prima básica principal para obter o ferro fundido, mostrando a tendência de continuidade da substituição desses materiais, almejando a produção apenas com sucatas, eliminando ou reduzindo ao máximo o consumo de ferro gusa. Por outro lado, o consumo de areia base foi minimizado pontualmente ao longo de poucos meses, voltando a crescer e apresentando no gráfico uma tendência de continuidade do crescimento, evidenciando a necessidade de se focar novas sugestões de P+L e ações de redução nesse material e nos processos internos que o envolvem.

Os gráficos apresentaram uma visão geral do consumo e eficiência dos principais materiais, sendo possível perceber o impacto que a Implementação do Programa de Produção mais Limpa representou no fluxo. Com os treinamentos, a inserção do conceito de P+L no setor produtivo e o surgimento das primeiras sugestões de melhorias no mês de Junho de 2010, percebeu-se a redução do consumo de materiais, ao passo que a produção se manteve estável ou sofreu pequenas reduções, representando os ganhos imediatos da ferramenta, porém os consumos voltaram a crescer após um período de 3 meses, reforçando a necessidade de treinamentos periódicos e a constante estimulação dos colaboradores por parte dos pesquisadores do NucMat.

Também foram analisadas questões energéticas do processo que tiveram relação com as modificações implementadas. Como a empresa não possui medições exatas do

consumo energético dos setores ou dos equipamentos de forma isolada, o consumo geral é representado na Figura 54.

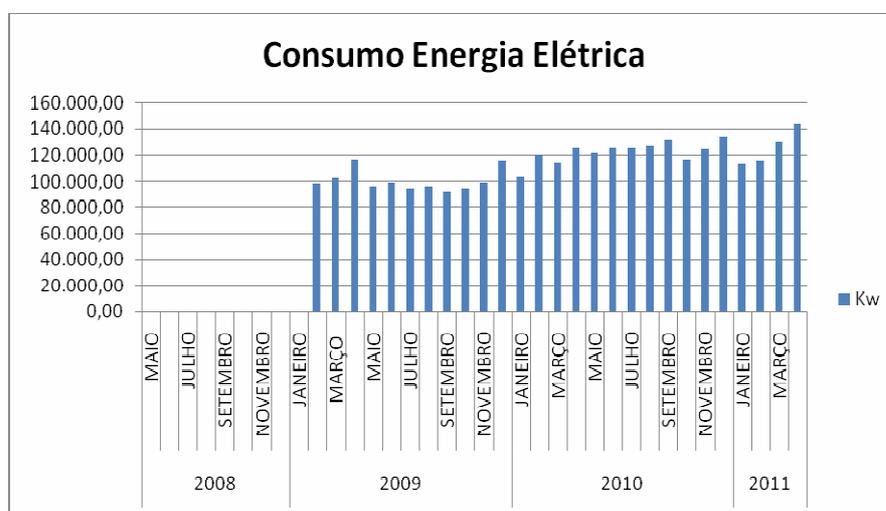


Figura 54 - Consumo de energia elétrica mensal de toda a empresa.

Percebe-se que o consumo é registrado a partir do mês de Fevereiro de 2009, o que pode ser explicado pela implementação da Sugestão N° 1 – troca de tecnologia de fusão – onde a empresa adquiriu Fornos a Indução que tem como matriz energética a energia elétrica, deixando de utilizar o Forno Rotativo, que consumia no seu funcionamento Óleo Petroquímico BTE e Oxigênio.

Grande parte do consumo de energia elétrica da empresa é representado pela fusão do metal, porém nem todo o consumo, exposto no gráfico da Figura 54, representa a demanda real do insumo energia elétrica para os Fornos a Indução, variando no período de estudo de 100.000 kWh a 140.000 kWh mensais. O consumo dos dois fornos é de 500 kWh e o tempo necessário para fundir uma tonelada de ferro fundido é de 1,25 horas. Desta forma, o consumo de energia dos dois Fornos a Indução representa 79% do consumo total de energia. Essa troca de tecnologia e de fonte energética também pode ser observada nos gráficos das Figuras 55 e 56, que representam o consumo mensal do Óleo Petroquímico BTE e do Oxigênio, respectivamente.

