



INOVAÇÃO NO SETOR DE FUNDIÇÃO: IMPACTO AMBIENTAL E ENERGÉTICO

Ana Claudia da Silva Lima

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador(es): Ricardo Manfredi Naveiro

Rio de Janeiro

Julho de 2011

INOVAÇÃO NO SETOR DE FUNDIÇÃO:
IMPACTO AMBIENTAL E ENERGÉTICO

Ana Claudia da Silva Lima

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Examinada por:

Prof. Ricardo Manfredi Naveiro, D. Sc.

Profª Anne-Marie Maculan, Ph. D.

Prof. Luiz Carlos Pereira, D. Sc.

Prof. Valter Rocha dos Santos, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JULHO DE 2011

Lima, Ana Claudia da Silva

Inovação no setor de fundição: impacto ambiental e energético/ Ana Claudia da Silva Lima. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.

XIII, 299 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Ricardo Manfredi Naveiro

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2011.

Referências Bibliográficas: p. 104-110.

1. Fundição. 2. Inovação tecnológica. 3. Perfil Ambiental. 4. Perfil Energético. I. Naveiro, Ricardo Manfredi. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por permitir esta conquista em minha vida.

Ao professor Ricardo Naveiro pela oportunidade de desenvolvimento deste trabalho e, principalmente, pela orientação e confiança em mim depositada.

À minha avó Izabel, minha mãe Ana Maria e meu irmão Alberto, pelo carinho, compreensão e atenção em todos os momentos, especialmente aqueles mais difíceis. À minha tia Suely por sempre acreditar e torcer por mim.

Ao querido Arthur, pela companhia nas madrugadas que passei estudando, fazendo com que muitas vezes eu parasse para rir um pouco das suas gracinhas.

Ao CEPEL Eletrobras por me liberar para cursar o mestrado, especialmente o Chefe do Departamento de Tecnologias Especiais, Ary Vaz Pinto Junior. Ao Gerente do Centro de Aplicação de Tecnologias Eficientes (CATE), João Carlos Aguiar, pelas informações sempre oportunas, orientações e revisão deste trabalho. Estendo os agradecimentos aos meus amigos do CATE, que participaram de todo desenvolvimento desta pesquisa, acompanharam os momentos mais difíceis e sempre estiveram dispostos a ajudar: ao José Carlos Guedes, pela ajuda incondicional em várias etapas deste trabalho; ao Tyrone, pelas versões e traduções realizadas; ao Sérgio Pena, pelas diversas explicações técnicas; à Elisabeth e Aroldo pela presteza e boa vontade sempre. Ao Fernando pelas importantes “dicas” e aos amigos que hoje não trabalham mais no CATE, mas que participaram dos testes do questionário, que enviei inúmeras vezes até funcionar corretamente, e todos responderam com muita boa vontade.

À Universidade, especialmente à COPPE - Programa de Engenharia de Produção, pela qualidade do ensino. Pelos professores, colegas de turma e funcionários, todos foram muito importantes nesta jornada. Agradeço ao Fábio, a Fátima e todos os funcionários da secretaria, por estarem sempre prontos para resolver todas as questões administrativas, facilitando a nossa vida acadêmica. À Zui, pela boa vontade em resolver os problemas de informática e, especialmente, ao Rogério Pontes, pois sem a sua ajuda o levantamento dos dados desta pesquisa não teria acontecido.

Ao professor Roberto Bartholo pelo incentivo inicial a realizar a prova do mestrado e, ao Hamilton Moss pela ajuda no desenvolvimento do projeto de pesquisa,

a ser apresentada na minha inscrição ao mestrado. Aqui foi o primeiro passo dessa conquista!!!

À Cássia Figueiredo, que me ajudou nos momentos decisivos a organizar as idéias e a estruturar toda a dissertação e, também, o artigo que foi elaborado. Sua paciência para ler, reler e comentar várias vezes, tudo o que eu escrevi foi impressionante.

Às bibliotecárias da COPPEAD pela ajuda constante, especialmente à Eliane, que sempre procurou facilitar o meu trabalho durante as tardes de sábado, que eu passava estava lá estudando.

Ao projeto “Alunos contadores de história” da UFRJ que fiz parte durante o desenvolvimento deste trabalho. A oportunidade de contar histórias para as crianças do Instituto de Puericultura e Pediatria Martagão Gesteira (IPPMG) é inesquecível e foram momentos muito especiais.

À ABIFA pelo apoio no contato com as empresas de fundição, especialmente ao Roberto João de Deus e ao Samuel Mariano, que me receberam nas unidades de São Paulo e Minas Gerais, apoiaram o desenvolvimento da pesquisa e facilitaram o meu acesso às fundições.

Às empresas que visitei, à escola de fundição do SENAI de Itaúna e de Cláudio (MG), ao SINDIMEI e à ASIMEC.

À Setepla Tecnometal Engenharia, especialmente Sr. Boaventura, pela ajuda na análise do questionário desenvolvido.

Aos professores escolhidos para a defesa deste trabalho, que prontamente aceitaram o convite para participar da banca.

Aos amigos e familiares que torceram pela minha vitória e, muitas vezes, compartilharam a minha ausência, sempre com muito carinho e paciência.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

INOVAÇÃO NO SETOR DE FUNDIÇÃO:
IMPACTO AMBIENTAL E ENERGÉTICO

Ana Claudia da Silva Lima

Julho/2011

Orientador: Ricardo Manfredi Naveiro

Programa: Engenharia de Produção

Este trabalho visa a identificar e analisar as inovações tecnológicas de produto e processo que contribuíram para a redução dos impactos ambientais e do consumo de energia no setor de fundição brasileiro, com base nos dados apresentados pelas empresas pesquisadas, referente ao ano de 2009.

Foi realizado o levantamento dos aspectos produtivo, ambiental e energético das fundições, mediante a aplicação de um questionário, com o objetivo de identificar principalmente as inovações tecnológicas implementadas, os insumos utilizados nos processos produtivos, a mecanização da produção, as medidas para controle dos excedentes, mão-de-obra, pesquisa e desenvolvimento (P&D), e as práticas de gestão ambiental e energética adotadas pelas empresas.

As fundições são grandes consumidoras de recursos naturais não-renováveis, insumos produtivos que demandam o gerenciamento adequado dos produtos e processos desenvolvidos, a fim de reduzir os impactos ao meio ambiente. Alternativas como a minimização de resíduos, redução das perdas e controle da poluição, que são tecnologias “fim-de-tubo”, cedem espaço gradativamente às técnicas de prevenção.

Com a implementação de inovações tecnológicas abrangendo todo o ciclo de vida dos produtos e com a utilização de tecnologias limpas no gerenciamento dos processos é possível reverter o perfil poluidor das fundições, que possuem tecnologias maduras concorrendo com novas tecnologias, as quais interagem com o meio ambiente de forma sistêmica e precisam desenvolver novas funcionalidades visando a garantir a sustentabilidade ambiental.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

INNOVATION IN FOUNDRY INDUSTRY:
ENVIRONMENTAL IMPACT AND ENERGY

Ana Claudia da Silva Lima

July/2011

Advisors: Ana Claudia da Silva Lima

Department: Production Engineering

This study aims to identify and analyze the technological innovations in products and processes that contributed to the reduction of environmental impacts and energy consumption in Brazilian foundry sector, based on submitted data by companies surveyed by the year 2009.

Foundries productive, environmental and energy aspects has taken in account by applying a survey, aimed mainly to identify the technological innovations implemented, the inputs used in manufacturing process, production mechanization, control the surplus measures, manpower, research and development (R&D), and environmental and energy management practices adopted by companies.

Foundries are major consumers of nonrenewable natural resources, productive inputs that require the proper product and process management developed in order to reduce impacts to the environment. Alternatives such as waste minimization, loss reduction and pollution control, technologies that are “end-of-pipe”, gradually give way to prevention techniques.

With the technological innovations implementations covering the products entire lifecycle and the process management using clean technologies is possible to reverse the foundries polluter profile, which have mature technologies competing with new technologies, that interact with the environment in a systemic way and need to develop new features aimed at ensuring environmental sustainability.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE GRÁFICOS.....	xii
SIGLAS E ABREVIATURAS.....	xiii
Capítulo 1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 – Apresentação do problema.....	2
1.2 – Delimitação do tema.....	2
1.3 – Relevância.....	3
1.4 – Objetivos.....	3
1.5 – Justificativa.....	4
1.6 – Metodologia de pesquisa.....	4
1.6.1 - Etapas percorridas.....	5
1.6.2 - Referencial teórico.....	8
1.7 – Estrutura da dissertação.....	9
Capítulo 2 O SETOR DE FUNDIÇÃO.....	11
2.1 – Panorama mundial da indústria da fundição.....	12
2.2 – Posicionamento do Brasil em relação ao mercado mundial.....	15
2.3 – Distribuição geográfica das indústrias de fundição no Brasil.....	18
2.4 – Os processos de fundição.....	20
2.4.1 – Processo em areia.....	21
2.4.2 – Processo em molde permanente ou coquilha.....	21
2.4.3 – Processo por injeção.....	22
2.4.4 – Processo em cera perdida.....	22
Capítulo 3 INOVAÇÃO TECNOLÓGICA.....	24
3.1 – Inovações tecnológicas de produto e processo (TPP).....	26
3.1.1 – Inovação de produto.....	27
3.1.2 – Inovação de processo.....	28
3.2 – Grau de novidade das inovações tecnológicas.....	28
3.2.1 – Inovações incrementais.....	29
3.2.2 – Inovações radicais.....	30
3.3 – Perfil das inovações tecnológicas na indústria de fundição brasileira.....	30
3.3.1 – Novas tecnologias adotadas pelas fundições.....	37

Capítulo 4 SISTEMA PRODUTIVO DAS FUNDIÇÕES: ASPECTOS AMBIENTAIS E ENERGÉTICOS	40
4.1 – Elementos componentes das etapas das fundições	42
4.1.1 – Entradas do processo de fundição	43
4.1.2 – Processamento	46
4.1.3 – Saídas do processo de fundição.....	47
4.2 – Gerenciamento ambiental	52
4.2.1 – Minimização de resíduos e perdas	54
4.2.2 – Prevenção e controle dos poluentes atmosféricos.....	57
4.2.3 – Produção mais Limpa.....	60
4.2.4 – Legislação ambiental.....	63
4.2.5 – Normas de certificação.....	64
 Capítulo 5 ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DO INSTRUMENTO DE PESQUISA....	69
5.1 – Atividades preliminares	70
5.2 – Software utilizado.....	70
5.3 – Estrutura do questionário	71
5.4 – Caracterização da amostra	76
5.5 – Resultados obtidos.....	76
5.5.1 – Perfil produtivo	77
5.5.2 – Perfil Ambiental	80
5.5.3 – Perfil energético	86
5.6 – Análise dos resultados	91
 Capítulo 6 CONCLUSÃO.....	98
6.1 – Desdobramentos futuros	102
 Capítulo 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
 APÊNDICE 1 Questionário do Perfil Ambiental e Energético das fundições ...	111
 APÊNDICE 2 Levantamento bibliográfico estruturado.....	140
 APÊNDICE 3 Página de apresentação do questionário.....	160
 APÊNDICE 4 Resultados do questionário (perfil produtivo, ambiental e energético).....	165
 APÊNDICE 5 Apuração dos resultados do perfil produtivo, ambiental e energético.....	266

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma detalhado das etapas da pesquisa	7
Figura 2 – Esquema de um sistema aberto.....	41
Figura 3 – Evolução das questões ambientais	53
Figura 4 – Evolução das empresas rumo a produção mais limpa	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dez maiores produtores mundiais de fundidos.....	12
Tabela 2 – Elementos do sistema produtivo das fundições.....	42
Tabela 3 – Questionário – Perfil Produtivo.....	72
Tabela 4 – Questionário – Perfil Ambiental.....	73
Tabela 5 – Questionário – Perfil Energético.....	75

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Participação percentual dos países na produção mundial de fundidos	13
Gráfico 2 – Produtividade média das fundições por plantas industriais	14
Gráfico 3 – Distribuição da produção de fundidos por faixa de capacidade instalada .	15
Gráfico 4 – Exportação brasileira de fundidos.....	16
Gráfico 5 – Importação brasileira de fundidos.....	17
Gráfico 6 – Distribuição setorial de vendas de fundidos brasileiros (%)	18
Gráfico 7 – Dispêndio com as atividades inovativas no setor de fundição (ferrosos e não-ferrosos) – Pintec 2000 a 2008.....	33
Gráfico 8 - Intensidade das atividades inovativas por porte de empresa.....	35
Gráfico 9 - Alocação de máquinas/equipamentos nas etapas do processo de fundição	88
Gráfico 10 - Energéticos utilizados.....	89
Gráfico 11 – Inovações realizadas e não-realizadas nas empresas de fundição pesquisadas	92
Gráfico 12 – Medidas que contribuem para a redução do consumo de energia.....	94

SIGLAS E ABREVIATURAS

Al	Alumínio
ABIFA	Associação Brasileira de Fundição
ADF	Areia Descartada de Fundição
CAMEX	Câmara do Comércio Exterior
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
Cr	Cromo
Cu	Cobre
ESF	Estudo Setorial de Fundição
FUNTEC	Linha Fundo Tecnológico
GLP	Gás liquefeito de petróleo
GN	Gás natural
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Mg	Magnésio
Mo	Molibdênio
MP	Materiais particulados
Mt	Toneladas métricas equivalente a 1.000 kg
Ni	Níquel
NO _x	Óxidos de nitrogênio
NO ₂	Óxido nítrico
NO ₃	Nitrato
OCDE	Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico
O ₂	Oxigênio molecular
Pb	Chumbo
PINTEC	Pesquisa de Inovação Tecnológica
PUC	Pontifícia Universidade Católica
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
P+L	Produção mais Limpa
R&D	<i>Research and Development</i>
Scielo	<i>Scientific Electronic Library Online</i>
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Si	Silício
Sn	Estanho
SO ₂	Dióxido de enxofre
SO ₃	Sulfito ou trióxido de enxofre
TPP	Tecnológicas de Produtos e Processos
V	Vanádio
Zn	Zinco
%	Percentual

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Este trabalho visa a identificar e analisar as inovações tecnológicas de produto e processo que contribuíram para a redução dos impactos ambientais e do consumo de energia no setor de fundição brasileiro. O conceito de inovação utilizado é definido no Manual de Oslo (OCDE, 2005), que aborda as inovações sob um aspecto sistêmico, facilitando a análise da relação entre inovação e meio ambiente. A similaridade de ambos os perfis permite identificar as interações das tecnologias de produto e processo utilizadas pelas fundições e os reflexos da inserção de inovações na produção de bens fundidos.

As fundições são grandes consumidoras de recursos naturais não-renováveis, que são total ou parcialmente consumidos durante a produção. A parcela excedente, que não retorna ao processo é, em sua maioria, descartada no meio ambiente. O não aproveitamento dos resíduos da produção como matéria-prima no mesmo processo produtivo ou em outro processo, contribui para a degradação ambiental. A implementação de inovações tecnológicas permite reverter os processos de degradação, favorecendo a sustentabilidade do planeta.

As operações das fundições podem gerar impactos significativos ao meio ambiente, tanto dentro quanto fora da fábrica, sendo que os principais impactos do processo estão relacionados a sua atividade transformadora e a não prevalência da simbiose industrial. A melhor opção é a prevenção, porém os principais insumos do processo de fundição são recursos naturais. Alternativas como modificação no projeto do produto, utilizando novos materiais e ligas e, técnicas de minimização de resíduos e o controle da poluição, contribuem para que as empresas realizem o gerenciamento global do processo produtivo com os menores impactos possíveis ao meio ambiente.

Do ponto de vista tecnológico, o setor de fundição está maduro e as inovações implementadas são principalmente incrementais, pequenas alterações feitas para melhorar ou modificar os parâmetros do processo de concepção do produto e reduzir as perdas de produção. Constatou-se também que as restrições do ambiente são o principal motor para promover a inovação na indústria de fundição.

1.1 – Apresentação do problema

O problema a ser analisado é: “as inovações tecnológicas de produto e processo contribuem para a redução do impacto ambiental e do consumo de energia no setor de fundição brasileiro?”.

A relação entre os aspectos produtivos do setor de fundição e as inovações tecnológicas implementadas pelas empresas ainda são pouco explorados no campo científico. A visão sistêmica do processo produtivo e sua interação com o meio ambiente demanda recursos inovativos que alterem a atual perspectiva adotada pelas empresas, direcionadas à redução dos excedentes do processo, e passem a adotar uma nova forma de gerenciamento das variáveis ambientais e energéticas, voltadas para a prevenção dos recursos naturais consumidos, agindo proativamente para reduzir a degradação ambiental.

A identificação das novas tecnologias que são adotadas pelas fundições brasileiras e a sua contribuição para a redução do impacto ambiental e energético permite identificar a evolução da produção em direção às práticas sustentáveis.

1.2 – Delimitação do tema

O tema desta pesquisa relaciona-se às inovações tecnológicas de produto e processo, implementadas por empresas de fundição brasileiras, e sua relação com os aspectos que permeiam a esfera ambiental e energética, identificando se a adoção de novas tecnologias de processo e de desenvolvimento de produto é responsável pela redução dos impactos ambientais e do consumo de energia pelas empresas do setor.

Identificaram-se as entradas do processo de fundição, principalmente matérias-primas e combustíveis, o processo de transformação dos insumos, e as saídas do processo, que além do produto final, envolve resíduos sólidos, líquidos e gasosos que são na sua maioria descartados.

A evolução da etapa de tratamento para a de prevenção de resíduos permite a redução da degradação do meio ambiente, considerando que há a redução da extração de novos insumos. Os resíduos que não puderem deixar de ser produzidos precisam ser absorvidos em outros processos, modificando a visão das fundições

enquanto um sistema aberto, para um sistema fechado, onde não existam excedentes a serem descartados no meio ambiente.

1.3 – Relevância

As questões relacionadas ao meio ambiente estão permeando as sociedades de forma intensa, em diversos campos de atuação. Há a preocupação com o futuro do planeta e, diante dessa perspectiva, buscam-se alternativas para controlar e reduzir o consumo dos recursos renováveis e não-renováveis que são utilizados como insumos nos processos produtivos das empresas.

Os recursos naturais que estão associados às empresas de fundição são, principalmente, os combustíveis fósseis, a energia elétrica, minérios e a areia. O impacto ambiental referente à utilização desses insumos pelas fundições é proporcional ao gerenciamento adequado desses recursos e às inovações tecnológicas implementadas. A inovação permite que as empresas adotem novas perspectivas de produção, desenvolvam novas tecnologias ou aprimorem tecnologias já existentes para incorporar aos atuais produtos ou processos.

É relevante conhecer o perfil das empresas e sua relação com as inovações implementadas, as quais melhoram as condições de produção, a qualidade dos produtos desenvolvidos, as tecnologias empregadas, mitigando a degradação ambiental e favorecendo a competitividade em um mercado globalizado.

1.4 – Objetivos

Os objetivos desta pesquisa são:

Objetivo geral: Identificar as inovações tecnológicas adotadas pelas as empresas do setor de fundição, que contribuíram para a redução do consumo energético e a redução dos impactos ambientais.

Objetivos específicos:

1. Identificar as inovações em produto e processo realizadas pelas empresas de fundição;

2. Identificar as práticas e tecnologias associadas aos aspectos ambientais que são realizadas pelas empresas e que contribuem para redução do impacto ambiental;
3. Identificar os recursos energéticos que são utilizados no processo produtivo e associar às tecnologias utilizadas com a redução do consumo de energia.

1.5 – Justificativa

A importância e representatividade do setor de fundição brasileiro, no cenário nacional e internacional, justificam a preocupação com os aspectos produtivos, ambientais e energéticos das fundições do país. O produto fundido é básico na maioria das cadeias produtivas, demandando investimentos crescentes na produção para atendimento ao mercado externo e interno. O Brasil é o sétimo produtor mundial de bens fundidos e apresenta disponibilidade de recursos naturais para serem empregados em seus processos produtivos.