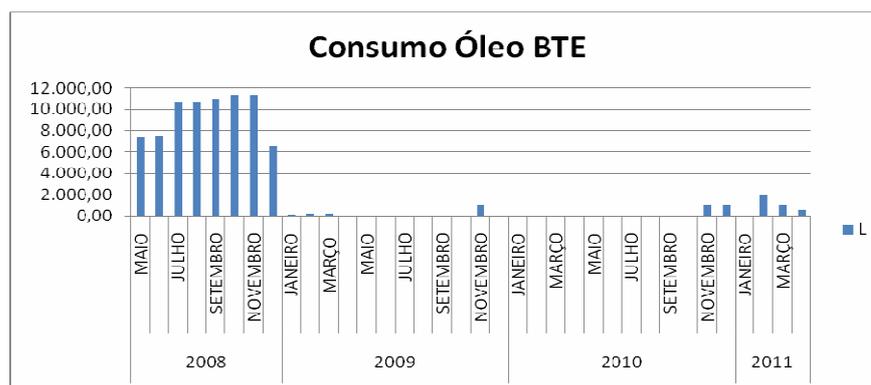


Figura 55 - Consumo mensal de Óleo de Baixo Teor de Enxofre (BTE).

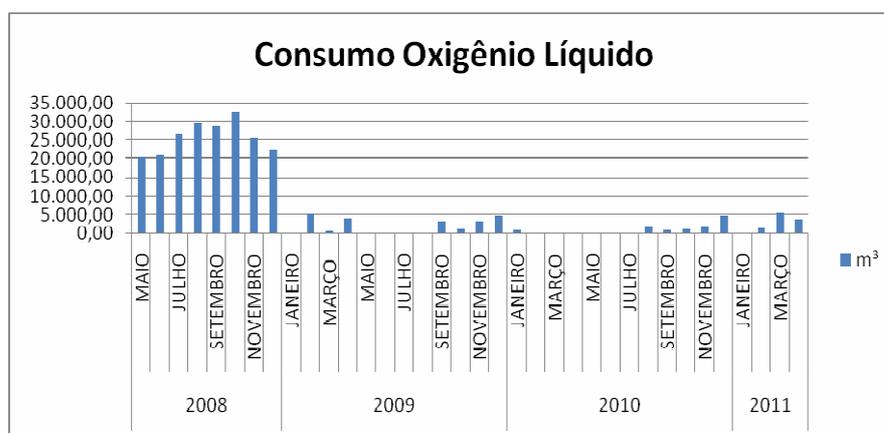


Figura 56 - Consumo mensal de Oxigênio Líquido na empresa.

Os gráficos anteriores mostram que a partir de Janeiro de 2009, praticamente cessa o consumo de óleo e oxigênio, sendo novamente registrados em pouca quantidade em alguns meses dos anos de 2009, 2010 e 2011. Esses pequenos consumos registrados devem-se ao fato da empresa ainda utilizar eventualmente o Forno Rotativo quando a quantidade de ferro fundido necessária para vaziar alguma peça de porte maior ultrapassa a capacidade de fusão dos Fornos a Indução. Dessa maneira a quantidade necessária de ferro fundido é completada pelo funcionamento da tecnologia antiga, porém esse fato aumenta o consumo de insumos e matérias primas e, por consequência, os custos de produção da tonelada de ferro fundido, encarecendo o produto, diminuindo produtividade e lucros.

O benefício advindo desta modificação tecnológica pode ser claramente visualizado na complementariedade dos gráficos da Figuras 54, 55 e 56, porém se faz necessário por parte da empresa a medição do consumo real de energia para cada setor e equipamento utilizado, o que representaria de uma forma mais fiel à realidade a proporção de consumo de energia elétrica entre as formas de utilização deste insumo na empresa, podendo

se obter indicadores de utilização e redução e facilitando ações a serem tomadas para conter custos e aumentar a produtividade. A inserção desses métodos de medição de consumo possui uma grande barreira já citada anteriormente em outra sugestão de P+L. O custo médio da energia elétrica ao longo do período de estudo gira em torno de R\$ 0,22/kWh, fator que diminui a atenção dos colaboradores e empresário a esse problema por ser relativamente barato e abundante.

A empresa iniciou no ano de 2011 uma tentativa de controle de sua produção e estabeleceu metas através da definição de indicadores. Este fato representa um ganho relevante para o grupo de pesquisa NucMat, pois caracteriza-se como resultado direto das ações desenvolvidas ao longo do período de parceria. Antes de Maio de 2008 a empresa sequer controlava a quantidade de material inserido no processo, porém, com o desenvolvimento da cultura ambiental entre os colaboradores, iniciativas nesse sentido começaram a aparecer. No caso da energia elétrica, estabeleceu-se um indicador de consumo de kilowatts hora por tonelada de ferro fundido bruto, como mostra a Figura 57.

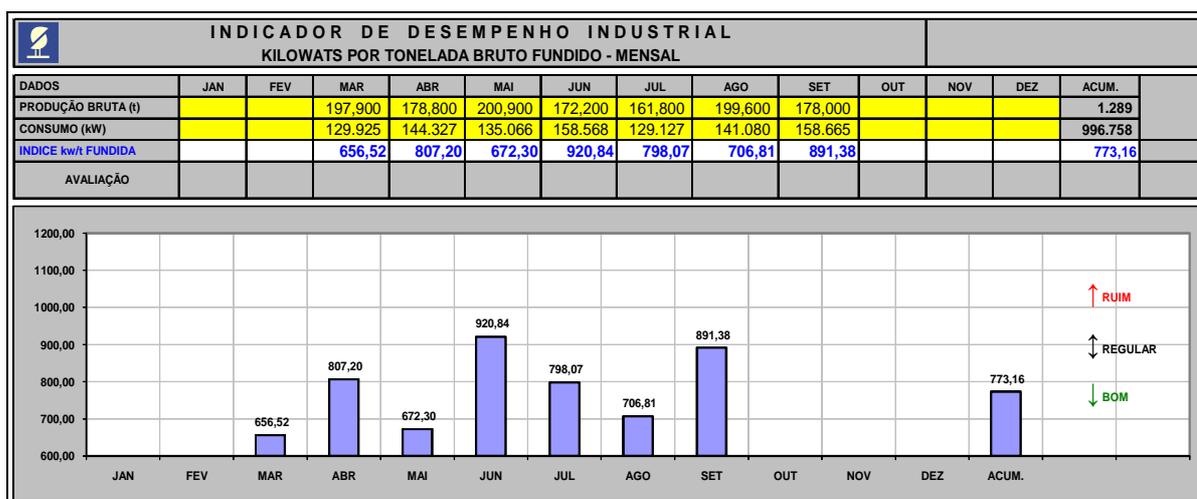


Figura 57 - Indicador de consumo de energia elétrica por tonelada de fundido desenvolvido pela empresa.

O gráfico mostra que a meta estabelecida de 800 kW/t está sendo atendida, sendo que a empresa neste período teve um indicador acumulado (até Setembro de 2011) de 773,18 kW/t. Porém, as variações do indicador ao longo dos meses demonstra a instabilidade da produção e consumo de matérias primas e insumos, pois não segue uma tendência e aparenta estar mais ligado com a demanda de produção imposta pelos clientes do que com a efetiva redução destes recursos. Esse fato também indica a necessidade de se adotar métodos ou equipamentos de medição do consumo específico exato de cada insumo e matéria prima

consumidos para se estabelecer uma relação entre estes materiais e conhecer quais destes possuem um melhor comportamento na etapa de fusão, por exemplo, quais sucatas são mais adequadas para uma fusão que consuma menos energia elétrica, o que permite reduções de custos de produção.

Os gráficos apresentados podem colaborar para a compreensão da situação ambiental do processo, subsidiando discussões para identificação de pontos do processo que ainda não foram otimizados, facilitando a gestão ambiental intra-firma onde se deve agir inicialmente, sendo posteriormente discutido o envio do mínimo de materiais excedentes inerentes à produção para outro processo produtivo de interesse. Desta forma, se gera a interligação com ferramentas entre-firmas para uma consequente análise de benefícios e impactos em uma abrangência regional e/ou global. Neste caso específico, após a implementação do Programa de P+L, bem como o monitoramento e o processo de melhoria contínua, observa-se a possibilidade de intercâmbio das areias descartadas de fundição (ADF) com a indústria de Construção Civil, de forma que os materiais excedentes podem ser considerados potenciais coprodutos para aplicação neste setor industrial, fazendo com que o mesmo tenha uma valorização e aplicação de mercado, praticando desta forma os objetivos da Ecologia Industrial.