Os recursos naturais empregados no processo produtivo das fundições, todos de origem nacional (ABIFA, 2010), permitem que a indústria tenha uma independência em relação ao mercado externo, porém devem ser gerenciados de forma a garantir a manutenção do sistema. Recursos naturais não renováveis como os metais e os combustíveis, matérias-primas básicas do setor, precisam ser gerenciados eficientemente, para garantir sua preservação e manutenção da produção de bens fundidos, sem comprometer o meio ambiente. A implementação de inovações tecnológicas pelas empresas contribui para o desenvolvimento de processos produtivos menos comprometedores e ambientalmente eficientes.

A justificativa para este trabalho é conhecer os aspectos produtivos mais relevantes e a interação das fundições com as questões ambientais e energéticas, sob a ótica das inovações tecnológicas de produto e processo no setor.

1.6 – Metodologia de pesquisa

A pesquisa desenvolvida pode ser classificada como aplicada e descritiva, pois há o objetivo de gerar conhecimento sobre as novas tecnologias de produto e processo, relacionadas à gestão ambiental e energética, que são empregadas pelas fundições brasileiras que participaram do levantamento realizado.

A abordagem será quantitativa e qualitativa. Os resultados quantitativos do levantamento, utilizado para coleta de dados (questionários) aplicados às empresas de fundição brasileiras e, as análises qualitativas, realizadas com base na literatura específica sobre a temática abordada e nas visitas realizadas a uma amostra de empresas do setor, contribuirão para a identificação das práticas ambientais e energéticas e inovações tecnológicas implementadas pelas empresas, questões centrais desse estudo.

A pesquisa realizada visou ampliar a abordagem do Estudo Setorial da Fundição - ESF (2007), que apurou, através da utilização de questionários, os aspectos produtivos e tecnológicos do setor de fundição brasileiro. Nesta dissertação foi adotado o mesmo instrumento da pesquisa anterior, para apuração dos aspectos ambientais e energéticos e, de forma resumida o perfil produtivo, considerando que o número de empresas respondentes seria diferente do estudo anterior, mesmo tendo sido contatada a mesma base de empresas.

1.6.1 - Etapas percorridas

A partir da definição que seria dada continuidade ao levantamento realizado no ESF (2007), enfocando os aspectos ambientais e energéticos, identificou-se a possível relação entre os impactos ao meio ambiente e a implementação de inovações tecnológicas, e se a adoção de novas tecnologias de produto e processo contribui para a redução dos impactos ambientais e para a conservação de energia.

Foi realizado, primeiramente, um levantamento bibliográfico não estruturado da literatura disponível, com o objetivo de conhecer o que já havia sido publicado sobre as fundições, quais os critérios mais relevantes no atual contexto produtivo e mercadológico mundial, visando coletar informações sobre os processos produtivos, as inovações tecnológicas e as questões relacionadas ao meio ambiente que estão diretamente relacionadas às fundições.

O levantamento teórico estruturado, disponível no Apêndice 2, foi desenvolvido utilizando a base Capes (periódicos) e a base Scielo.

A metodologia escolhida para o desenvolvimento desta dissertação foi a mesma adotada pelo ESF (2007): a utilização de questionário para coleta dos dados.

Considerou-se o acesso a mesma base de empresas do estudo anterior para o desenvolvimento do presente estudo.

A atual pesquisa contou com algumas restrições, quando comparada com a pesquisa anterior. Os questionários do ESF foram aplicados pessoalmente, utilizando equipes de trabalho que se dividiram por regiões, através de um consórcio de cinco instituições de pesquisa. Na atual pesquisa, a mão-de-obra disponível não foi equivalente ao estudo anterior, assim como o tempo para levantamento dos dados. Assim, foi desenvolvido um questionário *online*, a ser preenchido pela internet (Apêndice 1), que possui sua estrutura detalhada no Capítulo 5 desta dissertação. As empresas foram contatadas individualmente por telefone e por e-mail e o questionário não foi identificado, para preservar as empresas quanto às informações prestadas.

Foram realizadas, no início da pesquisa, visitas exploratórias, a fim de identificar o perfil produtivo das empresas, conhecer os insumos utilizados, as máquinas e equipamentos e características gerais das fundições. Posteriormente, foram realizadas visitas técnicas, a fim de entender o comportamento quanto às questões ambientais e energéticas. As visitas auxiliaram na posterior análise dos questionários. Foram visitadas, também, duas escolas de fundição, o SENAI/Itaúna e o SENAI/Cláudio, em Minas Gerais. Também foi visitado o aterro industrial localizado em Itaúna/MG.

A Figura 1 apresenta o fluxograma detalhado, com as etapas de desenvolvimento deste trabalho.

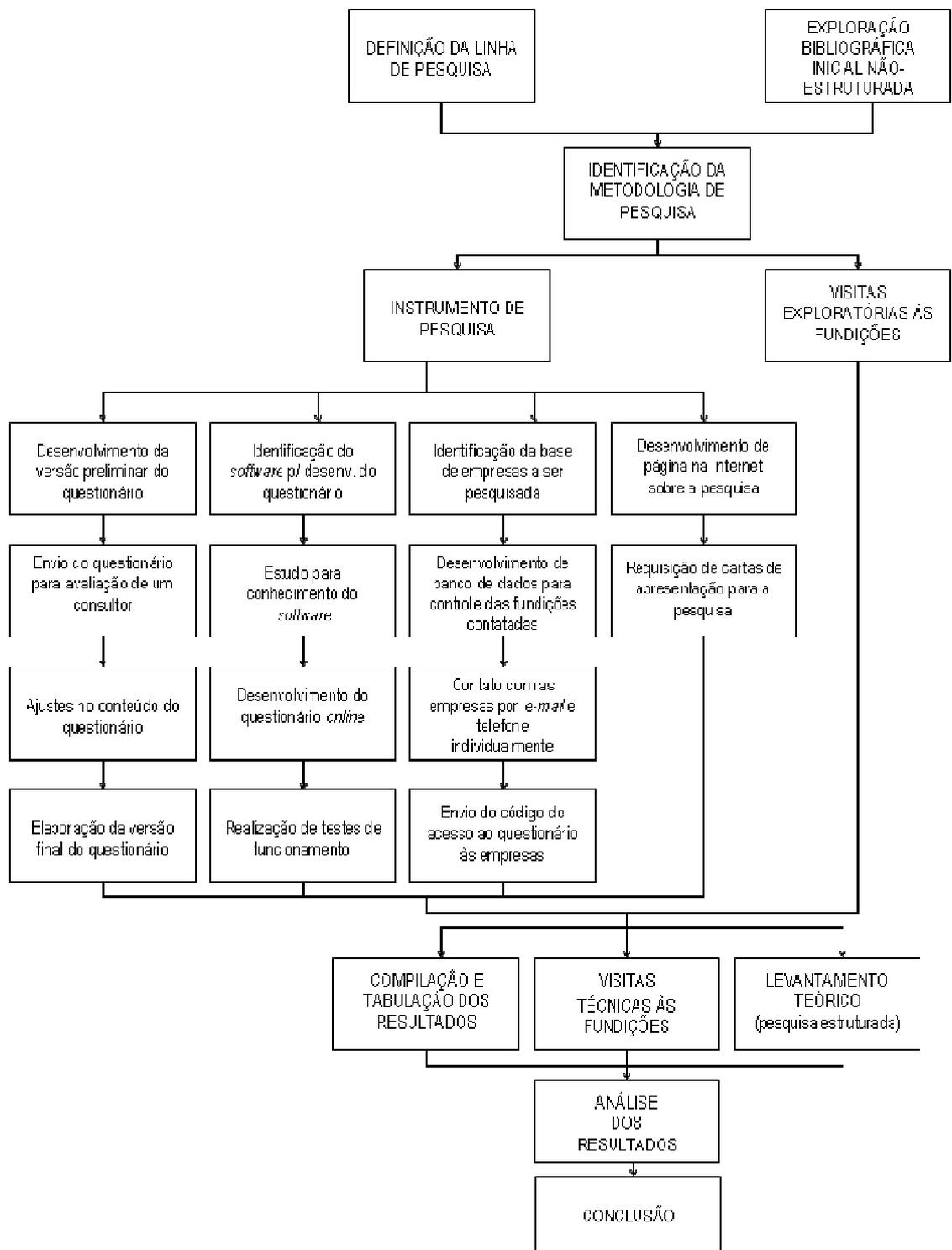


Figura 1 – Fluxograma detalhado das etapas da pesquisa

1.6.2 - Referencial teórico

O Estudo Setorial da Fundação - ESF (2007), intitulado “censo das fundições”, foi a publicação utilizada como ponto de partida para a pesquisa desenvolvida. Este estudo mapeou as empresas de fundição do país, traçando seu perfil produtivo e tecnológico. Foram investigadas condições de produção e o desenvolvimento tecnológico das indústrias, incluindo seu processo de geração, difusão e incorporação de tecnologias no aparato produtivo, com ênfase na avaliação do processo de inovação. Parte-se do princípio de que a excelência ou a insuficiência tecnológica influi diretamente na competitividade interna e externa das empresas, daí a ênfase atribuída aos aspectos tecnológicos, sobretudo nos processos de introdução e gestão de inovações. Foram abordados aspectos relativos à gestão da qualidade, do meio ambiente e dos recursos humanos, também entendidos como relevantes para a competitividade das empresas.

O Manual de Oslo (OCDE, 2005), que atualmente está na sua 3ª edição, é estruturado em torno das atividades de inovação tecnológica nas empresas, particularmente inovações de produtos e processos (TPP), e representa uma importante fonte internacional de diretrizes sobre atividades inovadoras nas empresas industriais. Foi adicionado, nesta última revisão do Manual, a questão das inovações não-tecnológicas, incluindo a inovação de marketing e inovação organizacional. Esta publicação aborda a dimensão sistêmica da inovação, com o objetivo de refinar conceitos existentes e questões metodológicas, tais como a mensuração dos insumos e resultados da inovação, e também a melhoria dos métodos de coleta de dados.

No Brasil, a PINTEC, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), define suas diretrizes conceituais e metodológicas segundo o Manual de Oslo, apresentando a evolução da inovação tecnológica em diversos setores industriais, inclusive metalurgia e fundição. A última edição da PINTEC, referente ao período de 2006-2008, foi publicada em 2010. As três edições anteriores abrangeram os períodos de 1998-2000, 2001-2003 e 2003-2005.

Tether (2003) destaca que a inovação é amplamente percebida pelas empresas e países como fundamental para a competitividade, porém existe frequentemente uma confusão entre inovação e as realizações que ocorrem nas empresas. A inovação é o impacto ou a consequência das realizações, que contribui para a redução dos custos pelo aumento da eficiência, sendo que as empresas

inovadoras possuem maior desempenho e crescem mais rapidamente que as não-inovadoras.

Freeman e Soete (2000), destacam que a inovação tecnológica é impulsionada por descobertas científicas, mas também induzida pela demanda. O desenvolvimento da ideia de potencial econômico em novos produtos e processos exige muitas etapas de experimentação em que as possibilidades de mercado interagem com a ideia original. A maior dificuldade para a política ambiental é a forma de promover o desenvolvimento sustentável dentro de uma economia de mercado, que seleciona os critérios ambientais na base da lucratividade, que por sua vez é influenciado pela demanda.

Braga *et al.* (2005), procura dar uma visão sistêmica das opções de desenvolvimento atópico com respeito ao meio natural, analisando a oferta de recursos ambientais e seu metabolismo de equilíbrio e a contínua evolução tecnológica baseada em princípios de gestão integrada. Em qualquer sistema natural, matéria e energia são conservadas, sendo que a qualidade da energia sempre se degrada de maneiras mais nobres para as menos nobres. O fato de não ser possível consumir a matéria até a sua aniquilação implica na geração de resíduos, indesejáveis, que precisam ser reincorporados ao meio, reduzindo a extração dos recursos naturais não renováveis e, conseqüentemente, a degradação ambiental.

O Apêndice 2 apresenta um levantamento bibliográfico estruturado, com base nos periódicos disponíveis no portal CAPES (<http://www.periodicos.capes.gov.br>), nas bases *Science Direct* e *ISI of Knowledge*, além da busca realizada na base *Scielo - Scientific Electronic Library Online*.

1.7 – Estrutura da dissertação

Esta dissertação está dividida em sete capítulos, incluindo esta introdução, que contextualiza a questão das inovações tecnológicas e os aspectos ambientais e energéticos no setor de fundição brasileiro, apresentando a definição do problema, o tema, os objetivos gerais e específicos, a justificativa e a metodologia de pesquisa utilizada.

O capítulo 2 apresenta o panorama mundial da indústria da fundição, destacando os principais países produtores de fundidos e o posicionamento do Brasil

em relação ao mercado mundial. Também é apresentada a distribuição geográfica das indústrias de fundição no Brasil; os segmentos do mercado de fundição, que compõem o mercado nacional; e, os principais processos de fundição.

O capítulo 3 aborda a questão da inovação tecnológica, definindo-a, apresentando seu perfil na indústria de fundição brasileira e destacando as novas tecnologias de produto e processo implementadas no setor.

O capítulo 4 apresenta o sistema produtivo das fundições enquanto um sistema aberto, delimitando os elementos que compõem cada etapa do processo produtivo, o perfil do gerenciamento ambiental e energético das empresas do setor, a legislação ambiental e normas de certificação. São abordadas as tecnologias atuais para minimização de resíduos e prevenção à poluição e discutida a importância da utilização de tecnologias limpas para o meio ambiente.

O capítulo 5 apresenta a metodologia utilizada para a elaboração e aplicação do instrumento de pesquisa adotado, os resultados obtidos com o levantamento realizado e, posteriormente, a sua análise.

O capítulo 6 apresenta as considerações finais com as conclusões deste trabalho e aborda os possíveis desdobramentos futuros a partir da pesquisa realizada.

O capítulo 7 apresenta as referências bibliográficas.

Capítulo 2

O SETOR DE FUNDIÇÃO

O setor de fundição compreende o conjunto de estabelecimentos industriais que utiliza o processo de fundição para a produção de peças metálicas, através da fusão de ferro, aço ou metais não-ferrosos (alumínio, zinco, cobre, etc.), derretendo o material, vazando-o e deixando-o solidificar em moldes, de forma que a forma da cavidade do molde determina a forma do objeto. A peça conformada diretamente a partir do metal líquido distingue o processo de fundição dos demais processos de conformação de metais, devido à versatilidade na produção de variados tipos de peças, inclusive as de maior complexidade, que não seria possível ser produzida se não fosse através de um processo de fundição.

A participação brasileira na produção de fundidos, a nível mundial, tem crescido. A tendência internacional é transferir a produção de fundidos para os países em desenvolvimento, devido ao relativamente baixo custo da mão-de-obra e às regras menos severas de controle ambiental vigentes nestes países. Com isto, o produtor brasileiro tem investido na exportação, o que representa um incentivo à melhoria da qualidade de processos e produtos (SOARES, 2000).

Este setor tem um papel relevante na indústria, principalmente por participar da cadeia produtiva do complexo metal-mecânico, considerada uma das mais importantes da indústria manufatureira mundial. Fazem parte do complexo metal-mecânico, segundo Alberton *apud* Cardoso Jr. (2000), os seguintes setores: siderurgia; metalurgia dos não ferrosos; fabricação de outros produtos metalúrgicos; fabricação e manutenção de máquinas e tratores; fabricação de automóveis; caminhões e ônibus; e fabricação de outros veículos, peças e acessórios. Pode-se dizer que o complexo metal-mecânico constitui um conjunto diversificado de setores de atividades econômicas, que têm como característica comum o fato de que os bens por eles produzidos consolidam tecnologias em que os conhecimentos e técnicas, relacionados com a produção, o processamento e a utilização de metais e/ou com características estruturais desses materiais, constituem uma componente dominante.

2.1 – Panorama mundial da indústria da fundição

No cenário mundial, a produção de fundidos concentra-se em dez países, responsáveis por 88% da produção total global, dentre os quais o Brasil encontra-se na 7ª posição. A Tabela 1 apresenta o *ranking* dos países que se destacaram em 2009 como maiores produtores de fundidos e o Gráfico 1 apresenta a participação percentual dos dez maiores produtores mundiais de fundidos em relação a produção global, correspondente a 80.300.000 toneladas, de acordo com o 44º Censo mundial da produção de fundidos (2010).

Tabela 1 – Dez maiores produtores mundiais de fundidos

	<i>País</i>	<i>Produção total (toneladas)</i>
1º	China	35.300.000
2º	Índia	7.400.000
3º	Estados Unidos	7.400.000
4º	Japão	4.400.000
5º	Rússia*	4.200.000
6º	Alemanha	3.900.000
7º	Brasil	2.300.000
8º	Coréia	2.100.000
9º	França	1.740.000
10º	Itália	1.670.000

Fonte: Elaboração própria (com base nos dados apresentados pelo 44º Censo mundial da produção de fundidos) – valores arredondados

A China lidera o *ranking* dos 10 maiores países produtores mundiais de fundidos desde 2001, quando ocupou o lugar dos Estados Unidos. Hoje, a produção chinesa de fundidos é desproporcionalmente maior, comparando com qualquer outro país do mundo, tanto em relação a sua produção quanto em relação ao número de plantas industriais. Sua produção total corresponde a 44% da produção global, sendo 4,8 vezes maior que a segunda colocada no *ranking*, a Índia.

A China apresentou um crescimento acelerado nas últimas décadas, seu mercado é extremamente competitivo, capaz de produzir em escala global, a baixo custo e com crescentes padrões tecnológicos (MATTOS *et al.*, 2008).

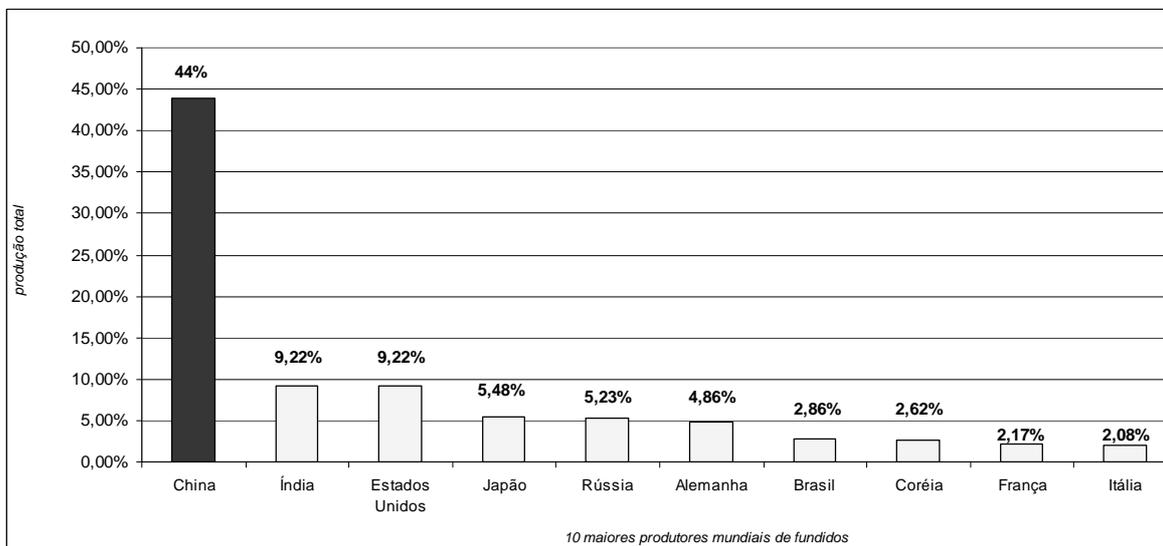


Gráfico 1 – Participação percentual dos países na produção mundial de fundidos

Fonte: Elaboração própria (com base nos dados do 44º censo da produção mundial de fundidos)

A Índia é o segundo país produtor de fundidos no mundo, ocupando o lugar dos Estados Unidos, que liderava esta posição desde 2001. Em 2009, a produção de fundidos da Índia foi de 7.443.200 toneladas, enquanto a produção dos Estados Unidos foi de 7.408.069 toneladas, uma diferença mínima que colocou os Estados Unidos na terceira posição. A Índia subiu da quarta posição em 2008 para a segunda em 2009, aumentando sua produção total em 1,1%.