5 CONCLUSÃO

No contexto das metodologias aplicadas e dentro do objetivo geral, que se caracterizou por implementar um Programa de Produção mais Limpa em uma indústria de fundição de pequeno porte, os objetivos específicos que compreenderam analisar resultados, oportunidades e barreiras associados à aplicação de um Programa de Produção mais Limpa na empresa alvo do estudo, demonstrados na seção 4.3.1 e avaliar o balanço de massa dos processos, considerando a inserção e eficiência no consumo de materiais e energia ao longo do período de estudo, demonstrados na seção 4.4, foram discutidos ao longo dos resultados do presente trabalho. Alguns indicadores do Programa de P+L também foram estabelecidos e permitem subsidiar as discussões sobre o andamento da parceria Lorscheitter/NucMat e a sustentabilidade do processo de fundição em questão.

Dentre as melhorias evidenciadas, percebeu-se uma evolução da empresa em direção a uma política ambiental mais concreta, que se pode notar através das práticas desenvolvidas em parceria com o NucMat/UNISINOS ao longo do período avaliado, porém um dos ganhos mais significativos desta parceria se dá através das práticas adotadas por conta da empresa, o que evidencia a transformação da cultura de produção ultrapassada (fim-de-tubo) na qual a empresa se baseou por muitos anos desde sua fundação. Esse ganho é de difícil mensuração, porém de extrema importância, já que a partir de um momento será a própria empresa de forma isolada que terá que idealizar e gerenciar seus projetos ambientais, ressaltando a importância do legado a ser deixado na Metalúrgica Lorscheitter através da aplicação do Programa de Produção mais Limpa pelo grupo de pesquisa NucMat. Essa mudança cultural influenciará diretamente na relação da empresa com seus clientes, fornecedores e parceiros e principalmente na sua relação com o consumo de recursos naturais.

Ressalta-se também a capacidade desenvolvida para o melhor gerenciamento dos materiais. Ao passo que a empresa segregou e qualificou seus “resíduos”, transformou-os em subproduto e coproduto para utilizá-los em seu processo ou paralelo, agregando um valor de difícil mensuração, porém extremamente significativo, já que envolve o consumo destes materiais oriundo de um processo de produção em substituição ao consumo de recursos naturais, diminuindo assim a pressão sobre os ecossistemas naturais. Em síntese, a empresa aumentou a “reciclabilidade” de seus materiais.

Desta forma, a busca da Ecologia Industrial dentro do presente estudo de caso se desenvolve de forma satisfatória, considerando a complexidade da integração dos conceitos envolvidos, principalmente em pequenas empresas como a estudada. O porte do empreendimento pode influenciar diretamente no controle de seus processos e na facilidade de acesso, obtenção e confiabilidade de dados, porém não indica o nível de comprometimento da mesma com o objetivo do desenvolvimento sustentável.

Apesar de ser uma empresa onde conceitos e políticas ambientais tem tido mais atenção ao longo dos últimos 5 anos, ainda evidencia-se a necessidade de aprimorar a eficiência dos materiais e energia empregados, principalmente no que se refere ao controle e monitoramento de estoques e da geração de resíduos. A empresa ainda não tem o pleno conhecimento dos seus fluxos de saída, não documentando o envio de resíduos excedentes para aterro ou até mesmo para a estocagem no próprio pátio da empresa, além da informação escassa no que se refere à exploração da reciclagem externa, que ocorreu diversas vezes ao longo do período de estudo, porém de uma maneira informal, dificultando dessa forma a transcendência do conceito de Produção mais Limpa para outras ferramentas da Ecologia Industrial.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o objetivo de dar continuidade ao presente trabalho, sugere-se:

- A aplicação da ferramenta de Análise do Ciclo de Vida nos produtos estudados neste trabalho, de forma que se contabilize e identifique onde o impacto é maior, desde sua extração até o fim da vida útil e posterior re inserção;
- Ampliação da análise energética da empresa, de forma a contabilizar efetivamente o consumo ao longo do processo, envolvendo possíveis perdas térmicas e eficiência;
- Análise da influência do retrabalho, homem/hora, entre outros, de forma que enriqueça a avaliação das sugestões.
- Avaliar a influência da inovação tecnológica da empresa, mecanização, automação de alguns processos, agregação de valor nos produtos pela

usinagem interna de alguns produtos nas melhorias ambientais, e na conscientização e crescimento técnico de seus colaboradores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIFA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO – COMISSÃO DE MEIO AMBIENTE. Manual de regeneração e reuso de areias de fundição. São Paulo: ABIFA p.1-49. 1999.