A Rússia manteve sua produção de 7.800.000 toneladas em 2007 e 2008, mas em 2009 reduziu sua produção 46,2%, ficando abaixo da Índia e do Japão. Passou da posição de terceiro maior produtor de fundidos em 2007 para ser o quinto produtor mundial em 2009, considerando que houve a redução de 300 indústrias de fundição naquele país.

A Alemanha é a sexta maior produtora mundial de fundidos e a maior produtora por planta industrial. Sua produção total reduziu 32,5% de 2008 para 2009, segundo dados do último censo. Esta mesma situação é compartilhada pela França, que possui a segunda maior produção por planta, mas reduziu sua produção total em 27,3%. A produtividade média da Alemanha é, aproximadamente, 60% maior que da França, conforme destacado no Gráfico 2.

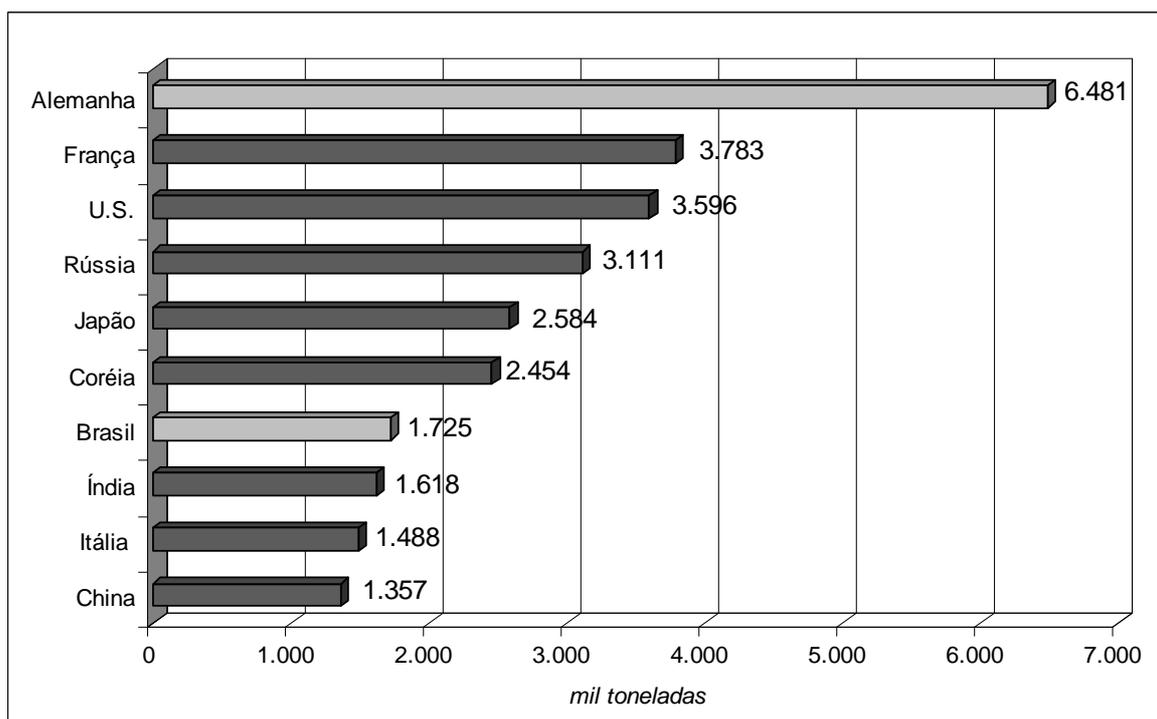


Gráfico 2 – Produtividade média das fundições por plantas industriais
 Fonte: Elaboração própria (com base nos dados do 44º censo da produção mundial de fundidos)

Dos 10 maiores produtores mundiais de fundidos, apenas três países mantiveram suas posições no *ranking*: China, Brasil e França. Sete países deslocaram-se para cima ou para baixo, refletindo a flutuação do mercado no período de 2008 para 2009. Apenas três países aumentaram a produção de fundidos neste período: China, Índia e Coreia. Os demais países que ocupam posição no *ranking* dos 10 maiores produtores mundiais tiveram redução em sua produção total.

No *ranking* mundial, a Rússia teve a maior queda, porém a produção deste país, apresentada no censo de 2009, é referente ao ano de 2007 e não de 2008, como dos demais países que fizeram parte daquele censo. Este fato pode distorcer o valor da real variação de um ano para outro em relação à Rússia. De qualquer forma, a queda da sua produção no intervalo de 2007 para 2009 foi de 46,1%, com uma redução de 300 instalações de fundição em 2009. Japão e França tiveram queda na produção variando entre 22 e 27%. Brasil, Alemanha e Itália tiveram queda variando entre 31 e 37%.

2.2 – Posicionamento do Brasil em relação ao mercado mundial

Segundo o 44º censo da produção mundial de fundidos, o Brasil possui um total de 1.331 indústrias em operação, sendo 552 de metais ferrosos, 191 de aço e 588 de metais não-ferrosos. O setor mobiliza em torno de 63 mil postos de trabalhos diretos, destacando-se no uso intensivo de mão-de-obra e por suas matérias-primas, todas de origem nacional, que lhe conferem independência do mercado externo.

A produção nacional encontra-se pulverizada nas indústrias de pequeno e médio porte, com predomínio do capital nacional, localizadas principalmente nas regiões Sudeste e Sul do país. A indústria de grande porte (capacidade instalada acima de 30.000 t/ano) é minoria em número de plantas industriais, mas estas são responsáveis pela maior parcela da produção nacional, atendendo principalmente ao setor automobilístico. O Gráfico 3 apresenta a participação das fundições, de acordo com sua capacidade instalada, no total da produção nacional.

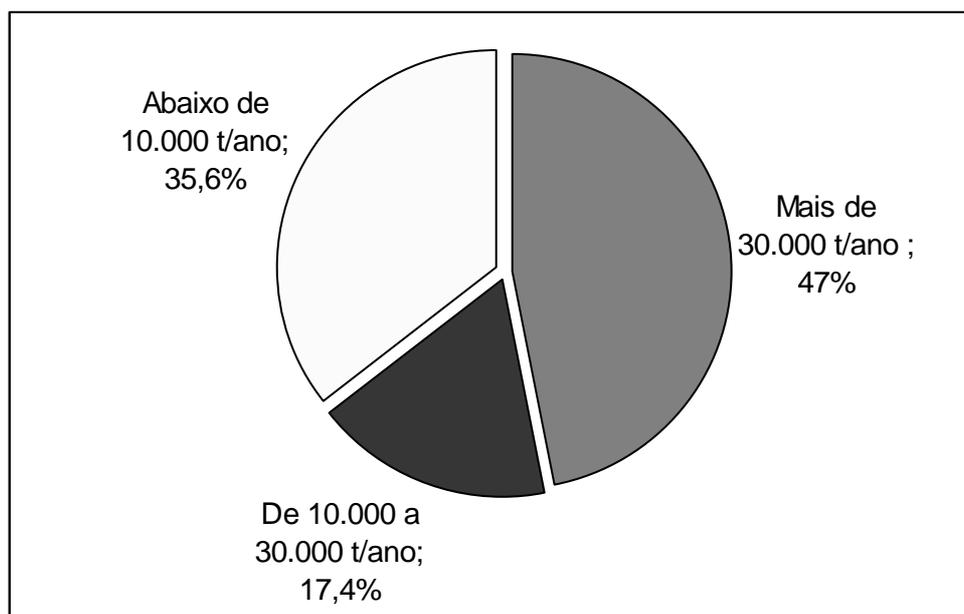


Gráfico 3 – Distribuição da produção de fundidos por faixa de capacidade instalada

Fonte: ESF (2007)

De acordo com o último censo, o Brasil é o 7º produtor mundial de fundidos, tanto por produção total quanto por planta industrial (Gráficos 1 e 2). Sua produção total referente a dezembro de 2009 foi de 2.296.916 toneladas, incluindo metais ferrosos e não-ferrosos, sendo 1,9 milhões de toneladas de ferro, 170.000 toneladas

de aço e 210.000 toneladas de não-ferrosos. A produtividade média do Brasil, por planta industrial, é de 1.725 mil toneladas por planta.

Segundo a ABIFA (2010), a importação de fundidos em bruto, atualmente é irrelevante, mas vem ocorrendo com peças acabadas e de forma indireta na importação de conjuntos completos como: motor e componentes automotivos, bens de capital, veículos montados, etc. Quanto às exportações, estas crescem gradativamente, conforme Gráfico 4, com ressalva para os efeitos da crise internacional no ano de 2009. O grande desafio brasileiro é passar a produzir e exportar produtos de maior valor agregado, com mais conhecimento incorporado e, portanto, mais competitivos (MATTOS *et al.*, 2008).

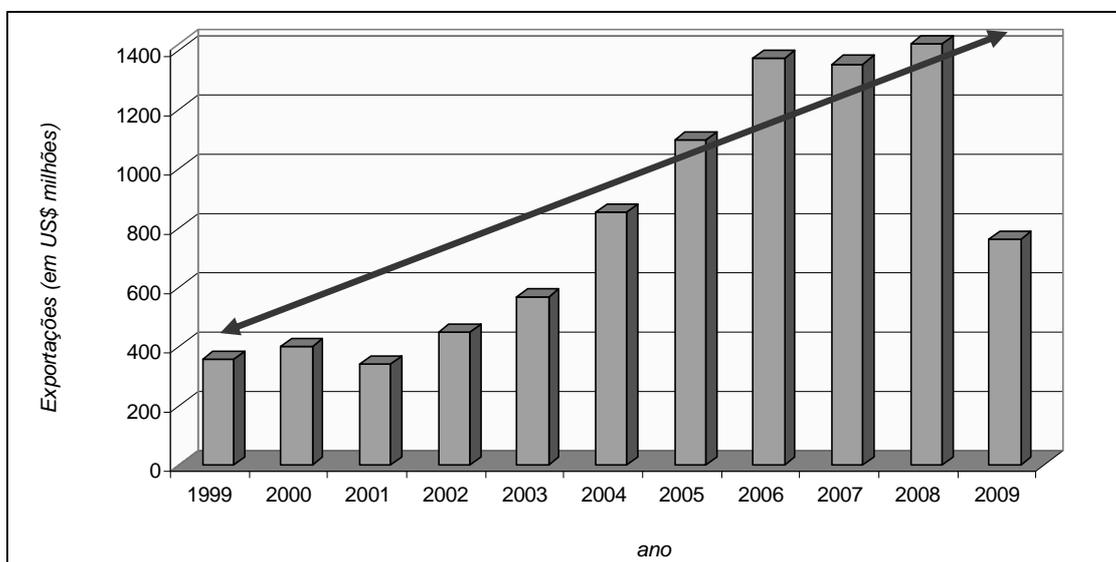


Gráfico 4 – Exportação brasileira de fundidos
Fonte: Anuário ABIFA (2010)

A produção do Brasil apresentou crescimento acelerado nos últimos anos, ultrapassando 3 milhões de toneladas a partir de 2006 (ABIFA, 2010). Porém, de acordo com o último censo mundial, o Brasil manteve a sua posição no *ranking*, mas sua produção total reduziu 31,5%, passando de 3.400.000 toneladas em 2008 para 2.300.000 toneladas em 2009. Segundo Sanches (2011), o principal prejuízo à indústria brasileira são as importações de produtos de aço, em grande parte devido ao preço do produto fabricado no Brasil. Segundo estatísticas comparativas da ABIFA, só o setor automotivo foi responsável, nos últimos quatro anos, pela importação de um milhão de toneladas de peças fundidas, o que contribuiu significativamente para a redução da produção nacional, conforme apresentado no Gráfico 5, representando um

impacto na indústria nacional. As compras de fornecedores internacionais, por parte das montadoras instaladas no Brasil, passaram de 5% em 2005 para 20% em 2010. A queda na produção brasileira se deve ao aumento das importações, principalmente vindas da China e trazidas pela indústria automobilística, considerando que o custo do aço nacional é 51% mais caro que o chinês.

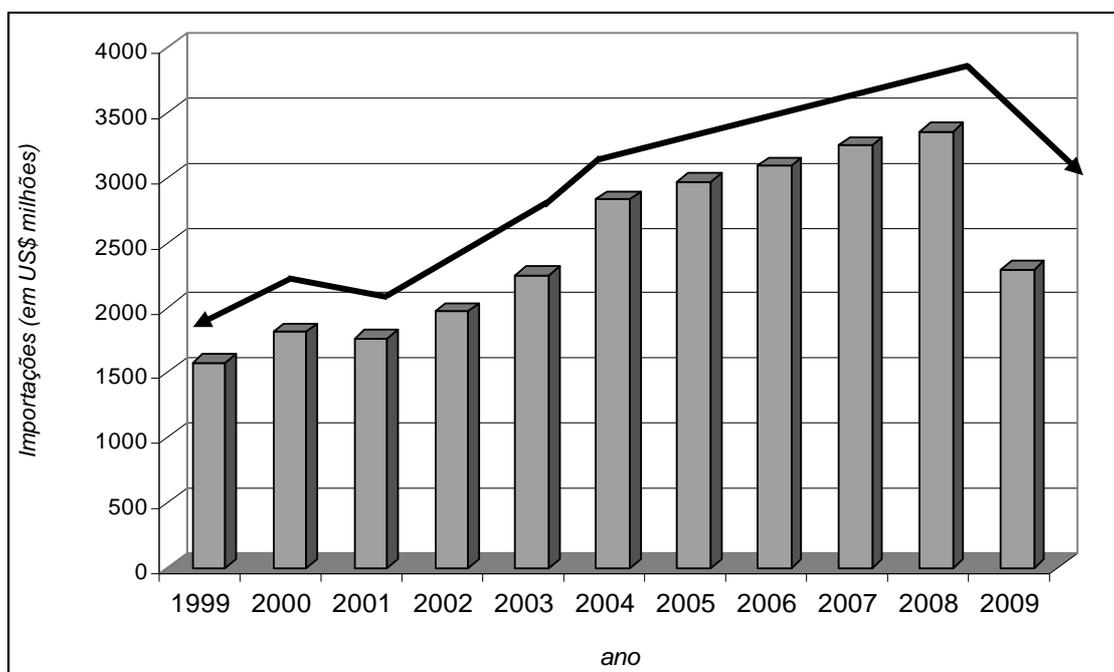


Gráfico 5 – Importação brasileira de fundidos
Fonte: Anuário ABIFA (2010)

Para aumentar os níveis de competitividade da indústria brasileira em relação aos concorrentes estrangeiros, o Conselho de Ministros da Câmara do Comércio Exterior (CAMEX), optou pelo aumento da alíquota do imposto de importação aplicada aos moldes e ferramentas para o setor de fundição, passando de 14% para 25% e 35%, respectivamente (MDIC, 2010). Muitas empresas brasileiras chegam a operar apenas com 40% da capacidade instalada e o segmento de moldes e ferramentas é considerado a base para o surgimento da indústria automotiva tecnologicamente eficiente e comercialmente competitiva. Houve um aumento expressivo na compra desses bens importados, enquanto a indústria brasileira que opera nessa área está atuando com metade da capacidade ociosa. A medida, porém, não afeta os produtos que não tem similares no MERCOSUL (ABIFA, 2011).

Da produção nacional de fundidos, 58% destinam-se à indústria automotiva, abastecendo fabricantes de componentes automotivos, autopeças e as próprias montadoras de automóveis, caminhões, ônibus e tratores. Este segmento dá mostras

do potencial do mercado brasileiro com os investimentos realizados e a presença em nosso país de montadoras da Europa, Ásia e Estados Unidos. A qualidade dos fundidos brasileiros tem transformado o país em fornecedor mundial dessas empresas, porém a atual política de importações beneficia unicamente as montadoras e penalizam seriamente toda a cadeia produtiva do setor automotivo, gerando concorrências predatórias e promovendo a desindustrialização (BRICHESI, 2011).

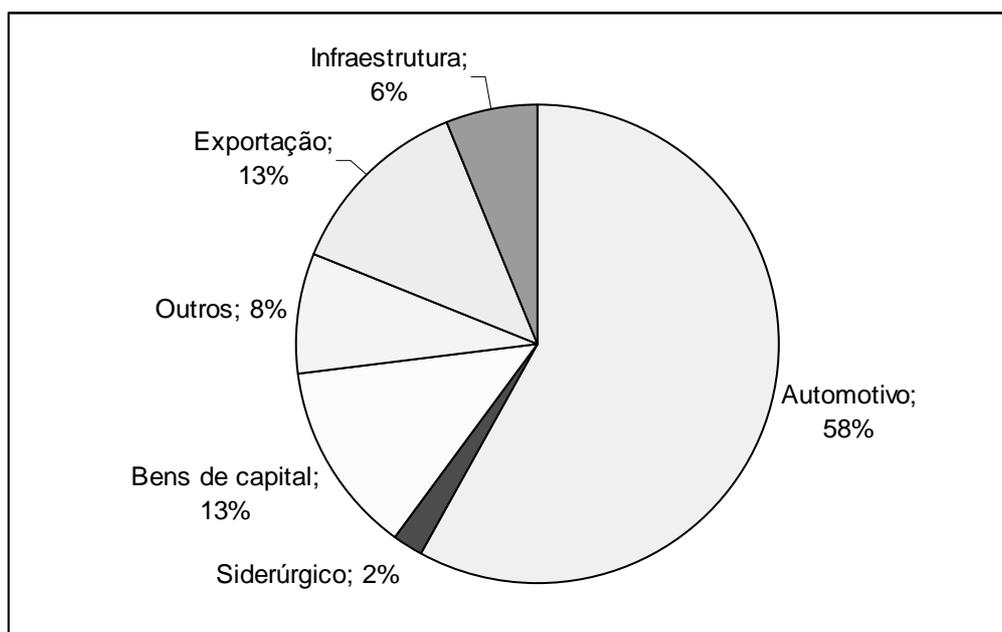


Gráfico 6 – Distribuição setorial de vendas de fundidos brasileiros (%)
Fonte: ABIFA (2010)

A competitividade das empresas está diretamente ligada à intensidade do processo de inovação. A geração de inovação depende fundamentalmente da iniciativa das empresas, tendo esta um papel estratégico na construção das bases para o aumento da produtividade e, conseqüentemente, do crescimento econômico e da participação brasileira no mercado global (CNI, 2005).

2.3 – Distribuição geográfica das indústrias de fundição no Brasil

A produção de fundidos no Brasil está concentrada nas Regiões Sudeste e Sul, principais demandantes de fundidos, dada a importância das indústrias metal-mecânica e automotiva nessas regiões. Segundo dados de 2007, o estado de São Paulo é o maior produtor de fundidos, respondendo por 36% da produção nacional. Somando-se a produção da Região Centro-Oeste à de Minas Gerais, obtém-se 28%

do total nacional, mesmo percentual alcançado pela Região Sul. O estado do Rio de Janeiro responde individualmente por 6%, enquanto as Regiões Norte e Nordeste, em conjunto, representam 2,5% (CASOTTI *et al.*, 2010).

Região Sudeste: A principal produtora de fundidos no país. Segundo o ESF (2007):

- Em São Paulo encontra-se toda diversidade possível quanto ao porte das empresas, tipos de ligas produzidas, nível tecnológico e mercados atingidos. A maioria das unidades encontra-se no interior do Estado. Dentre as poucas unidades localizadas na Capital, predominam as que produzem ligas não-ferrosas.
- Minas Gerais é o pioneiro no setor de fundição no Brasil e tem o segundo parque fundidor do país em número de empresas e possui os melhores índices de produtividade. No Estado predominam as microempresas (70%) e processos manuais. Suas empresas estão igualmente distribuídas, havendo maior concentração em três conjuntos principais no Centro-Oeste e Zona da Mata do Estado.
- No Rio de Janeiro e Espírito Santo, a indústria de fundição é pouco representativa quando se considera o universo de fundições do país. Estes Estados comportam empresas com perfil bastante heterogêneo, compondo-se de uma maioria de pequenas empresas e uma grande fornecedora do setor automotivo.