ABIFA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. Estudo Setorial de Fundição 2004-2006: O Setor de Fundição no Brasil - Perfil Produtivo e Tecnológico. Rio de Janeiro: ABIFA, 2007.

ABIFA, Associação Brasileira de Fundição (2009). Disponível em: <www.abifa.com.br>. Acesso em: 29 jan. 2011.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2004. NBR ISO 14001 – Sistema de Gestão Ambiental – Requisitos com orientação para uso. São Paulo, ABNT, 27 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2004. NBR ISO 10004 – Resíduos Sólidos - Classificação. 2^a ed. São Paulo.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2004. NBR ISO 14031 – Gestão Ambiental – Avaliação de Desempenho Ambiental – Diretrizes. Norma Técnica. ABNT, Rio de Janeiro - RJ, 2004, 32 p.

ADRIAANSE, A. Environmental policy performance indicators: A study on the development of indicators environment. Koninginnegrach, Holanda, 1993. 175 p. In: Cap. 5.

ANÁLISE, Anuário GESTÃO AMBIENTAL. Discurso alinhado com a prática: A pesquisa de ANÁLISE GESTÃO AMBIENTAL revela até onde as empresas já foram e quais são os principais desafios na instituição de práticas de gestão ambiental. Revista Análise, São Paulo, 2010/2011. Empresas, pg 34-35.

ARANZABAL, J. et al.; Used Sand Management in Foundries; REWAS'99, Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology, Vol. I; pg 85-93. (1999)

AZAPAGIC, A., PERDAN, S., Indicators of sustainable development for industry: a general framework. Process Safety and Environmental Protection. Volume 78, Issue 4, July 2000, Pages 243-261.

BELLEN, H. M. Indicadores de Sustentabilidade: Uma análise comparativa. Tese (Doutorado Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2002.

BELLEN, H.M. van. Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2005. 256 p.

BIFFAWARD, Building Communities. Transforming Lives. Site. Disponível em: <<http://www.biffaward.org/index.php>>. Acesso em: 15 fev. 2011.

BRASIL. Congresso Nacional. Projeto de Lei – Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 2010. Disponível em <<http://www.camara.gov.br/sileg/integras/501911.pdf>>. Acesso em 29 jan. 2011

BRICHESI, D.; Palestra Proferida, CINTEC 2008 Fundação - Congresso de Inovação Tecnológica, “ Cenário atual do setor de fundição brasileiro”, METALURGIA 2008, 09 à 12 Setembro, 2008, Joinville, SC, Brasil. (www.feirametalurgia.com.br)

BUCHHOLZ, R. A. Principles of Environmental Management: The Greening of Business. 2nd ed. New Jersey: Prentice-Hall. 1998

CANTER, L. W. Environmental impact assessment. New York: McGraw-Hill Book, 1977. 331 p. (Series in Water Resources and Environment Engineering).

CARVALHO A.B.M. Como entender o que se diz na ISO 14001; Controle da Qualidade, n. 75, 1998, p. 72-80.

CETESB, Companhia de tecnologia e saneamento ambiental, 2003. Produção mais Limpa: Casos de Sucesso. São Paulo, CETESB. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia/producao_limpa/casos/caso23.pdf> Acesso em 20 dez 2011.

CHEHEBE José Ribamar Brasil. Análise do Ciclo de Vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., CNI, 1997.

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS. Implementação de Programas de Produção mais Limpa. Porto Alegre. CNTL, 2003. 46p.

CLARO, João Carlos Almeida Ribeiro. Resíduos em Portugal - Contribuição para a compreensão dos fluxos de resíduos e materiais de fileiras industriais em Portugal: Uma abordagem de Ecologia Industrial. Tese de Doutorado. Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro. Vila Real, 2007.

COSTA, M. M. Princípios da Ecologia Industrial aplicados a sustentabilidade ambiental e aos sistemas de produção do aço. Tese de doutorado. Curso de Ciências do Planejamento Estratégico, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002.

DALQUIST, Stephanie; GUTOWSKI, Timothy. Life Cycle Analysis of conventional manufacturing techniques: Die casting. Massachusetts Institute of Technology, 2004.