Região Sul: Esta Região ocupa o 2ª lugar no ranking da produção nacional de fundidos. É importante ressaltar que esta Região possui em torno de 30% do número de empresas e, aproximadamente, 45% da produção das empresas da amostra nacional (ESF, 2007). Nos últimos 15 anos houve um deslocamento da produção para a Região Sul, embora São Paulo ainda se destaque como o principal produtor. A desconcentração da indústria automotiva nas últimas décadas e a consolidação (fusões e aquisições) da indústria de fundição, especialmente no Sul, explicam, em parte, esse movimento (CASOTTI *et al.*, 2010).

Regiões Norte e Nordeste: A maior parte das indústrias destas regiões são de pequeno porte. Concentram-se nos Estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. Há um *cluster* de empresas no Estado do Amazonas.

2.4 – Os processos de fundição

O processo de obtenção de peças fundidas consiste em preencher, por meio de um metal fundido, isto é, em estado líquido, um molde que reproduz exatamente a forma de tais peças. Este molde pode ser de areia, quando só pode ser utilizado uma única vez, denominado de moldes descartáveis; pode ser um molde metálico ou coquilha, que podem ser utilizados um grande número de vezes, recebendo o nome de molde permanente; ou, podem ser moldes mistos, isto é, pode-se moldar a parte exterior de uma peça em molde metálico ou coquilha e a parte interior pode ser obtida por meio de um macho de areia (TORRE, 2004).

Os machos são utilizados para produzir a geometria interna de uma peça a ser fundida. São formados basicamente por 1 ou 2% de aglutinante e areia. Esses machos são “curados” com calor ou com gás catalítico antes de serem retirados da caixa de machos, que cria sua forma. Um macho é utilizado apenas uma vez, assim como os moldes em areia verde.

Entre os fatores tecnológicos importantes na seleção de um processo de fundição estão o peso, o material, o acabamento e os detalhes na forma geométrica da peça, assim como as formas geométricas que não podem ser obtidas com o processo. Dentre os fatores de produção podem-se destacar a quantidade mínima a ser produzida, o tempo de preparação e a taxa de produção. Normalmente, os processos de produção são intensivos em mão-de-obra, exigindo pessoal qualificado em algumas de suas etapas. Há processos de fundição que exigem muita habilidade e conhecimento do operador. A perda de uma peça de grande porte no processo de fundição, decorrente de um defeito de fabricação acarreta um prejuízo enorme, uma vez que, além da mão-de-obra envolvida na preparação do molde, existe a perda de energia utilizada na fusão do metal (NAVEIRO, 2007).

A classificação mais comum em relação aos processos de fundição é por tipo de molde utilizado, pois este influencia as propriedades físicas do material que será fundido e, conseqüentemente, as características de cada tipo de peça produzida (SOARES, 2000). Uma vez que o processo de fundição tenha sido determinado, a escolha da liga fica limitada, pois nem toda liga pode ser usada com todos os métodos de fundição.

Normalmente a fundição se organiza em torno da moldação, pois é nessa seção que se define a quantidade de metal a fundir, os machos a produzir, etc. Entretanto, quando a fundição está trabalhando muito abaixo da sua capacidade instalada, o centro organizador da mesma se desloca da moldação para a fusão. Este procedimento permite economizar energia, através da concentração da fusão da carga metálica em determinados dias da semana, minimizando o custo das peças fundidas, além de aumentar a vida dos refratários. Neste esquema de produção, a fabricação de moldes e machos é feita de forma a atender ao planejamento das seções de fusão e vazamento (SOARES, 2000).

São apresentadas, a seguir, quatro principais processos de fundição: em areia, em molde permanente, injeção e cera perdida.

2.4.1 – Processo em areia

A fundição em areia utiliza moldes descartáveis, que é feito de uma mistura de areia de fundição com um aglomerante e é destruído para a extração da peça. As fundições recuperam essa areia para a confecção de novos moldes, exceto os processos que envolvem resina fenólica como aglomerante, para os quais a areia não pode ser reutilizada. Apesar de as fundições reutilizarem a areia dos moldes para enchimento das caixas, uma pequena quantidade de areia nova é sempre adicionada ao processo. Portanto, a areia de fundição é considerada um dos principais problemas ambientais do setor (NAVEIRO, 2007).

O processo de moldagem em areia verde é utilizado para fabricar produtos como blocos de motor de ferro, discos de freio, válvulas, carcaças de motores e bombas, etc. Esse tipo de moldagem além de fundir ferro, também é utilizado na fundição de alumínio e cobre. A moldagem em areia que utiliza como aglomerante a resina são utilizados em operações de baixa produção ou na produção de grandes moldes, trabalhando tanto com metais ferrosos quanto não-ferrosos.

2.4.2 – Processo em molde permanente ou coquilha

Os moldes permanentes são utilizados na fundição de metais não-ferrosos, pois estes possuem temperaturas de fusão mais baixas que o ferro e o aço. Dispensam o uso da areia e das misturas para sua confecção e utilizam moldes metálicos para a produção de peças fundidas. Por esse processo realiza-se a fundição por pressão ou

por gravidade, ou seja, o metal pode ser pressionado para o preenchimento do molde ou ser vazado por gravidade (NAVEIRO, 2007).

Usar um molde permanente significa que não é necessário produzir um novo molde a cada peça que se vai fundir. A vida útil de um molde metálico permite a fundição de até 100 mil peças. Seu emprego está limitado a peças de tamanho pequeno e produção em grandes quantidades. Os moldes permanentes nem sempre se adaptam a todas as ligas metálicas e são mais usados para a fabricação de peças de formatos mais simples, porque uma peça de formas complicadas dificulta não só o projeto do molde, mas também a extração da peça após o processo de fundição. Dentre os produtos típicos deste tipo de fundição, pode-se destacar: bases de máquinas, blocos de cilindros de compressores, cabeçotes, bielas, pistões, etc.

2.4.3 – Processo por injeção

O processo de fundição por injeção é um processo similar ao processo da coquilha, porém o molde é mecanizado, chamado de matriz. Existem menos restrições à geometria das peças, pois a matriz geralmente é construída em duas partes hermeticamente fechadas no momento do vazamento do metal líquido. A pressão é mantida até que o metal se solidifique. Então, a matriz é aberta e a peça ejetada por meio de pinos acionados hidráulicamente. Para realizar sua função, as matrizes têm que ter resistência suficiente para aguentar o desgaste imposto pela fundição sob pressão.

A indústria automotiva utiliza uma grande quantidade de peças fundidas sob pressão, dentre elas, tampas de válvulas, fechaduras, carcaças de motor de arranque, maçanetas, caixas de câmbio de máquinas agrícolas, etc., representando um processo muito importante para a indústria metal-mecânica.

2.4.4 – Processo em cera perdida

O processo em cera perdida é um processo de fundição de precisão. Os modelos são construídos em cera, a partir de uma matriz metálica formada por uma cavidade com formato e dimensões da peça desejada. O molde é produzido a partir de uma pasta/lama refratária com sílica ou zirconita, na forma de areia muito fina, misturada com água. Esta lama endurece em contato com o ar e é nela que o

modelo é mergulhado. Quando a lama endurece em volta do modelo, forma-se um molde rígido, que será destruído após vazamento do metal líquido. Por causa das características desse processo, ele é chamado de fundição por moldagem em cera perdida.

Segundo Torre (2004), quando um modelo ou caixa de machos possui alguma parte que é impossível retirar do molde ou do macho por risco de quebrar a peça ou porque o desenho da peça impossibilita a sua retirada, é necessário substituir a parte “que não sai” por uma parte análoga feita de cera. Ao fundir-se a cera, esvazia-se o espaço que esta ocupava, conseguindo-se o molde correspondente.

Este processo é utilizado na produção de peças estruturais para a indústria aeronáutica, para motores de avião, equipamentos de informática, equipamentos médicos, odontológicos, ópticos, jóias e outros.

Capítulo 3

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

A inovação tecnológica tem sido tratada na bibliografia nacional e internacional sob diferentes óticas, com base em estruturas conceituais e abordagens teóricas diversas. Em sua origem, a primeira análise do processo de inovação está ligada a teoria do desenvolvimento econômico do economista austríaco Joseph Schumpeter (1932), que cunhou o termo “destruição criadora”, expressão que designa o processo de evolução da indústria visto como de recriação permanente do seu sistema de acumulação sob as bases da destruição das antigas formas de organização industrial. Schumpeter foi o primeiro a ver que a força competitiva de uma empresa estava na sua capacidade de inovação, como um processo de seleção natural, onde a competição destrói os mais fracos e só os mais fortes sobrevivem.

A capacidade de inovar é a chave para a vantagem competitiva, sendo a habilidade das empresas um fator essencial para controlar e explorar as trajetórias tecnológicas, que depende do desenvolvimento de competências específicas a nível tecnológico, organizacional e gerencial (TIDD *et al.*, 2005). E, para transformar as inovações desenvolvidas em vantagens competitivas é essencial saber articular conhecimentos tecnológicos com capacidade organizacional interna e visão do mercado além de dispor de uma estrutura de gestão que atenda às exigências do processo de inovação ao longo de suas diversas fases. As empresas devem definir rotinas que precisam ser pertinentes a cada etapa do processo de inovação e serem capazes de captar informações sobre oportunidades tecnológicas, alteração nas demandas dos compradores, mudanças regulatórias ou aparecimento de novos competidores (MACULAN, 2004).

A inovação, a pesquisa e o desenvolvimento são processos gerenciados e sistemáticos, focados na habilidade de aprendizado e adaptação. Na realidade, os avanços tecnológicos raramente acontecem por acaso, afirma Tether (2003). Para o autor, a inovação é o impacto ou a consequência das realizações, que contribui para a redução dos custos pelo aumento da eficiência, com resultados que beneficia a todos.

A integração de sistemas de pesquisa e desenvolvimento (P&D) formais com a indústria parece ser outro elemento importante, abandonando-se a ideia de Schumpeter do empreendedor individual. As atividades formais de P&D estão cada vez mais integradas ao sistema produtivo como uma ferramenta para aumento da concorrência, através da procura de novas oportunidades (D'AVIGNON, 2001).

O dinamismo oriundo do processo de inovação é associado, frequentemente, ao crescimento econômico e ao aumento do consumo, sendo considerada uma importante contribuição à degradação do meio ambiente. No entanto, a inovação deve ser considerada parte da solução potencial para uma série de questões ambientais, incluindo (BRESSANT; TIDD, 2007):

- Produtos “ecológicos” - com baixos impactos ambientais em todo o seu ciclo de vida;
- Processos mais eficientes - para minimização ou tratamento de resíduos, para reuso ou reciclagem;
- Tecnologias alternativas - para reduzir as emissões, utilizando energias renováveis;
- Novos serviços - para substituir ou reduzir o consumo de produtos;
- Sistemas de inovação - para medir e monitorar os impactos ambientais.

O caráter sistêmico da inovação facilita ação em relação ao meio ambiente, pois este também tem este perfil. Quanto mais rápido as tecnologias ambientalmente saudáveis forem desenvolvidas e difundidas, mais rapidamente pode-se reverter os processos de degradação. O que a empresa é capaz de fazer tecnologicamente no futuro está diretamente ligado às decisões e opções tecnológicas do passado. As mudanças tecnológicas e organizacionais são processos acumulativos e específicos do progresso tecnológico (D'AVIGNON, 2001).

As empresas inovadoras são, normalmente, as mais dinâmicas e rentáveis, sendo os principais vetores para a inovação, que conduz o processo de transformação e produção de conhecimentos tecnológicos, a competição crescente e a demanda por melhorias na produtividade. Nas economias mais avançadas, a inovação e as vantagens tecnológicas constituem a base da competitividade, enquanto nas economias em desenvolvimento o processo de mudança técnica se restringe à absorção e ao aperfeiçoamento de inovações geradas em outras economias (NAVEIRO; GOUVINHAS, 2010).

É importante entender o perfil das inovações tecnológicas no Brasil para compreender o direcionamento do setor de fundição e seu posicionamento em relação às questões relacionadas ao meio ambiente. As políticas de inovação e de tecnologia possuem um papel essencial no apoio às metas de desenvolvimento ambiental sustentável, devido à necessidade de inovar para substituir os métodos de produção não sustentáveis e os atuais padrões de consumo, como também pela necessidade de desenvolvimento e difusão de tecnologias ambientalmente amigáveis. A produção de resíduos que causam impactos ambientais deve ser gradualmente eliminada, através da utilização de métodos de prevenção de resíduos não-recicláveis. Esta é uma meta mais ambiciosa do que as políticas de controle específicas. Em cada caso, a parte vital da solução é a mudança tecnológica, através da difusão das melhores práticas tecnológicas e atividades inovadoras, que desenvolvem novas tecnologias (FREEMAN; SOETE, 2000).

As inovações são classificadas, segundo a Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico - OCDE, por meio do *Manual de Oslo* (2005), como inovações tecnológicas e não-tecnológicas. A inovação tecnológica é o processo pelo qual as empresas dominam e implementam o desenho e a produção de bens e serviços que são novos para elas, independentemente de serem novos para seus competidores, nacionais ou estrangeiros. Para uma empresa, a aquisição de uma tecnologia conhecida significa uma inovação, exigindo para sua adoção muitos trabalhos de assimilação e adaptação. Assim, atividades sumamente importantes, dedicadas à adaptação ou à melhoria marginal de tecnologias de produtos e processos – as quais muitas vezes não são novas – constituem uma inovação do ponto de vista da empresa (SÁENZ; CAPOTE, 2002).

Esta dissertação está voltada à análise das inovações tecnológicas de produto e processo (inovações TPP) em empresas de fundição brasileiras.

3.1 – Inovações tecnológicas de produto e processo (TPP)

A definição internacional de inovação tecnológica de produto e de processo pode ser compreendida como a introdução no mercado de um produto (bem ou serviço) tecnologicamente novo ou substancialmente aprimorado ou pela introdução na empresa de um processo produtivo tecnologicamente novo ou substancialmente aprimorado (OCDE, 2005). Pequenas mudanças no funcionamento de um produto, no

seu *design*, ou ainda mudanças na forma de se realizar um processo ou de se prestar um serviço, também são consideradas inovações tecnológicas (OKIDA, 2006).

Embora existam outras dimensões para a inovação, a introdução de novos produtos e novos processos são os resultados mais diretamente mensuráveis da atividade inovativa. O produto é essencialmente um conceito estático, sendo relevantes os aspectos relacionados às suas características técnicas e à sua utilidade. Os processos são “meios” e tendem a ser associados às transformações, que envolvem adição de valor. Os resultados dos processos das empresas são seus produtos (TETHER, 2003).

As atividades TPP (tecnológica de produto e processo) são todas as etapas científicas, tecnológicas, organizacionais, financeiras e comerciais, que de fato levam ou pretendem levar, à implantação de produtos ou processos tecnologicamente novos ou aprimorados. Algumas delas podem ser inovadoras por si mesmas, outras, embora não sejam novidades, são necessárias para a implantação, considerando a inovação como um processo sistêmico (OCDE, 2005).

3.1.1 – Inovação de produto

Uma inovação tecnológica de produto é a implantação ou comercialização de um produto (bens ou serviços) com características de desempenho aprimoradas, de modo a fornecer objetivamente ao consumidor serviços novos ou aprimorados (OCDE, 2005). Este tipo de inovação ocorre quando há mudança no que se faz, ou seja, desenvolvimento de novos produtos, os quais antes não existiam, ou melhoramento significativo de produtos já existentes, atendendo melhor às necessidades do mercado (MATTOS *et al.*, 2008).

Um produto novo é aquele que não existia anteriormente no mercado; em um sentido restrito, pode ser novo apenas para a organização que o produz. Sua utilização, características, atributos, propriedades, desenho, materiais ou componentes diferem significativamente de produtos fabricados anteriormente. Quando se fala de um produto *substancialmente melhorado*, é porque se conseguiu aprimorar qualitativamente suas características para oferecer aos consumidores ou usuários, produtos ou serviços novos ou de melhor qualidade (SÁENZ; CAPOTE, 2002).

São consideradas inovações de produto (OCDE, 2005):

- Uso de novos materiais;
- Uso de novos produtos intermediários;
- Novas peças funcionais;
- Uso de tecnologia radicalmente nova;
- Novas funções fundamentais (novos produtos fundamentais).

3.1.2 – Inovação de processo

Uma inovação de processo tecnológico é a implantação ou adoção de métodos de produção ou comercialização novos ou significativamente aprimorados. Ela pode envolver mudanças de equipamento, recursos humanos, métodos de trabalho ou uma combinação destes (OCDE, 2005). Este tipo de inovação ocorre quando há mudança no como se faz, aprimorando ou desenvolvendo novas formas de fabricação ou de distribuição de bens e novos meios de prestação de serviços.

A inovação de processos consiste na adoção de métodos, procedimentos, sistemas ou técnicas de produção novos ou melhorados, que podem incluir, entre outros, mudanças nos equipamentos, nas matérias-primas, nos materiais e nos fluxos de produção. As novas tecnologias de processo são desenvolvidas, em alguns casos, para fabricar produtos novos ou melhorados, que não poderiam ser obtidos utilizando os métodos de produção convencionais; em outros casos, para incrementar, entre outras coisas, a qualidade do produto e a produtividade, reduzir custos ou minimizar o impacto ambiental (SÁENZ; CAPOTE, 2002).

São consideradas inovações de processo (OCDE, 2005):

- Novas técnicas de produção;
- Novas características organizacionais (introdução de novas tecnologias);
- Novo *software* profissional.

3.2 – Grau de novidade das inovações tecnológicas

As inovações podem ser classificadas, segundo o grau de novidade, em incrementais ou radicais.

As inovações incrementais ocorrem de forma mais ou menos contínua em qualquer atividade industrial, dependendo do setor, do padrão de competitividade, das oportunidades tecnológicas, dos fatores socioculturais, etc. Essas inovações, normalmente, não são efeitos deliberados de atividades de P&D, mas o resultado de aprimoramentos sugeridos por engenheiros, *designers* e outros atores diretamente envolvidos com o processo produtivo, incluindo, em alguns casos, a incorporação de propostas formuladas por usuários (NAVEIRO; GOUVINHAS, 2010).

As inovações radicais constituem uma mudança histórica na maneira de fazer as coisas e, em geral, servem de base para um número elevado de inovações incrementais (SÁENZ; CAPOTE, 2002).

3.2.1 – Inovações incrementais

As inovações incrementais são aquelas que produzem melhorias nas tecnologias existentes, mas sem alterar suas características fundamentais, agregam valor, geram melhorias, modificam um produto ou processo já existente, que a partir de alguma mudança nos seus atributos originais, passam a ser percebidos com um diferencial em relação aos produtos ou processos concorrentes.

Em relação aos produtos, consiste na cópia de tecnologias adotadas por empresas competidoras, às quais se incorporam algumas melhorias funcionais, ergonômicas ou estéticas. Esse processo de cópia é conhecido como “engenharia reversa”, procedimento no qual se decompõe um produto em suas partes ou elementos constitutivos para estudar seus parâmetros, características e configurações, com o fim de aprender a reproduzi-los, promover algumas melhorias e desenvolver um produto diferenciado, em boa medida, do produto original (SÁENZ; CAPOTE, 2002).

Em relação aos processos, consiste na melhoria no que se faz e/ou aperfeiçoamento do modo como se faz, por acrescentar novos materiais, por utilizar novas máquinas ou equipamentos e outras medidas que tornam mais eficientes processos já anteriormente existentes.