DONOHUE, J. The Foundry Mass Balance Project. Biffaward programme on Sustainable Resource Use. Castings Technology International. United Kingdom, 2001. Disponível em: www.massbalance.org/downloads/projectfiles/1584-00191.pdf. Acesso em: 17/01/2011.

ERICKSON, P. A. A practical guide to environmental impact assessment. San Diego: Academic, 1994. 266 p.

ESTAL/MME - Projeto de Assistência Técnica ao Setor de Energia/ Ministério de Minas e Energia. Produto 35, Cadeia da Fundação - Relatório Técnico 61, Perfil da Fundação (2009). Disponível em: http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_transformacao_mineral_no_brasil/P35_RT61_Perfil_da_Fundicao.pdf. Acessado em 10/10/2011.

EWEA. Political declaration on the North Seas Countries Offshore Grid Initiative. European Wind Energy Association, Brussels. 2009.

FIKSEL, J. Sustainable Development through Industrial Ecology. In: LANKEY, R.L., ANASTAS, P.T. Advancing Sustainability through Green Chemistry and Engineering. Washington: American Chemical Society, p.13-29. 2002.

GARNER, A.; KEOLEIAN, G.A. Industrial Ecology: An Introduction. Pollution Prevention and Industrial Ecology. National Pollution Prevention Center for Higher Education. University of Michigan, United States. 1995.

GASPAR, R, C, et al., Caracterização de Areia de Fundação via Tratamento de Regeneração Termo-Mecânico, 63º Congresso Anual da ABM, pp. 3713-24, Julho/Agosto, 2008, São Paulo, Brasil.

GASPAR, R. C., CALHEIRO, D., OLIVEIRA, K. R., BREHM, F. A., MORAES, C. A. M. Caracterização de Areia de Fundação via Tratamento de Regeneração Termo-Mecânico. In: 63º Congresso Anual da ABM, pp. 3713-24, São Paulo, 2007. Brasil. Anais do 63º Congresso Anual da ABM. São Paulo, 2007.

GIANNETTI, B.F., BONILLA, S.H., SILVA, I.R., ALMEIDA, C.M.V.B. Cleaner production practices in a medium size gold-plated jewelry company in Brazil: when little changes make the difference. Journal of Cleaner Production, v.16, pp. 1106 – 1117. 2008.

GREINER, Timothy J, Indicators of Sustainable Production – Tracking Progress. A Case Study on Measuring Eco-Sustainability at Guilford of Maine, Inc. Greiner Environmental - Lowell Center for Sustainable Production, 2001. 15 p.

HAMMOND, A. et al. Environmental indicators. World Resources Institute. Washington D.C, 1995. Disponível em: <http://www.wri.org/pubs/pubs_description.cfm?pid=2516>. Acesso em: 03/01/2011

HILSON, G. (2003). Defining “cleaner production” and “pollution prevention” in the mining context. Minerals Engineering, n.16, p.205-321.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Indicadores de Desenvolvimento Sustentável: Brasil 2004. Brasília, DF, 2004. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/ids.htm>. Acesso em: 12/07/2010.

IEA. World Energy Outlook 2009. International Energy Agency, Paris. 2009a.

IEA. Transport, Energy and CO₂: Moving towards Sustainability. International Energy Agency, Paris. 2009b.

JUNGES, José Roque. Ética Ambiental. São Leopoldo: Unisinos, 2004. p. 51.

KIPERSTOK, A.; MARINHO, M. Ecologia industrial e prevenção da poluição: uma contribuição ao debate regional. Bahia Análise & Dados. v.10 n.4 p.271-279, 2001.

KIPERSTOK, A.; COELHO, A.; TORRES, E. A.; MEIRA, C.C.; BRADLEY, S. P.; ROSEN, M. Prevenção da poluição. 1ª Edição. SENAI/DN, Brasília, 2002.

KONG, Gang; WHITE, Rob. Toward cleaner production of hot dip galvanizing industry in China. Journal of Cleaner Production, v.18, pp. 1092 – 1099. 2010.

KUMAR, V.; BEE, D.J.; SHIRODKAR, P.S.; TUMKOR, S.; BETTIG, B.P.; SUTHERLAND, J.W. Towards sustainable product and material flow cycles, identifying barriers to achieving product multi-use and zero waste. In, Proceedings of IMECE 2005. 2005 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Orlando, Florida USA; 2005.

LA GREGA, M.D., BUCKINGHAM, P.L., EVANS, J.C. Hazardous Waste Management. New York: McGraw-Hill. 1994.

MORAES, Carlos Alberto Mendes. Fundição: Ferros e Aços Fundidos – Apostila. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, 2000.

MORAES, C. A. M., GASPAR, R., ROCHA, L. K., BREHM, F. A., GARCIA, A. C. Aplicação de Ferramentas do Programa de Produção Mais Limpa na Gestão de Resíduos de uma Fundição. Tecnologia em Metalurgia e Materiais, São Paulo, v.4, n.1, p. 59-63, 2007.

MORAES, C.A.M. et al. Implementação de um programa de Produção mais Limpa na Siderúrgica GERDAU. AEP: Estudo de caso aciaria. SEMINÁRIO DE ACIARIA DA ABM.39., Curitiba, 2008.

MORAES, C. A. M. ; KIELING, A. G. ; CALHEIRO, D. ; PIRES, D. C. ; AREND, C. O. . Elaboração de um plano de gerenciamento de resíduos sólidos em uma empresa de fundição. In: 2º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, 2010, Bento Gonçalves. CD-ROM 2 CITMA. Caxias do Sul: A&S Criação, 2010. v. 1. p. 1-8.

MOURA L. A. A. Qualidade e Gestão Ambiental. 4º ed., São Paulo, Juarez de Oliveira, 416 p. 2004.

NASCIMENTO, Luis Felipe; LEMOS, Ângela D. C.; MELLO, Maria C. A. Produção mais limpa. [Rio Grande do Sul]: Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, 2002.1 Cd-Rom.

OECD - ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. Good practices in the National Sustainable Development Strategies of OECD Countries.

2006. Sustainable Development Studies. Disponível em: <www.oecd.org>. Acesso em: 12/07/2010.

OECD - ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. Sustainable Manufacturing and Eco-innovation: Framework, Practices and Measurement Synthesis Report. Directorate for Science, Technology and Industry, Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris. 2009.

PIRES, Daniel Canello. Análise de indicadores ambientais de um Programa de Produção mais Limpa implementado em uma Indústria Siderúrgica. Trabalho de Conclusão de Curso, Gestão Ambiental. Unisinos, 2009. 41p.

PMAISL, REDE BRASILEIRA DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA. A Produção mais Limpa na Micro e Pequena Empresa. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável – CEBDS/SEBRAE. Rio de Janeiro. Julho de 2002. Disponível em: <http://www.cebds.com>. Acesso em: 11/01/2011.

PMAISL, REDE BRASILEIRA DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA. Relatório PmaisL - 10 Anos de Parceria - CEBDS/SEBRAE. Rio de Janeiro. 2009. Disponível em: http://www.pmaisl.com.br/publicacoes/relatorio_10anos.pdf. Acesso em: 15/02/2011.

PNMA – Política Nacional de Meio Ambiente. Lei nº 10.165 de 27 de dezembro de 2000. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L10165.htm. Acessado em 10/10/2011.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). Consumo sustentável. Trad. Admond Ben Meir. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente/IDEC/Consumers International, 1998.

POTRICH A. L., TEIXEIRA, C. E., FINOTTI, A. R. Avaliação de impactos ambientais como ferramenta de gestão ambiental aplicada aos resíduos sólidos do setor de pintura de uma indústria automotiva. Estudos Tecnológicos em Engenharia - Vol. 3, nº 3:162-175, 2007.

PROBST, K.N., BEIERLE, T.C. The Evolution of Hazardous Waste Programs: Lessons from Eight Countries. 1st ed. Washington: Resources for the Future.1999.

QUINTÃO, Chiara. ABIFA: produção do setor de fundição cresce 50,2% no 1º semestre. Revista da ABIFA – Fundição e Matérias-Primas, São Paulo, Agosto. 2010. ABIFA na Mídia, pg 20-22.

RABELO, L. S.; LIMA, P. V. P. S. Indicadores de sustentabilidade: a possibilidade da mensuração do desenvolvimento sustentável. In: Revista Eletrônica do Prodema, vol 1, nº. 1, p. 55-76, 2007.

READ, Peter. (2008). Biosphere carbon stock management: Addressing the threat of abrupt climate change in the next few decades. Climatic Change, Vol. 87, N. 3-4, pg. 305-320.