Estas inovações ocorrem quando a base tecnológica é madura. Na fase de tecnologia madura, as inovações aparecem como sendo peças naturais da competição. Quanto mais madura a tecnologia, mais as inovações parecem ser

fenômenos “normais”, tendo por objetivo diferenciar produtos ou serviços já conhecidos ou melhorar a eficiência da produção e a qualidade dos produtos. Muitas inovações são os resultados de melhorias incrementais nos processos de fabricação que se acumulam ao longo do tempo e podem se transformar em mudanças tecnológicas profundas (MACULAN, 2002).

3.2.2 – Inovações radicais

As inovações radicais ocorrem quando as novas idéias resultam em produtos ou processos totalmente novos, que antes não existiam no mercado (MATTOS *et al.*, 2008). Geralmente se baseiam em novos conhecimentos científicos ou de engenharia; abrem novos mercados; novas indústrias ou novos campos de atividade nas esferas da produção. A partir de tais inovações, surgem produtos, serviços, processos de produção, de distribuição ou gerenciais totalmente novos e qualitativamente distintos de outros anteriores.

São eventos descontínuos, irregularmente distribuídos em setores e no tempo, indutores de uma quebra na estrutura passada de produção de bens e serviços. Tais inovações são vistas como o resultado de atividades de P&D deliberadas feitas em empresas e/ou universidades e institutos de pesquisa, e constituem a base para grandes melhoramentos nos produtos existentes, geralmente envolvendo um processo combinado de inovações técnicas e organizacionais (NAVEIRO; GOUVINHAS, 2010).

3.3 – Perfil das inovações tecnológicas na indústria de fundição brasileira

Os atuais mercados das fundições estão se modificando e novos mercados devem surgir. Para se manter competitiva, a indústria deve continuar a desenvolver técnicas para melhorar os produtos e processos que são oferecidos aos consumidores (ZANETTI; FIORE, 2003). Não se trata da crença de que a tecnologia será a solução dos problemas ambientais existentes, mas sim a procura de alternativas para tecnologias inadequadas ambientalmente. O progresso técnico deve ser direcionado para tecnologias ambientalmente corretas, sendo imprescindível o conhecimento do processo de inovação para a determinação de uma ação sólida no setor produtivo para torná-lo ambientalmente sustentável a longo prazo. A maneira

como se dá o processo de inovação define, conseqüentemente, a forma como se utilizam os recursos naturais (D'AVIGNON, 2001).

As inovações são definidas de acordo com trajetórias fortemente determinadas pela base tecnológica utilizada, pelo setor de atuação, pela história da empresa e pelas relações preferenciais com outras empresas. Não há um estoque de tecnologias disponíveis a serem escolhidas. Pelo contrário, as empresas fabricam ou produzem bens parecidos segundo métodos de produção tecnicamente diferentes. Elas inovam na base de uma tecnologia própria, mas imitando métodos utilizados por outras firmas e incorporando conhecimentos disponíveis publicamente, mas selecionados em função dos objetivos perseguidos (MACULAN, 2002).

Uma atitude pró-ativa pode construir, a médio e longo prazo, vantagens competitivas e, para as empresas que atuam proativamente, começam a se abrir “janelas de oportunidades” sobre a questão ambiental. A seguir, identificam-se alguns sinais que ajudam a compor o quadro de probabilidades e tendências para o futuro, no que concerne às questões ambientais (LEMOS; NASCIMENTO, 1999):

- Os ecoprodutos, produtos verdes ou *environmental friendly* (amigos do meio ambiente) começam a surgir com força e sinalizam que está surgindo um novo paradigma de consumo;
- Uma pesquisa de mercado, elaborada pelo Instituto Gallup e realizada com 22 países (ricos e pobres), indicou que 53% dos entrevistados disseram estar dispostos a pagar um preço mais alto pela proteção do meio ambiente. Também responderam assim 71% dos brasileiros pesquisados;
- Em termos estratégicos e mercadológicos, os produtos “verdes” podem ser utilizados como característica de diferenciação, podendo também reduzir os custos de produção da empresa;
- O *Market-Based Environmentalism* (MBE) ou Mercado baseado no ambientalismo é um paradigma emergente. Ele desafia a visão ortodoxa de que objetivos ecológicos e objetivos de mercado são incompatíveis;
- Em termos econômicos, mercadológicos e ambientais, é muito menos dispendioso prevenir a poluição do que recuperar áreas ambientalmente degradadas e imagens empresariais corrompidas por acidentes ecológicos;
- A questão ambiental pode ser vista como forma de reduzir custos. Visto que a maioria dos processos produtivos atualmente utilizados é intensiva em utilização de energia e de matéria-prima, a empresa que conseguir

modificar seus processos e/ou produtos diminuindo estes insumos pode obter ganhos reais;

- A questão ambiental, além de gerar novas oportunidades de negócios, pode propiciar o surgimento de inovações tecnológicas importantes. “Inovar para adequar-se às regulamentações pode trazer compensações: utilizar melhor os *inputs*; criar produtos melhores ou melhorar os resultados do produto”.

Estas questões apontam para a necessidade de modificação da postura das empresas perante o mercado e, também, perante o seu próprio processo de desenvolvimento de produtos e processos. Medidas ambientalmente amigáveis propiciarão oportunidades para as empresas. A inovação permite a integração do processo produtivo das fundições ao desenvolvimento sustentável.

Os resultados do ESF (2007) indicam que o setor de fundição no Brasil apresenta bons índices de inovação, indicando que as empresas atribuem prioridade à aquisição de máquinas e equipamentos para a incorporação de novas tecnologias, mas há grande potencial para utilização de outras formas de introdução de inovações, entre elas a aquisição de conhecimentos externos e a realização interna de atividades de P&D.

As novas tecnologias de processo, incorporadas às fundições, contribuem principalmente para a redução de consumo de energéticos, redução das emissões e de resíduos no meio ambiente. As tecnologias de produto estão relacionadas principalmente ao desenvolvimento de novas ligas, à redução da quantidade de insumos na produção de bens fundidos e à incorporação de acabamento e usinagem às peças fundidas, que agregam valor ao produto final.

O perfil inovativo do setor de fundição brasileiro está principalmente associado à aquisição de máquinas e equipamentos, conforme destacado no Gráfico 7. Este perfil relaciona-se às inovações incrementais, que agregam valor aos produtos e processos através de melhorias contínuas em tecnologias já conhecidas pelas empresas. O projeto industrial e outras preparações técnicas é a segunda atividade mais relevante no setor e está relacionada, principalmente, às mudanças nos métodos e procedimentos produtivos, incluindo o controle de qualidade e implementação de softwares, prevalecendo nas empresas de médio e grande porte. As atividades internas e externas de P&D, ainda são pouco representativas no setor, sendo que o

avanço destas atividades contribui para a geração de conhecimento nas empresas e favorece a vantagem competitiva das fundições no mercado globalizado.

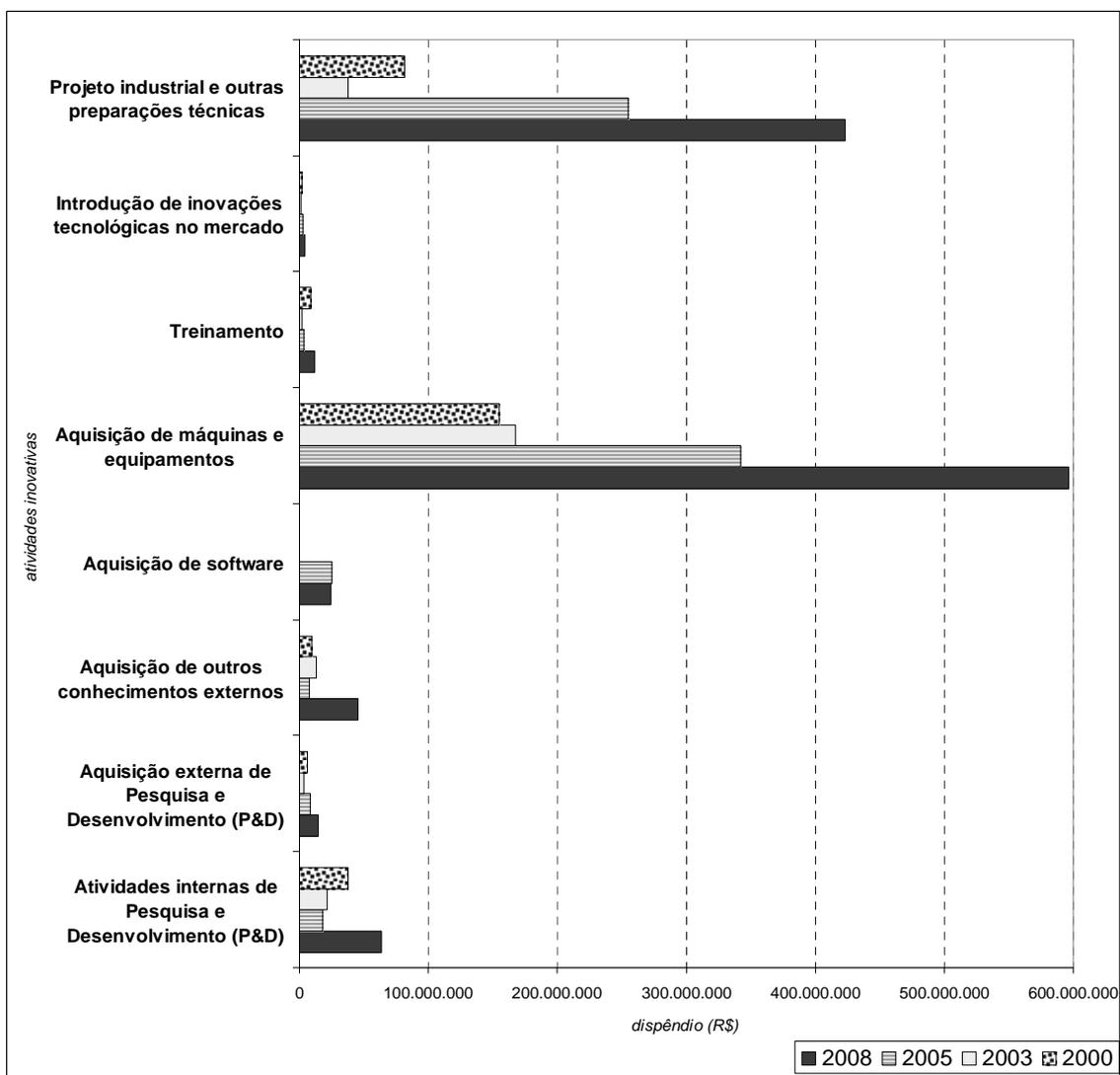


Gráfico 7 – Dispendio com as atividades inovativas no setor de fundição (ferrosos e não-ferrosos) – Pintec 2000 a 2008
 Fonte: Elaboração própria

A compra de máquinas e equipamentos relaciona-se, principalmente, ao aperfeiçoamento do processo produtivo das empresas, a redução dos custos de produção e ao aumento da capacidade produtiva. Segundo a FAPESP (2002), o investimento das empresas em máquinas com mais tecnologia contribui para a inovação de processos. Mesmo sendo uma parte importante da atividade inovativa, a compra de equipamentos não substitui, em geral, a atividade de criação de conhecimento. Afirma Tironi (2006) que para a inovação incremental, o apoio governamental que prevalece é para aquisição de máquinas, enquanto que na

inovação radical cresce a importância de outras modalidades de apoio, especialmente para P&D.

A segunda atividade mais relevante é “projeto industrial e outras preparações técnicas”, que inclui mudanças nos procedimentos de produção e controle de qualidade, métodos e padrões de trabalho e *software*; as atividades de tecnologia industrial básica (metrologia, normalização e avaliação de conformidade), ensaios e testes (não incluídos em P&D); plantas e desenhos orientados para definir procedimentos, especificações técnicas e características operacionais necessárias à produção e distribuição de inovações de produto e processo (IBGE, 2008a).

As tecnologias implementadas e o desenvolvimento de P&D nas fundições envolvem pessoas. A mão-de-obra operante no processo produtivo interfere direta ou indiretamente nos resultados alcançados com as inovações. O investimento em treinamento e conscientização dos funcionários deve ampliar o entendimento sobre o meio ambiente, incluindo a sua dimensão social e promovendo mudanças de atitudes diante das questões socioambientais. A promoção da educação ambiental envolve um espectro mais amplo, que sai dos limites da empresa e passa a fazer parte da vida do funcionário, de forma integrada.

O ESF (2007) realizou o levantamento das atividades inovativas, utilizando os mesmos critérios da Pintec, conforme apresentado no Gráfico 8. Foram classificadas as atividades conforme o porte da empresa (medido pelo número de empregados).

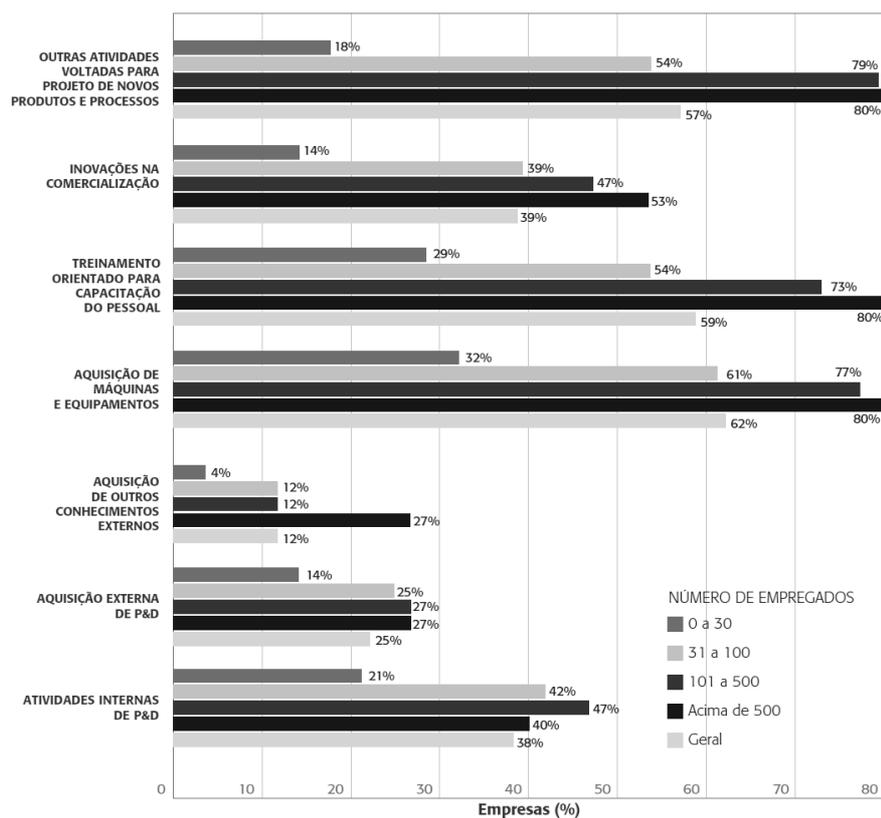


Gráfico 8 - Intensidade das atividades inovativas por porte de empresa
 Fonte: ESF (2007)

Observa-se no Gráfico 8, que mais de 60% das empresas do setor investem na aquisição de máquinas e equipamentos, sendo que 80% das empresas que possuem mais de 100 empregados investem com frequência nesta atividade, destacando o perfil incremental do setor de fundição brasileiro. Dentre as empresas que possuem até 30 empregados, apenas 32% investem em atividades inovativas, principalmente devido a dificuldade de acesso às linhas de crédito existentes.

O financiamento para atividades inovativas nas empresas é limitado. Apenas a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) têm linhas de crédito específicas para apoiar atividades de pesquisa e desenvolvimento nas empresas. As micro e pequenas empresas praticamente não têm acesso ao financiamento, pois os custos, as exigências de garantias e o excesso de procedimentos burocráticos tornam a concessão de crédito pouco acessível (CNI, 2005). Como exemplo de financiamento destaca-se a FUNTEC (Linha Fundo Tecnológico) do BNDES, que é uma modalidade de financiamento nacional e não reembolsável. Os recursos deste fundo deverão ser destinados a

projetos de pesquisa aplicada, desenvolvimento tecnológico e inovação, sendo o seu foco, para o setor de fundição, orientado para as áreas de meio ambiente e novos materiais, que abrangem:

- Meio ambiente: Prevenção, controle e tratamento de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas em plantas industriais;
- Novos materiais: Desenvolvimento de materiais tecnologicamente novos no grupamento dos metais ferrosos ou não ferrosos.

O financiamento é uma importante ferramenta de fomento a projetos de inovação. Os recursos para a inovação estão disponíveis na forma de incentivos diretos, que são os financiamentos reembolsáveis e não-reembolsáveis, e na forma de incentivos indiretos, que são os incentivos fiscais (GRIZENDI, 2011). Uma iniciativa da ABIFA, para facilitar o acesso das fundições credenciadas às linhas de crédito do BNDES, foi a realização de um convênio com uma instituição bancária repassadora de fundos públicos, o que facilitou a aquisição de máquinas e equipamentos pelas empresas do setor.

Até a regulamentação da Lei de Inovação Tecnológica, em 2005, os investimentos diretos nas empresas brasileiras eram extremamente limitados. O artigo 1º da Lei 10.973, de 02 de dezembro de 2004, estabelece "medidas de incentivo à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo, com vistas ao alcance da autonomia tecnológica e ao desenvolvimento industrial do País". Esta lei representou um grande avanço ao admitir que as empresas cumpram um papel importante no processo de inovação, ao flexibilizar as regras que permitem a participação de instituições de ensino e pesquisa em projetos conjuntos com o setor privado. A nova lei viabilizou a abertura da infra-estrutura de P&D e dos recursos humanos de centros pesquisas e universidades para as pequenas e médias empresas.

A Lei nº 11.196, de 21 de novembro de 2005, conhecida como "Lei do Bem", em seu capítulo III trata "dos incentivos à inovação tecnológica", destacando a possibilidade de concessão de incentivos fiscais a qualquer pessoa jurídica, desde que ela invista em P&D para a inovação tecnológica. Parte do valor da remuneração de pesquisadores titulados como mestres ou doutores que venham a ser contratados pelas empresas são subvencionados por esta lei.

O objetivo é facilitar a interação entre as universidades e as empresas, de modo a estimular o desenvolvimento de produtos e processos inovadores. Apesar da diversidade de programas e instrumentos de financiamento público disponíveis no país, mais de 90% dos gastos com P&D na indústria brasileira ainda é financiado com recursos próprios das empresas (CNI, 2007).

Há um melhor desempenho da produção com a aquisição de novas tecnologias de processo, no entanto, o investimento em P&D ainda é muito baixo no setor quando comparado com a aquisição de máquinas e equipamentos, independente do porte da empresa. As fundições de grande porte possuem maior viabilidade financeira para investimento em pesquisas, mas prevalece a aquisição externa de tecnologia e a imobilização de bens de capital, considerando que as melhorias realizadas visam principalmente a atender à legislação ambiental vigente e prevista.

Com o apoio do governo, investimentos financeiros e capacitação técnica voltada para P&D, a longo prazo, as empresas do setor de fundição podem alterar o perfil do atual padrão produtivo, voltado às inovações incrementais. A geração de conhecimento e desenvolvimento tecnológico capacita as empresas para o desenvolvimento de inovações radicais, que ainda não é relevante no setor de fundição, formado em sua maioria por empresas de pequeno porte.

As empresas do setor de fundição têm porte similar no mundo inteiro. Nos Estados Unidos, cerca de 80% das fundições têm menos de 100 funcionários. No Brasil, o percentual é parecido, 78%. Segundo a ABIFA, cerca de 90% da indústria de fundição é composta de micro, pequenas e médias empresas, e 97% destas são de capital nacional (CASOTTI *et al.*, 2010). As fundições de pequeno porte precisam lidar com os altos custos ambientais e são duramente atingidas pelas rígidas regulamentações. Os regulamentos ambientais deverão tornar-se cada vez mais rigorosos nas próximas duas décadas e terão impactos significativos nas fundições, em termos de custos e viabilidade econômica (AFS, 1998).

3.3.1 – Novas tecnologias adotadas pelas fundições

As tecnologias que reduzem ou eliminam o desperdício e melhoram o desempenho das empresas aumentarão o sucesso e a competitividade mundial da indústria de fundição. No mercado internacional, as fundições domésticas muitas

vezes competem com produtos fundidos produzidos em países com padrões ambientais menos exigentes e onde o custo de controle ambiental é muito menor. No entanto, algumas novas tecnologias e materiais estão sendo investigados, incluindo ligantes não-tóxicos, sistemas de recuperação de areia e de ar e sistemas de purificação de água, dentre os quais têm ocorrido importantes contribuições para a “limpeza” dos processos de fundição de metais. Além disso, as fundições também estão tendo sucesso no desenvolvimento de novas ligas, que causam menores impactos ambientais (AFS, 1998).

O avanço das tecnologias desempenha um papel importante na redução dos custos da produção, melhorando a eficiência energética, a qualidade ambiental e criando produtos inovadores nas fundições. (ZANETTI; FIORE, 2003).

A automação e controle é prioridade nas empresas de grande porte, que atendem grandes clientes, principalmente do setor automotivo. As pequenas e médias empresas ainda encontram restrições na implementação destas novas tecnologias, que permitem que as fundições operem um conjunto de fatores simultaneamente, através da utilização de *softwares* computacionais, tanto de controle quanto de simulação. Estas tecnologias favorecem a eficiência dos processos desenvolvidos, reduzindo a utilização da mão-de-obra direta, reduzindo as perdas, economizando insumos, matérias-primas e controlando a interface com o meio ambiente. Os *softwares* podem ser utilizados, por exemplo, para manutenção da temperatura do processo constante, pois se a temperatura varia, perde-se qualidade do fundido; para simulação do processo em si, evitando possíveis falhas; no controle da movimentação do metal fundido e de peças em altas temperaturas (PRADO, 2010).

Novas tecnologias na produção de machos inorgânicos em areia possibilita a redução de 98% das emissões dos resíduos de combustão, ocasionando a redução das emissões atmosféricas para quase zero. No entanto, muitos dos métodos e equipamentos atualmente usados com machos feitos com ligantes orgânicos não operam bem com machos feitos com ligantes inorgânicos. Ligantes de baixas emissões usados na fundição de molde permanente são baseados em silicatos alcalinos, solúveis em água. Algumas fundições européias já começaram a utilizar novos tipos de ligantes, por uma exigência ambiental. Os gastos das modificações para fazer a transição para ligantes inorgânicos é frequentemente recuperado rapidamente, baseado nas economias de energia e processo. Uma fundição pode economizar até 20% dos custos com energia (WETZEL, 2010).

Mais recentemente, a rebarbação com água a alta pressão tem conquistado a mais ampla aceitação na indústria automotiva como uma tecnologia ambientalmente amigável para a remoção de contaminantes, rebarbas e cavacos, enquanto ainda limpa a peça. A água com um inibidor de ferrugem é o meio líquido típico. Esta tecnologia é adequada quando os fundidos precisam ser muito limpos, quando uma qualidade consistente é requerida ou quando as peças não podem ser submetidas ao calor e à corrosão química (AFS, 2009).

A indústria automotiva é o principal cliente do setor de fundição. Há a demanda de produção de componentes automotivos em grande quantidade e com alto padrão de qualidade. Atualmente, as empresas estão exigindo que as fundições entreguem a peça fundida totalmente usinada, o que obrigou as fundições a converter suas plantas para metal-mecânica. A entrega de peças em série para a indústria automotiva exige investimentos contínuos em novos processos e aquisição de equipamentos, a fim de cumprir com as mudanças tecnológicas e fornecer componentes utilizando práticas logísticas avançadas. A tendência na indústria automotiva é a redução do peso e consumo de combustível, através da adoção de novas ligas. Essas inovações vão reduzir o teor de metais nos carros, indicando que, para o futuro próximo, a indústria de fundição deve adicionar valor aos seus produtos em vez de aumentar a produção física (NAVEIRO, 2007).

Capítulo 4

SISTEMA PRODUTIVO DAS FUNDIÇÕES: ASPECTOS AMBIENTAIS E ENERGÉTICOS

Existem diferentes processos de fundição de metais ferrosos e não ferrosos. O tipo de metal a ser fundido, o tipo de moldagem utilizado, as tecnologias empregadas pelas empresas do setor são exemplos de variáveis que diferenciam as empresas de fundição, porém todas possuem o mesmo objetivo, que é a confecção de uma peça metálica, conformada de acordo com um modelo previamente especificado.

Todas as fundições possuem uma cadência similar em seus processos, que envolve a modelagem, a moldagem, a colocação do macho, a fusão do metal, o vazamento do metal líquido no molde, a solidificação, a desmoldagem, o acabamento e limpeza da peça e a usinagem. Estas etapas correspondem ao processamento da peça fundida. No entanto, para que estas etapas sejam realizadas as fundições dependem de insumos produtivos para a confecção do produto final, sendo cíclico este processo, dada a realização de uma atividade industrial. Esta característica corresponde ao perfil de um sistema aberto.

O modelo de desenvolvimento utilizado pela sociedade, até atingir seu estágio atual, é representado por um sistema aberto. Este sistema depende de um suprimento contínuo e inesgotável de matéria e energia, que depois de utilizadas são devolvidas ao meio ambiente ou simplesmente descartadas (BRAGA *et al.*, 2005).

Considerando o processo de fundição como um sistema aberto, as entradas são os insumos produtivos (matéria-prima, energia, combustíveis, etc.), o processamento corresponde cada uma das atividades elencadas no segundo parágrafo deste capítulo e as saídas são as peças fundidas e os resíduos do processo. O *feedback* ou retroalimentação está relacionado com a continuidade da atividade que é realizada. E, a interação com o meio ambiente, relaciona-se com todas as variáveis externas ao ambiente da empresa que interferem no seu processo produtivo. Essa interação ocorre através das entradas e das saídas desse sistema.

A Figura 3 apresenta o esquema de um sistema aberto, destacando cada uma das suas etapas: entrada – processamento – saída – *feedback* ou retroalimentação e seu intercâmbio com o meio ambiente.

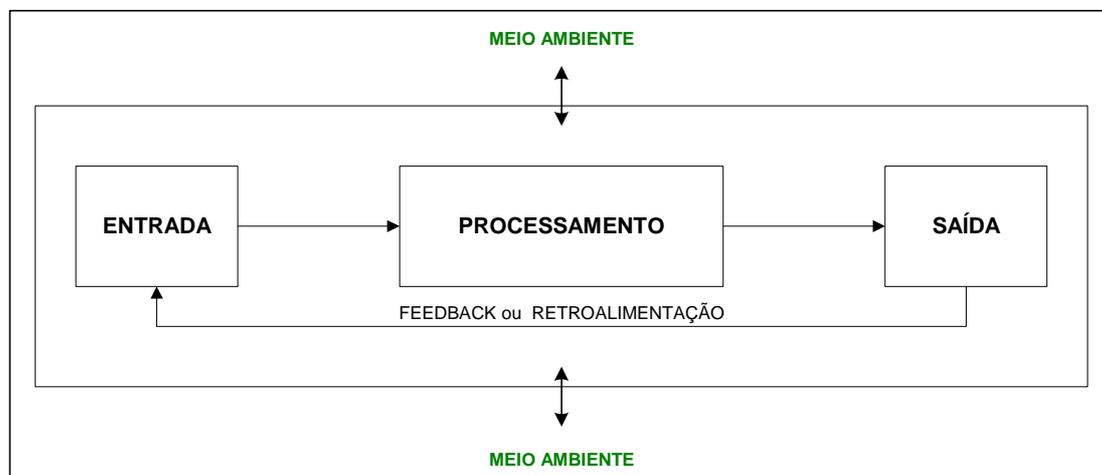


Figura 2 – Esquema de um sistema aberto
Fonte: Elaboração própria

Todos os processos de fundição demandam matérias-primas, fontes energéticas e tecnologias para a produção de bens fundidos. Dependendo do processo de fundição utilizado, além do produto final, também são gerados resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, que precisam ser gerenciados pelas empresas para a redução dos impactos ao meio ambiente.

As inovações tecnológicas e a interação das fundições com outros setores da economia permitem reformular este modelo de desenvolvimento e mudar o perfil do atual sistema produtivo. A interação entre empresas que podem absorver o subproduto de outras como matéria-prima permite a redução das interações com o meio ambiente, desenvolvendo um modelo produtivo sustentável. O modelo de desenvolvimento proposto por Braga *et al.* (2005), é um sistema onde todos os materiais e energias oriundos de um processo de produção retornam ou são recuperados através de ações restauradoras que minimizem o impacto ambiental.

A gestão ambiental é tema de muitas discussões, principalmente a partir da Conferência de Estocolmo, na Suécia, em 1972. A partir daí compreendeu-se que a solução para a conservação dos recursos naturais e minimização da degradação ambiental, seria o desenvolvimento de técnicas ambientais e de gerenciamento que

acabassem com o desperdício, colaborando para um desenvolvimento sustentável (VAZ *et.al.*, 2011).

4.1 – Elementos componentes das etapas das fundições

Os processos de fundição dependem de uma grande quantidade de recursos naturais que são total ou parcialmente consumidos durante o próprio processo produtivo e que podem gerar significantes impactos ambientais, tanto dentro quanto fora da fábrica.

A apresentação dos principais elementos componentes de cada etapa da fundição de metais ferrosos e não-ferrosos é destacada na Tabela 2. As etapas de entrada e saída do processo são as mais relevantes quando considerados os impactos ao meio ambiente. No processamento, os elementos mais importantes são os fornos, que consomem recursos naturais no seu funcionamento.

Tabela 2 – Elementos do sistema produtivo das fundições

ENTRADA	PROCESSAMENTO	SAÍDA
<ul style="list-style-type: none"> - Areia de fundição - Água - Aglomerante/Ligante - Aditivos - Tintas - Ferro gusa, alumínio, ligas - Combustíveis (carvão mineral, coque, óleo combustível, gás, etanol, etc.) - Energia elétrica - Sucata - Fundente (calcário) - Consumíveis 	<ul style="list-style-type: none"> - Fornos elétricos - Fornos a combustível - Compactadores e misturadores de areia - Equipamentos de movimentação de cargas - Painéis para transporte de metal líquido - Máquinas para fundição mecanizada e automatizada 	<ul style="list-style-type: none"> - Peças fundidas ferrosas e não-ferrosas - Resíduos sólidos (areia de fundição, materiais particulados, sucata, matéria-prima refugada) - Materiais particulados (cinzas, fuligem e escória) - Efluentes líquidos - Emissões gasosas (fumos) - Perdas térmicas

Fonte: Elaboração própria

4.1.1 – Entradas do processo de fundição

As entradas do processo de fundição correspondem às matérias primas e energéticos empregados na confecção de bens fundidos, especificados a seguir.

Areia de fundição (matéria-prima) – A composição da areia de fundição compreende 87,91% de dióxido de silício (SIDDIQUE, 2009), um material não sensível à umidade, não suscetível ao congelamento-degelo e uniforme, o que favorece sua utilização em larga escala nos processos produtivos das fundições.

No preparo dos moldes, a areia é misturada com um aglomerante e um plastificante (água). A areia verde é utilizada na produção de peças de menor peso e tamanho. Para a fabricação de peças maiores, geralmente são utilizados moldes e machos constituídos por areia misturada com resina e catalisador, que conferem maior resistência às peças (CETESB, 2002). Segundo Mariotto e Bonin (1996), estima-se que mais de 80% das peças fundidas produzidas utilizam moldes feitos de areia aglomerada/ligada, sendo o aglomerante mais comum a argila (moldagem em areia verde).

O índice de consumo da areia na indústria da fundição é de 800g a 1.000 Kg para cada peça de 1.000 Kg (CETESB, 2002).

Água – É utilizada, principalmente, para dar plasticidade à areia de moldagem e em processos de resfriamento. E, nas fundições sob pressão, as maiores consumidoras de água da indústria, ocorre a sua utilização para refrigeração dos moldes. Também está sendo utilizada para rebarbação de peças, mas neste caso ainda é muito pouco representativo no setor.

Aglomerantes/Ligantes – São materiais que envolvendo e ligando entre si os grãos conferem à areia, após *compactação*, *secagem* ou *reação química*, as características necessárias ao processo de moldagem, isto é, resistência às solicitações dinâmicas, estáticas e térmicas provocadas pelo metal fundido. Para um dado aglomerante, com o aumento do seu teor, aumenta a resistência e a dureza da areia e diminui a permeabilidade. A areia com resina dificulta a sua recuperação e reutilização, havendo grande quantidade de descarte. Como exemplo tem-se: a argila, a bentonita e o cimento, aglomerantes inorgânicos; açúcares, melão da cana, amido de milho e óleos, aglomerantes orgânicos que caíram em desuso; as resinas termoendurecíveis (polimerizam pela ação do calor) e as autoendurecíveis (ou de cura a frio) (SOARES, 2000).

Aditivos – São substâncias que misturadas à areia de moldagem, em teores inferiores a 1%, que modificam suas propriedades, minimizando certos tipos de defeitos (SOARES, 2000). Dentre os aditivos orgânicos podem-se destacar os carbonáceos (pó de carvão mineral, piche e produtos afins), celulósicos (pó de madeira) e amiláceos e dextrinas (produtos a base de amido). Os aditivos inorgânicos constituem-se de pós de materiais naturais ou sintéticos, sendo os mais comuns o óxido de ferro e o pó de sílica (SENAI, 1987). Sua utilização visa conferir melhores propriedades às areias.

Tintas – A principal função das tintas é a criação de uma camada intermediária entre areia e metal, visando conferir um bom acabamento ao molde ou macho e, por conseguinte, à peça. A tinta é constituída de uma substância refratária, uma substância aglomerante e um solvente, que deve ser totalmente evaporada por ocasião da sua queima (SOARES, 2000), quando o metal líquido é vazado no molde.

Ferro gusa – Obtido a partir do minério de ferro, o gusa é utilizado na produção de aço (70%) e fundidos (30%), tendo como vantagens competitivas a disponibilidade, qualidade e custo do minério de ferro (CETEM, 2007). Produzido a partir do minério de ferro, é a principal matéria-prima das fundições de ferro, sendo que o Brasil é o segundo maior produtor mundial deste minério. O ferro gusa abastece plenamente o consumo interno, permitindo a exportação de 68,7% de sua produção (ABIFA, 2010).

Alumínio – As ligas de alumínio proporcionam relevantes propriedades às peças fundidas que utilizam este material, como por exemplo, baixa temperatura de fusão, alta condutividade térmica e alto coeficiente de dilatação. As peças fundidas de alumínio têm suas principais aplicações na área automotiva e de transportes, que representam cerca de 60% do consumo de alumínio neste segmento (ABAL, 2011). A produção brasileira de alumínio em 2009 foi de 1,54 milhão de toneladas, sendo o Brasil o sexto maior produtor mundial deste elemento (BNDES, 2010).

Sucata – É utilizada como matéria-prima para compor a carga a ser fundida. Normalmente é composta por peças refugadas da própria fundição ou comprada externamente, com especificação, da mesma forma que o gusa. A utilização de sucata na fundição não apenas conserva os recursos naturais, como também economiza energia.

É necessário 95% menos energia na fabricação do fundido quando se utiliza a sucata, do que se for utilizada apenas matérias-primas novas. Essa economia é o resultado da redução de energia demandada na mineração, refino e outros processos relacionados a obtenção do metal, assim como reduz o consumo de água e poluição do ar (AFS, 2008).

Carvão mineral – O carvão mineral, ou hulha, é formado basicamente por carbono, com pequenas quantidades de água, nitrogênio e enxofre. É o combustível fóssil mais abundante no mundo. Em termos de poluição atmosférica, o carvão é uma grande fonte de óxidos de enxofre e nitrogênio. Essas emissões são responsáveis pelo “*smog industrial*” e pela ocorrência das chuvas ácidas. Além disso, o carvão produz grande quantidade de CO₂ por unidade de energia, quando comparado com outras fontes, sendo um dos maiores contribuintes do efeito estufa (BRAGA *et al.*, 2005).

Coque – É um tipo de combustível obtido a partir do aquecimento da hulha (ou carvão betuminoso), sem combustão. Esse processo é chamado de “coquificação”, que consiste em aquecer o carvão mineral a altas temperaturas, em câmaras hermeticamente fechadas, exceto para a saída dos gases. O coque é um carvão, feito nas coquearias, que não possui materiais voláteis.

Gás natural (GN) – O gás natural gera menos poluentes atmosféricos quando comparado com outros combustíveis fósseis. Ele produz muito pouco SO₂, quase nenhum material particulado, e aproximadamente um sexto dos óxidos de nitrogênio produzido pelo carvão, óleo e gasolina. O CO₂ produzido por unidade de energia é inferior a outros combustíveis. O custo de aproveitamento do gás é baixo quando comparado com outras fontes, e seu rendimento é bastante alto (BRAGA *et al.*, 2005). O gás liquefeito de petróleo (GLP) é armazenado em tanques pressurizados para uso em áreas onde não existe distribuição em rede. O restante do gás (metano) é distribuído em redes.

Óleo combustível – O óleo combustível é oriundo da destilação das frações mais leves do petróleo, obtido em várias etapas e processos de refino. Pode ser classificado como óleo combustível destilado, quando é obtido por processos de destilação atmosférica ou a vácuo; e, residual, quando é derivado de processos de craqueamento térmico ou catalítico, sendo largamente utilizado para aquecimento de fornos (MARTINS; NOGUEIRA, 2006).

A combustão do óleo combustível gera como resíduo a cinza, acompanhada de compostos metálicos do processo de fusão, os quais podem causar a formação de depósitos nas superfícies de troca térmica.

Energia Elétrica – Os principais usos da energia elétrica nas fundições ocorrem quando esta é convertida em energia térmica, empregada em fornos; em energia mecânica, através de máquinas rotativas (motores elétricos) e com o uso de sistemas motor-gerador, utilizando combustíveis fósseis (óleo ou gás) na conversão de energia mecânica em energia elétrica; e, na iluminação das instalações industriais.

Consumíveis – O maior gasto com consumíveis nas fundições ocorre com o refratário, que é fundamental no processo de fundição, pois permite a fusão do metal com segurança, mantendo equipamentos e operadores protegidos da ação de temperaturas de até 1800 °C (PASETTO, 2010). A vida útil dos refratários pode ser prejudicada pela prática inadequada do operador, equipamento e projeto de forno. Outros itens consumíveis em um forno podem incluir peças de bombas, portas e termopares (BELT, 2011).

4.1.2 – Processamento

O processamento abrange desde a etapa de modelagem até o produto final gerado, sendo que a etapa de modelagem é opcional na fundição, pois há a possibilidade de se contratar serviços dessa natureza de empresas especializadas.

As etapas mais importantes da fundição são a moldagem e a fusão, que trabalham integradas e são dependentes entre si. Todo o processo é ajustado de acordo com o perfil dessas duas etapas. Os principais equipamentos do processamento são os fornos de fundição.

Vários tipos de fornos são empregados para fundir diferentes metais ferrosos e não-ferrosos em fundição. O tipo de forno a ser usado é determinado pelo tipo de metal a ser fundido, a taxa de produção e a pureza desejada.

Segundo Soares (2000), pode-se classificar os fornos empregados para a fusão de metais e suas ligas em função do tipo de aquecimento. Tendo-se:

- Fornos elétricos: a arco (direto e indireto), de indução (a canal e a cadinho) e de resistência elétrica.
- Fornos a combustível: carvão/coque, óleo combustível, G.L.P., gás natural, etc. Esses fornos podem ser do tipo cuba (cubilô), reverberação ou rotativo; de cadinho (cadinho com aquecimento externo ao mesmo).

Cerca da metade das empresas do setor utilizam mais de um forno de fusão. Dentre as que operam com um único tipo de forno, o forno elétrico de indução está presente em praticamente metade das instalações, sem considerar que a participação desse equipamento nas fundições que operam com mais de um forno é bastante significativa (ABIFA *apud* SOARES, 2000). Estes fornos são utilizados para fundir aço e ligas de alumínio.