REEVE, Darel J. Environmental improvements in the metal finishing industry in Australia. Note from the field. *Journal of Cleaner Production*, v.15, pp.756-763. 2007.

RISTOLA, P.; MIRATA, M. Industrial symbiosis for more sustainable, localized industrial systems. *Progress in Industrial Ecology*, Vol. 4, N°.3/4, 2007.

ROCCA, A. C. C. Resíduos sólidos industriais. 2. ed. São Paulo: Cetesb, 1993.

ROCHA, Lisiane K. A simbiose industrial aplicada na interrelação de empresas e seus stakeholders na cadeia produtiva metal-mecânica na bacia do rio dos sinos. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, 2010. 145p.

RODRIGUES G. S. Avaliação de impactos ambientais em projetos de pesquisas: fundamentos, princípios e introdução à metodologia. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1998. 66 p.

SANTOS, C. (2005). Prevenção à Poluição Industrial: Identificação de Oportunidades, Análise dos Benefícios e Barreiras. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Estudo de impacto ambiental - EIA, relatório de impacto ambiental - RIMA: manual de orientação. São Paulo, 1992. 39 p.

SIEGEL, Miguel. ABM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS. Curso de Fundição. Editora ABM. 6a Edição. São Paulo, 1975.

SILVA, T. C. e CHEGATTI, S. Comparativo entre os regulamentos existentes para reutilização de resíduos de fundição. *Revista da ABIFA – Fundição & Matérias-Primas. Caderno Técnico 3*. Outubro de 2007. Edição 90. Pg 150. Trabalho premiado no CONAF' 2008.

SOARES, G.F.S. A Proteção Internacional do Meio Ambiente. Barueri, SP: Manole. 2003.

STROBEL, Juliana Scapulatempo. Modelo para Mensuração da Sustentabilidade Cooperativa através de Indicadores. (Dissertação de Mestrado).UFSC- Florianópolis, 2005.

TANIMOTO, Armando H. A economia medida pela Análise de Fluxo de Massa (AFM): A desmaterialização da economia nos países desenvolvidos sustentada pelos recursos naturais dos países emergentes, a exemplo do Brasil. Tese de Doutorado. Centro de Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília. Brasília, 2010. 154 p.

UNEP. Global Phase Out of Old Bulbs Announced by UN, GEF, and Industry. Press Release. Washington D.C./Nairobi. 2009b.

UNEP. United Nations Environment Programme. Resource Efficiency. UNEP Year Book 2010: New Science and Developments in Our Changing Environment. 2010.

VALLE, C. E. do. Como se Preparar para as Normas ISO 14000. 3º ed., São Paulo, Pioneira, 156 p. 2002.

VARGAS, Mônica. Ecologia Industrial: A eficiência ambiental e econômica da Produção mais Limpa para uma Siderúrgica Brasileira em busca da Sustentabilidade Ambiental. Trabalho de conclusão de Curso, Ciências Biológicas. Unisinos, 2008. 86p.

VARGAS, Mônica; MORAES, Carlos Alberto Mendes; CALHEIRO, Daiane; ROCHA, Lisiane Kleinkauf da. Benefícios Ambientais e Econômicos da Produção mais Limpa em uma Indústria Siderúrgica através da Análise de Indicadores. In: XI Encontro Nacional e I Encontro Internacional de Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 2009, Fortaleza. Anais do ENGEMA, 2009. v. 1.

VILELA Jr, Alcir; RIBEIRO, Fabíola Maria Gonçalves; PEREIRA, Alessandro Sanches. A Ecologia Industrial no Contexto das Políticas Públicas de Meio Ambiente - Uma discussão preliminar sobre as oportunidades e limites da incorporação da ecologia industrial à gestão pública do meio ambiente. 1st Internacional Workshop Advances in Cleaner Production. IV Semana Paulista de P+L e Conferência Paulista de P+L. São Paulo – SP. Novembro de 2007.

WIEMES, F., de SOUZA FONSECA, L.G., de ÁVILA LERÍPIO, A. Uma Proposta de Sistema de Gestão Ambiental Aplicada Numa Empresa Metal Mecânica Catarinense. sfiec.org.br - 1999.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT - WCED. Our Common Future. Great Britain: Oxford University Press. 1987.