Os fornos a arco produzem grande quantidade de poluentes, gasosos e acústicos. É um campeão na emissão de fumos poluentes de alta temperatura. Para cada tonelada de aço carregado, a emissão de poeira pode ser estimada em 12-15 kg (VIVIANI, 2010).

O consumo típico de coque no cubilô é da ordem de 150 kg/ton de metal. Com isso, o ferro produzido pode custar até a metade do obtido em forno elétrico, o que explica a sua não desativação por muitas fundições (SOARES, 2000). O cubilô gera, aproximadamente 120Kg de escória por tonelada de ferro (SILVA, 2006), sendo depositados, anualmente, em aterros industriais cerca de 200 toneladas de escórias deste tipo de forno (MONTANARI *et al.*, 2008). Há grande pressão dos órgãos de controle ambiental para a desativação destes fornos, principalmente em áreas urbanas.

4.1.3 – Saídas do processo de fundição

Todo processo produtivo gera subprodutos e resíduos com qualidade e valor diferenciado do produto principal. Estes rejeitos constituem, perante a ótica legal e ecológica atual, como sendo de responsabilidade da entidade geradora, independentemente do volume de resíduo gerado, a indústria precisa reconhecê-lo como sendo de sua responsabilidade (SCHEUNEMANN, 2005).

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente, causadas por qualquer forma de energia ou de substâncias sólida, líquida ou gasosa, ou combinação de elementos despejados pelas indústrias, em níveis capazes, direta ou indiretamente, de prejudicar a saúde, segurança e o bem-estar da população, criar condições adversas às atividades sociais e econômicas e ocasionar danos relevantes à flora, à fauna e a outros recursos naturais, é considerado poluição industrial (CHASIN; PAOLIELLO, 2001).

São explicitados, a seguir, os principais resíduos do processo de fundição:

4.1.3.1 – Resíduos sólidos

Segundo a ABNT NBR 10.004 (2004) são considerados resíduos sólidos, os resíduos no estado sólido e semi-sólido, incluindo o lodo e determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviável em face à melhor tecnologia disponível. Esta norma classifica os resíduos de acordo com as suas características específicas.

Os principais resíduos sólidos do processo de fundição são: a areia de fundição, a sucata e os materiais particulados. Estes compostos são apresentados a seguir:

Areia de fundição (resíduo) – Cerca de 90% da areia descartada de fundição (ADF) pode tecnicamente ser reciclada para reutilização, como matéria-prima em outros setores da economia (GARCIA FILHO, 2008), como por exemplo, como componente de asfalto e na indústria de cimento. Para que isto ocorra, é necessário existir viabilidade econômica e técnica, além da base legal, para promover o escoamento da ADF como matéria-prima para outros setores. O envio para aterros industriais controlados é a atual opção, porém muitas empresas não enviam a ADF para esses locais, principalmente em função da logística e do custo, que encarece o produto final, além do comprometimento ambiental. Se a areia que foi enviada para o aterro contaminar o meio ambiente, a empresa que enviou é responsabilizada, mesmo tendo enviado para o local apropriado, pois são identificadas a empresa e a disposição da sua ADF no aterro industrial. O tratamento e reutilização em outros setores da economia é uma alternativa viável e necessária para o resíduo industrial de maior volume no Brasil.

Sucata – Elemento já apresentado na entrada do processo. Porém, nesta fase de saída do processo de fundição, representa as peças que são refugadas, originárias, principalmente, dos canais de vazamento e massalotes retirados das peças produzidas, como também peças produzidas que apresentaram algum defeito de fabricação. Este produto retorna para a produção como matéria-prima, sendo fundido novamente para a formação de novas peças.

Segundo *U.S. Environmental Protection Agency*, a reciclagem do metal reduz a poluição do ar em 86%, utilização de água em 40% e resíduos de mineração em 97%, em comparação ao uso do minério de ferro (AFS, 2008).

Materiais particulados (MP) – As partículas estão entre os poluentes que apresentam maiores riscos ao meio ambiente, aumentando as taxas de reação na atmosfera, reduzindo a visibilidade e alterando os níveis de radiação solar que atinge o solo. Estas apresentam variados tamanhos (variam de varia de 0,001 a 500 μ m), sendo que um único equipamento não é efetivo para coletar as partículas geradas no processo de fundição. Partículas muito pequenas movem-se aleatoriamente como moléculas de gás e, na prática, não se depositam no solo, permanecendo na atmosfera por períodos indefinidos de tempo. Por sua vez, partículas maiores depositam-se rapidamente e permanecem por muito pouco tempo na atmosfera (CARVALHO; LACAVA, 2003). Dentre os materiais particulados pode-se destacar: as cinzas, a fuligem e a escória.

As cinzas são um material inorgânico presente no combustível, que existe em quantidades maiores em combustíveis sólidos (JOSÉ, 2004). A quantidade de cinzas está relacionada com o tipo de carvão utilizado no processo de combustão. São consideradas impurezas que não irão queimar, as quais correspondem de 5 a 40% do carvão (BEE, 2005). Estas reduzem a capacidade de manipulação e queima do combustível, aumenta os custos de manutenção, afeta a eficiência da combustão e favorece a formação de resíduos inflamáveis após a queima do carvão e de escórias. Os níveis de emissão de partículas em fornos que operam com carvão variam consideravelmente, dependendo do teor de cinzas do carvão e do tipo de processo utilizado – se pulverizado ou não (CARVALHO; LACAVA, 2003).

A fuligem é o produto da combustão incompleta de frações orgânicas do combustível que pode ser formada devido a recombinações de voláteis ou frações leves do combustível, sob condições específicas ainda não bem conhecidas e determinadas. Pode ser formada também devido a devolatilização (liberação de

voláteis) incompleta de gotas ou do combustível sólido, os quais não tiveram tempo, temperatura e oxigênio suficiente para oxidação completa (JOSÉ, 2004).

A escória é definida como um produto não-metálico constituído essencialmente de silicato de cálcio e outras bases que se desenvolve no forno durante o processo de fusão (SILVA, 2006). Este material, depois de solidificado, pode ser utilizado como lastro de ferrovias, como material isolante, etc., porém sua mais importante aplicação dá-se na fabricação do cimento metalúrgico, no caso da escória de ferro.

4.1.3.2 – Resíduos líquidos

Os resíduos líquidos são classificados de acordo com sua natureza e com os principais impactos causados pelo seu lançamento no meio aquático. Dentre os elementos lançados na água nos processos de fundição estão inclusos os ácidos, as bases, sais, solventes, compostos orgânicos dissolvidos e metais pesados, que demandam tratamento e descarte (BEELEY, 2001). As fundições são responsáveis pelo tratamento adequado de seus efluentes líquidos, que ocorre a partir da definição da sua composição e vazão para evitar contaminação do solo e da água.

A interação permanente da água com o solo, sobre o qual flui e no qual se infiltra, obriga uma avaliação conjunta dos dois meios e a um cuidado redobrado para que os contaminantes de um não se transfiram e contaminem o outro. Se houver contaminação das águas do subsolo, essa contaminação pode, a seguir, atingir o homem por meio da utilização de águas de poços perfurados nessas áreas (VALLE, 2004). Inclusive, nas fundições, a perfuração de poços artesianos é uma prática comum para atender as demandas do processo produtivo a um custo menor.

Os efluentes líquidos das fundições possuem alto grau de inorgânicos, com exceção dos efluentes provenientes da água utilizada em sistemas de resfriamento ou aquecimento, em algumas etapas do processo, e do sistema de lavagem de particulados do sistema de exaustão. Os resíduos com altos níveis de inorgânicos necessitam de pré-tratamento para que possam ser dispostos no meio ambiente. Contudo, a água utilizada em sistemas de refrigeração ou aquecimento, em certas etapas do processo, pode ser reaproveitada adotando-se um sistema de recirculação, assim como o efluente dos sistemas de lavagem do pó de exaustão pode ser reutilizada para adição de água no próprio processo (MATOS; SCHALCH, 2005).

De acordo com a ABNT NBR 9800 (1987), efluente líquido industrial é o despejo líquido proveniente do estabelecimento industrial, compreendendo emanções do processo industrial, águas de refrigerações poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico.

4.1.3.3 – Resíduos gasosos

Existem vários pontos de emissão de resíduos gasosos ao longo de uma planta industrial de fundição, o que torna sua investigação um tanto quanto complexa. As emissões atmosféricas do processo incluem reagentes e produtos das reações químicas das substâncias aglutinantes; vapores de solventes; fumaça e fumos gerados na fusão, no tratamento de metais e na moldagem; produtos da combustão; poeiras e outros particulados; gases e vapores, que incluem monóxido de carbono, cloro e dióxido de enxofre. Muitos destes contaminantes aéreos passam por aspirações locais ou escapam para a atmosfera através de sistemas de ventilação, sendo necessário um controle rígido dessas emissões para um tratamento prévio (BEELEY, 2001).

Os poluentes são classificados em primários e secundários. Os primários são aqueles lançados diretamente no ar. São exemplos desse tipo de poluente o dióxido de enxofre (SO_2), os óxidos de nitrogênio (NO_x), o monóxido de carbono (CO) e alguns particulados. Os secundários formam-se na atmosfera por meio de reações que ocorrem em razão da presença de certas substâncias químicas e de determinadas condições físicas, como por exemplo, o SO_3 (formado pelo SO_2 e o O_2 no ar) reage com o vapor de água para produzir o ácido sulfídrico (H_2SO_4), que precipita originando a chuva ácida (BRAGA *et al.*, 2005).

Segundo Braga *et al.* (2005), seguem abaixo os principais poluentes do ar e suas fontes, devendo-se observar que a maioria dos poluentes têm origem no processo de combustão.

Monóxido de carbono (CO) – Gerado nos processos de combustão incompleta de combustíveis fósseis e outros materiais que contenham carbono em sua composição;

Dióxido de carbono (CO_2) – Principal composto resultante da combustão completa de combustíveis fósseis e de outros materiais combustíveis que contenham carbono;

Óxidos de Enxofre (SO₂ e SO₃) – São produzidos pela queima de combustíveis que contenham enxofre;

Óxidos de Nitrogênio (NO_x) – Considerando-se que a maior parte dos processos de combustão ocorre na presença do oxigênio, o mais comum é utilizar o oxigênio presente no ar para realizar esses processos. Como o nitrogênio é o composto mais abundante no ar, verifica-se, então, que a principal fonte de óxidos de nitrogênio são os processos de combustão.

Hidrocarbonetos – Resultantes da queima incompleta dos combustíveis, bem como da evaporação destes combustíveis e de outros materiais, como por exemplo, solventes orgânicos.

Materiais particulados (MP) – No caso de poluição atmosférica, entende-se que são as partículas de material sólido e líquido capazes de permanecer em suspensão, como é o caso da poeira, da fuligem e das partículas de óleo.

Calor – O calor é uma forma de poluição atmosférica por energia, que ocorre principalmente por causa da emissão de gases a altas temperaturas para o meio ambiente, oriundos principalmente do processo de combustão.

Assim, o uso eficiente da energia gera impactos positivos para o meio ambiente, pois a redução do uso de combustíveis se traduz diretamente na redução da emissão de poluentes atmosféricos.

4.2 – Gerenciamento ambiental

A gestão ambiental pode ser entendida como o conjunto de ações encaminhadas para obter uma máxima racionalidade no processo de decisão relativo a conservação, defesa, proteção e melhoria do meio ambiente (LIMA, 2010).

As exigências ambientais passaram a transformar-se em requisito no comércio internacional, representando uma importante ferramenta de modernização e competitividade (CNI, 2005), o que levou as empresas a se preocuparem com o gerenciamento dos recursos naturais e, mais recentemente, a investirem em

tecnologias eficientes para redução das perdas e correta destinação dos excedentes do processo.

Analisando o histórico do gerenciamento ambiental pode-se visualizar na Figura 4 a evolução das questões ambientais nas últimas décadas.

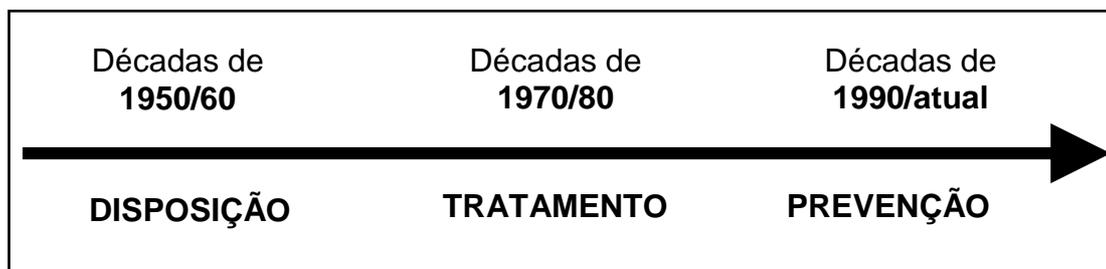


Figura 3 – Evolução das questões ambientais
Fonte: SENAI-RS (2003)

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 (SENAI-RS, 2003).

O gerenciamento ambiental tem sido visto, especialmente desde o início da década de 1990, como ferramenta de competitividade. Isto tem ocorrido no contexto da globalização dos mercados, cujas relações de comércio influenciam, de modo determinante, as vantagens competitivas ligadas à diferenciação de produto e à redução de custos. As empresas que se preocupam com a melhoria de seu nível de competitividade, aumentando continuamente sua capacidade tecnológica, supostamente estão mais aptas a adotar o gerenciamento ambiental (VIEGAS; FRACASSO, 1998).

O gerenciamento dos aspectos ambientais, incluindo os aspectos energéticos, permite às fundições a busca da melhoria contínua e o permanente desenvolvimento de ações voltadas à redução dos impactos ao meio ambiente. Como a inovação é um componente cada vez mais importante no processo produtivo, a utilização de novas tecnologias, que alterem o rumo das trajetórias tecnológicas é fundamental para a sustentabilidade ambiental nas empresas. O gerenciamento da produção também

contribui para a redução dos impactos ambientais, sendo a redução dos estoques, a minimização dos defeitos e retrabalhos, medidas que favorecem a redução dos insumos produtivos e de energia empregados pelas fundições.

Quanto aos aspectos energéticos, embora o Brasil tenha iniciado vários programas nas décadas de 1970-80, o programa de conservação de energia não conseguiu desenvolver níveis razoáveis de eficiência e eficácia. Somente depois do “apagão” de 2001 é que esse campo tem merecido mais atenção por parte das empresas e órgãos governamentais. Racionalizar energia significa, também, diminuir os impactos ambientais causados na geração e uso de energia e a sua conservação envolve aspectos importantes como o combate ao desperdício, o reaproveitamento de energia, o uso de tecnologias ou programas de racionalização de energia, cogeração, entre outros (SILVA, 2005).

Após a escolha de determinadas tecnologias de produto e processo, tem-se a caracterização das necessidades de energia para o processo de produção. Assim, as tecnologias de conservação de energia constituem uma dimensão de segunda ordem, ou seja, qualquer alteração na primeira dimensão afetará a segunda dimensão (SILVA, 2005). No entanto, ambas devem ocorrer de forma integrada, pois os custos energéticos são relevantes nas indústrias de transformação e as medidas de racionamento de energia contribuem para a redução dos custos do produto final.

Aspectos como a minimização de resíduos, redução das perdas e a prevenção e controle de poluentes são fundamentais para o desenvolvimento sustentável das fundições, que a partir da utilização de tecnologias eficientes, como a Produção mais Limpa (P+L), podem dar um novo direcionamento às práticas adotadas pelas empresas, de modo a reduzir os impactos ao meio ambiente. Deste modo, as tecnologias eficientes deixam de ser percebidas como custo e passam a representar um investimento para as fundições.

4.2.1 – Minimização de resíduos e perdas

A partir de um novo conceito de gerenciamento, que possui uma estrutura de ação fundamentada na prevenção e reciclagem, a minimização de resíduos e perdas tem se mostrado efetiva para combater o aumento da degradação ao meio ambiente, bem como para atender às normas ambientais (MATOS; SCHALCH, 2005).

A prevenção está relacionada à eliminação das causas que levam às perdas no processo produtivo. E, a reciclagem pode ser definida, em linhas gerais, como o conjunto de operações pelo qual o produto final é submetido a fim de proporcionar sua aplicação novamente no processo produtivo como matéria-prima (FAGUNDES *et al.*, 2009).

A reciclagem reduz a necessidade de consumo de novas matérias-primas e de energia. A economia total é o resultado da economia de energia na mineração, refino e outros processos pelos quais passa o metal. Adicionalmente, a reutilização do metal reduz a poluição da água e do ar, além de economizar água. De acordo com o *U.S. Environmental Protection Agency*, a reciclagem do metal reduz a poluição do ar em 86%, reduz o consumo de água em 40%, a poluição da água em 97% e os resíduos de mineração em 97% em comparação ao uso de minério de ferro (AFS, 2008).

O setor de fundição é considerado um grande poluidor, pois seus processos produtivos geram grande quantidade de resíduos em todas as suas etapas, sendo imprescindível o correto manuseio e destinação final destes resíduos, de forma a gerar o menor impacto possível ao meio ambiente. Ao mesmo tempo, este setor é um grande reciclador, pois utiliza materiais refugados da própria produção e descartados pela sociedade – objetos metálicos já considerados sucata – como matérias-primas para a constituição de seus produtos finais, reintroduzindo esses materiais à cadeia produtiva e ao mesmo tempo trazendo benefícios ao meio ambiente pela diminuição da extração de minérios e outros materiais diretamente da natureza, além de poupar energia que seria empregada nos processos primários de transformação (FAGUNDES *et al.*, 2009).

A sucata reutilizada como matéria-prima reduz os impactos ambientais. No entanto, a sucata para ser fundida deve estar limpa e essa limpeza pode ser feita com jateamento. Se houver agregados de areia na sucata há maior consumo energético e, para aquecer a areia é necessário duas vezes mais energia do que para fundir o metal e, no final, esse material será descartado como escória, que representa energia perdida (GIBBS, 2007).

Algumas referências sobre o uso da escória foram obtidas. Por exemplo, na Alemanha e Holanda este subproduto era usado para firmar encostas de barragens. Nos Estados Unidos e Coréia o mesmo era usado para jateamento de superfícies metálicas, e no Japão como agregado na construção civil. Também foram

identificadas as seguintes aplicações para a escória: matéria-prima para a fabricação de cimento; componente aditivo para asfalto e pisos industriais; leitos drenantes para percolação de líquidos; controle de erosão em encostas e taludes; agregado miúdo para a construção civil, sendo utilizada em concretos, argamassas e bases de pavimentação (TANIMOTO, 2004).

O aproveitamento dos resíduos da fundição abre espaço para conceitos de eco-eficiência relacionados à diminuição no uso de insumos, por meio de reciclagem, reuso e redução, tendo a mesma base tecnológica como referência. Neste caso, não há mudanças significativas no processo. No momento dos ciclos de investimento a preocupação se voltará simplesmente para a modernização e maior eficiência do processo produtivo, rompendo com antigos conceitos de produtividade (D'ÁVIGNON, 2001).

Em relação aos resíduos sólidos, a reciclagem, se existente, poderá se conduzida para o mesmo processo gerador ou para processos alternativos. No caso de resíduos líquidos essa reciclagem é mais trabalhosa e geralmente inviável economicamente, fazendo com que as empresas se preocupem, basicamente, em atender a legislação ambiental (SILVA, 2005).

Sob o enfoque da eco-eficiência, a areia de fundição pode passar pelos três estágios de reciclagem: a recuperação, a regeneração ou a reutilização. Após o vazamento do metal líquido nos moldes, a areia que entra em contato direto com o calor fica queimada, com resíduos metálicos e com torrões. Essa areia precisa passar por um processo de recuperação para que a parte com impurezas seja separada do restante da areia e, a parte reaproveitada, possa recircular no processo, somada a uma quantidade de areia nova. A areia retirada, que não recirculou no processo, passa pela etapa de regeneração, para a remoção dos materiais aderidos à superfície dos grãos de areia, com o propósito de devolvê-la características próximas das areias novas. Quando as condições físicas da areia não permitem mais a sua utilização no processo de fundição, a melhor opção é a sua reutilização como matéria-prima em outros setores da economia, como por exemplo, na fabricação de artefatos de concreto, cobertura de aterros, construção civil em geral, material para construção e na preparação de solos especiais.

A água industrial, em função do seu alto custo, tem levado às indústrias a avaliar as possibilidades internas de reuso e a considerar ofertas de companhias de

saneamento para a compra de efluentes tratados a preços inferiores ao da água potável dos sistemas públicos de abastecimento. Nas fundições, a água pode ser aproveitada para reuso, por exemplo, em torres de resfriamento, em caldeiras e para lavagem de gases das chaminés. As fundições sob pressão tendem a ser as maiores consumidoras de água da indústria, quando usam água para refrigerar os moldes, a maior parte das fundições joga o líquido da refrigeração através de uma bomba hidráulica, ao redor dos moldes, e então envia para baixo por um dreno. O que se deixa de fazer é parar o fluxo quando não se está vazando, o que reduz o consumo de energia (GIBBS, 2007).

As perdas de energia nas fundições ocorrem principalmente na etapa de fusão, que é a etapa de maior consumo energético. Se não houver o dimensionamento adequado dos fornos e o seu correto isolamento térmico, há maior consumo de energia. Em muitas empresas, os fornos funcionam com as tampas abertas para facilitar o seu carregamento, no entanto, as perdas de calor são altas, aumentando o consumo energético e, conseqüentemente, elevando o custo da conta de energia. Outras perdas energéticas ocorrem, por exemplo, em máquinas de rebarbação e ventiladores, que ficam ligados sem estarem em uso; sistemas de ar comprimido, que muitas vezes trabalham com pressão acima do necessário ou com vazamentos; e, sistema de iluminação inadequado, deixando de fazer uso da luz natural, setorização e sensores fotoelétricos.

4.2.2 – Prevenção e controle dos poluentes atmosféricos

As mudanças ainda são lentas na diminuição do potencial poluidor do parque industrial brasileiro, principalmente no tocante às indústrias mais antigas, que continuam contribuindo com a maior parcela da carga poluidora gerada e elevados riscos de acidentes ambientais, sendo, portanto, necessários altos investimentos de controle ambiental e custos de despoluição para controlar a emissão de poluentes (KRAEMER, 2005).

O sistema mais adequado para captação das impurezas do processo de fundição é aquele localizado o mais perto possível das fontes de impurezas, porém, a total eliminação de partículas, especialmente as mais finas (para tanto as mais perigosas), é sempre muito difícil, apesar da presença dos melhores equipamentos (VIVIANI, 2010).

As fundições utilizam em seus processos produtivos, principalmente, as técnicas de controle, ou seja, técnicas “fim-de-tubo”. Essas técnicas tratam o resíduo após a sua geração, no entanto, para reduzir os impactos ao meio ambiente é necessário um modelo produtivo que não gere resíduos e poluentes para o meio ambiente.

A escolha do combustível a ser utilizado é muito importante, pois este deve apresentar alto poder calorífico, garantindo energia suficiente para aquecer os fornos a elevadas temperaturas e gerar o menor número de poluentes possível. Quando o combustível utilizado gera resíduos na sua combustão, são adotadas medidas de redução e controle dos poluentes atmosféricos.

Para controle da emissão de materiais particulados as fundições utilizam os seguintes dispositivos: filtros de manga ou de tecido, coletores mecânicos inerciais e gravitacionais, coletores mecânicos centrífugos (ciclones), coletores úmidos, pós-queimadores e precipitadores eletroestáticos.

Os filtros de tecido ou manga são amplamente utilizados nas fundições, possuem alta eficiência e seu custo é alto, porém possuem baixa resistência às altas temperaturas. O sistema de funcionamento se dá através do fluxo gasoso, que é forçado através de um meio poroso (filtro), que retém o material particulado.

Os ciclones também apresentam utilização em larga escala nas fundições, pois estes possuem baixo custo e alta resistência a corrosão e a altas temperaturas. O ciclone se baseia na ação da força centrífuga que age sob as partículas carregadas pelo fluxo de gás, empurrando-as na direção das paredes e retirando-as do fluxo gasoso.

Para controle de gases e vapores as fundições utilizam: adsorventes, absorventes, incineração de gás com chama direta, incineração de gás catalíticos e tratamento biológico.

No caso dos fumos e poeiras quentes é necessário fazer o resfriamento dos fumos, que contém essa poeira, antes de depurá-la em equipamentos específicos, que separam os contaminantes dos gases através da filtração. E, no sistema por via úmida é utilizada água fria para resfriar a poeira que sai junto com os gases gerados

durante a combustão. Esses gases possuem enxofre (SO₂ e SO₃) e nitrogênio (NO₂ e NO₃), que podem formar ácidos. Assim, são utilizados neutralizadores para esses poluentes. Após o resfriamento, é necessário fazer a separação do material particulado, através da depuração dos fumos.

Quanto aos coletores úmidos, pode-se destacar: os pulverizadores ou torre de *spray*, lavador ciclônico, lavador Venturi; e, lavador de leito móvel.

Também são utilizados ventiladores para aspirar os gases e lavar os tecidos. Todos os equipamentos que fazem a separação do material particulado, para funcionar, precisam de máquinas para empurrar ou aspirar os gases a serem limpos. A limpeza utilizando ar comprimido é o sistema mais avançado, pela simplicidade, eficácia, baixos custos de realização, manutenção e alta confiabilidade.

A abordagem fim-de-tubo (*end-of-pipe*), que procura corretivamente diminuir os efeitos da poluição através de processos de tratamento que minimizem impactos ao ambiente externo a indústria, está sendo substituída gradativamente por abordagens preventivas de modo a reduzir a quantidade ou a toxicidade dos resíduos gerados (OKIDA, 2006).

Como exemplo da substituição de materiais e insumos nas fundições, pode-se destacar (MAHANTI *et al.*, 2003):

- As fundições que usam fornos cubilô movidos a coque, podem transformar seus fornos em cubilôs a gás, resultando em grande redução das emissões poluentes;
- O uso de fornos de indução para derretimento do metal e o uso de sucatas limpas resultam em uma rota de produção mais limpa;
- Os ligantes a base de inorgânicos (bentonitas) são melhores que os orgânicos, já que os primeiros são menos poluidores.

A estratégia adotada para controle da poluição deve ser reformulada. Em vez de se dar ênfase a busca de soluções dos problemas de poluição, após os mesmos terem sido criados, considerando que os materiais e resíduos foram produzidos e têm potencial de prejudicar o meio ambiente, devem ser adotadas estratégias que visem a evitar que a poluição seja gerada e que ocorram as emissões, eliminando a necessidade de adoção de métodos de controle (BRAGA *et al.*, 2005).

4.2.3 – Produção mais Limpa

A Produção mais Limpa (P+L) foi definida pela UNIDO/UNEP (1995) como “a aplicação continuada de uma estratégia ambiental preventiva e integrada aos processos, produtos e serviços, a fim de aumentar a eficiência e reduzir os riscos para os homens e o meio ambiente” (LEMOS, 1998). É a aplicação de uma estratégia técnica, econômica e ambiental integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos e emissões geradas, com benefícios ambientais, de saúde ocupacional e econômicos. Aborda a variável ambiental em todos os níveis da empresa, como por exemplo, a compra de matérias-primas, a engenharia de produto, o *design*, o pós-venda, e relaciona as questões ambientais com ganhos econômicos para a empresa (SENAI-RS, 2003).

A metodologia da P+L inclui a identificação de áreas de uso ineficiente de recursos e má gestão de resíduos, tendo como foco os aspectos ambientais e, portanto, os impactos dos processos industriais. É necessária uma avaliação ambiental na empresa para determinar os impactos ambientais positivos e negativos. Em muitos casos, as vantagens ambientais são evidentes: a redução de toxicidade, da quantidade de resíduos e das emissões. Em outros casos, é necessário avaliar se um aumento no consumo de eletricidade compensaria as vantagens ambientais da redução do consumo de materiais (UNIDO/UNEP, 1995).

No modo de produção atual das fundições, o desperdício de matérias-primas e de energia ocorre, principalmente, através da geração de resíduos e emissões. A prevenção na geração de excedentes no processo é uma alternativa ambientalmente adequada quando comparada com as técnicas de controle, que tratam o resíduo gerado, mas estes não são reduzidos.

As fundições dependem dos recursos naturais para sua produção e mesmo havendo a redução dos resíduos e perdas, ainda existem excedentes nos processos, que precisam ser remanejados deste setor para outro quando não mais forem adequados para as empresas. 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 dos resíduos, que são transformados em subprodutos e reinseridos em outra cadeia produtiva (TANIMOTO, 2004).

O aproveitamento de um resíduo gerado em setor da economia por outro setor é conhecido como “simbiose industrial”. A expressão “simbiose” vem da natureza onde dois ou mais seres de espécies diferentes convivem de forma que a soma de esforços coletivos supera a soma dos esforços individuais. O resíduo deixa de ser descartado no meio ambiente e passa a ter valor como matéria-prima em outro processo produtivo, reduzindo a degradação ambiental. A simbiose industrial vem sendo adotada em vários países do mundo como alternativa de solução para evitar a geração dos resíduos e como um instrumento de gestão ambiental para promoção do desenvolvimento sustentável. A empresa melhora sua performance ambiental e econômica ao diminuir a poluição ambiental e os resíduos gerados (TANIMOTO, 2004).

A P+L atua na prevenção, para que não sejam gerados resíduos no processo, ou para que estes sejam reduzidos e apenas o necessário seja produzido. As empresas evoluem de um estágio no qual reagem à regulação ambiental, adotando principalmente as tecnologias “fim-de-tubo”, para um estágio que produz um impacto ambiental mínimo, responsabilizando-se por todas as etapas do processo (do berço ao túmulo), através de ações de produção mais limpa, com foco no ciclo de vida do produto. A Figura 5 explicita a evolução das empresas em direção a produção mais limpa, que interage diretamente com processos produtivos e com a concepção de produtos.

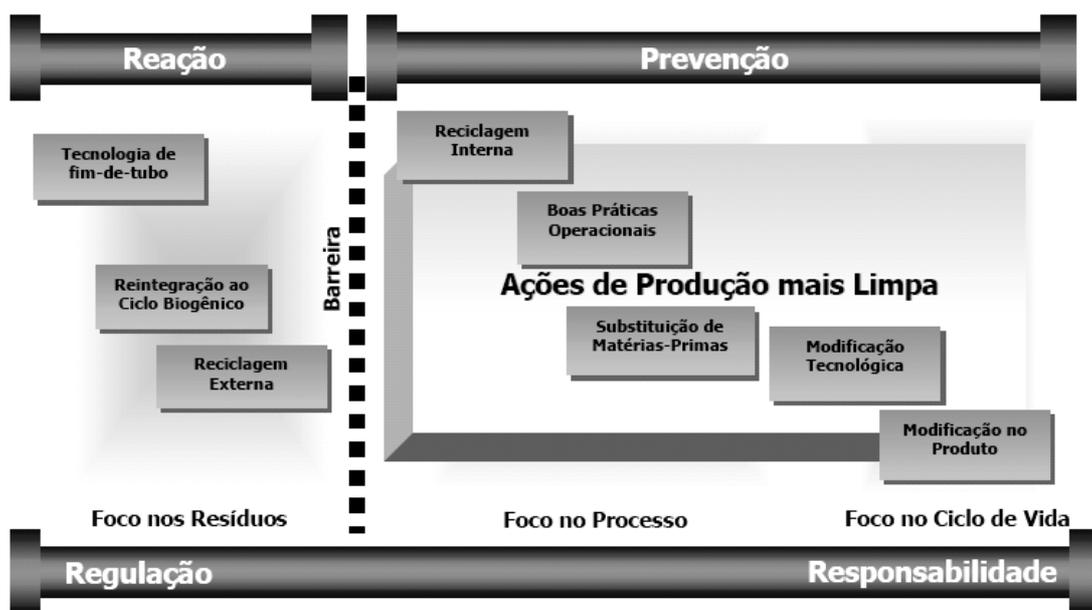


Figura 4 – Evolução das empresas rumo a produção mais limpa
 Fonte: SENAI-RS (2003) – Adaptado de: Prof. Van Berkel, Centre of Excellence in Cleaner Production, Curtin University of Technology, Western Australia.

Define-se estratégias de P+L como as abordagens preventivas aos processos industriais e desenhos de produtos que permitam o progresso através dos objetivos de minimização do desperdício; redução no uso de matérias-primas e energia; maximização da eficiência da energia e minimização total dos impactos ambientais em todos os estágios da produção e do consumo, através de mudanças no projeto, produção, distribuição, consumo e disposição final dos produtos (Christie *et al. apud* LEMOS, 1998).

As medidas relacionadas ao P+L impactam, frequentemente, os recursos produtivos da empresa. Se ocorrer o desenvolvimento sustentável de produtos (*ecodesign*) combinado com a melhor gestão dos recursos produtivos, a rentabilidade da empresa é maior. A análise dos produtos, tanto quanto dos métodos de trabalho e da consideração das necessidades dos consumidores, podem gerar produtos inovadores, seja em relação ao ciclo de vida, ou em relação a melhorias estratégicas e medidas bem sucedidas de *ecodesign*. Além disso, o *ecodesign* garante o sucesso futuro da empresa, pois define responsabilidades, motiva os colaboradores, evita ou minimiza os impactos ambientais adversos, reduz a intensidade energética e materiais utilizados durante o ciclo de vida do produto (UNIDO/UNEP, 1995).

Através da utilização inteligente dos recursos disponíveis, o *ecodesign* tem como objetivo um design de produto e processo que assegura o máximo benefício para todos os atores envolvidos, bem como a satisfação dos consumidores, causando impactos ambientais mínimos (UNIDO/UNEP, 1995).

A P+L não apenas inclui novas tecnologias, ela também envolve práticas administrativas, modificações de processos, projeto de produto, novos equipamentos e novos materiais, consistindo na aplicação de uma estratégia integrada e preventiva de projetar produtos e processos, para que haja uma eficiência ambiental aumentada, eficaz e econômica. É uma iniciativa pela qual os bens podem ser produzidos com a tecnologia apropriada usando materiais ecológicos (materiais conscientes ambientalmente) com o mínimo de impacto ambiental adverso, dentro dos limites técnicos e econômicos (MAHANTI *et al.*, 2003).

Tendo-se visto o que é P+L, faz-se necessário explicar-se, também, o que não é P+L. Assim, tem-se que reciclagem e tratamento de efluentes não dizem respeito à P+L, pois são abordagens essencialmente “fim-de-tubo” e não-preventivas (LEMOS, 1998).

4.2.4 – Legislação ambiental

No Brasil e em muitos outros países, durante um longo período de tempo, a poluição era vista como indicativo de progresso. Essa percepção foi mantida até que os problemas relacionados à degradação do meio ambiente, contaminação do ar, da água e do solo – com efeitos diretos sobre os seres humanos – se intensificaram. Com uma maior abertura dos mercados, empresas localizadas em países com uma legislação ambiental mais desenvolvida passaram a alegar uma desvantagem competitiva em relação às empresas dos países onde a legislação era mais branda ou não existia. Assim sendo, houve a necessidade de transformar essa desvantagem em vantagem, de maneira que as empresas que investissem na proteção do meio ambiente pudessem se tornar mais competitivas, contribuindo para o aprimoramento das relações entre desenvolvimento e meio ambiente (BRAGA *et al.*, 2005).

As empresas estão descobrindo que além da necessidade de atendimento expresso à legislação, os benefícios alcançados pelas organizações superam os custos envolvidos a médio ou longo prazo. Entre os benefícios podemos citar a redução e/ou não aplicação das multas pelos órgãos ambientais e a satisfação da comunidade com a consequente melhoria de imagem da empresa através do ganho na qualidade de vida dos funcionários e circunvizinhos (SOUZA; VILLEGAS, 2009).

A legislação ambiental brasileira se divide em três esferas: federal (legislação geral), estadual (legislação peculiar) e municipal (legislação para atender os interesses locais). Destacam-se, abaixo, as principais leis de âmbito federal, que versam sobre a questão ambiental e que abrangem diretamente às fundições:

- **Lei da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei federal nº 6.938/81)** - É a lei ambiental mais importante. Esta define que o poluidor é obrigado, independentemente de culpa, a indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros, afetados por sua atividade.
- **Lei da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei federal nº 9.433/97)** – Esta lei assegura a necessária disponibilidade de água, a utilização racional e integrada dos recursos e a prevenção e defesa dos eventos hidrológicos críticos, além de criar o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
- **Lei de Crimes Ambientais (Lei federal nº 9.605/98)** – Esta lei reordena a legislação ambiental brasileira no que se refere às infrações e punições,

permitindo responsabilizar administrativa, civil e penalmente pessoas físicas ou jurídicas, autoras ou co-autoras de prejuízos causados à qualidade do meio ambiente.

- **Lei de Educação Ambiental (Lei federal nº 9.795/99)** - Esta lei dispõe sobre a educação ambiental para todos. Nas empresas, como parte do processo educativo mais amplo, visa promover programas destinados à capacitação dos trabalhadores, visando à melhoria e ao controle efetivo sobre o ambiente de trabalho, bem como sobre as repercussões do processo produtivo no meio ambiente.
- **Lei de Resíduos Sólidos (Lei Federal nº 12.305/2010)** – Esta lei dispõe sobre o gerenciamento de resíduos sólidos, alterando inclusive, a Lei de Crimes Ambientais. Um ponto de destaque desta lei é a adoção de “logística reversa”, para viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos para reaproveitamento ou destinação final ambientalmente adequada, com responsabilidade compartilhada de acordo com o grau de envolvimento na produção do resíduo.

Além destas leis específicas, cabe ressaltar a introdução da matéria ambiental na Constituição Brasileira de 1988, que é um marco histórico, pois nas Constituições precedentes jamais houve preocupação com a proteção do meio ambiente de maneira específica e global. Hoje, em 18 passagens, há referência a esta locução (BRAGA *et al.*, 2005).

Por se tratar de uma República Federativa, no Brasil, a legislação relacionada ao controle ambiental considera três níveis hierárquicos, como ocorre no caso das normas relacionadas a outros temas, ou seja, à União cabe o estabelecimento de leis e normas gerais que são válidas em todo território nacional; aos Estados cabe o estabelecimento de leis e normas peculiares; enquanto aos Municípios cabe o estabelecimento daquelas que visem atender os interesses locais.

4.2.5 – Normas de certificação

Com uma maior preocupação com as atividades industriais desenvolvidas e os impactos resultantes sobre o meio ambiente, o que decorreu de uma associação de vários fatores, os procedimentos para o gerenciamento eficaz das relações entre desenvolvimento econômico e meio ambiente foram aperfeiçoados (BRAGA *et al.*, 2005), dando origem a uma série de normas

direcionadas ao aperfeiçoamento do processo produtivo e dos impactos ao meio ambiente.

Na última década, milhares de empresas em todo o mundo adotaram normas de certificação como forma de se adequar a um mercado cada vez mais exigente em relação aos seus produtos e serviços. Algumas decidiram adotá-las por pressão dos clientes (por meio de contrato ou de preferência declarada de compra). Para outras, foi a conclusão natural do processo de formalização dos sistemas de gestão, ou simplesmente para mostrar que estavam a altura de seus concorrentes. No Brasil, o processo de busca de certificação também vem crescendo (ESF, 2007) e as indústrias de fundição brasileiras estão, gradativamente, se adequando às normas e implementando certificações, de acordo com o mercado onde estas atuam. As normas de certificação ambiental favorecem também o atendimento à legislação, pois as empresas precisam se adequar a diversos critérios de preservação ambiental.

Dentre as principais normas certificadoras adotadas pelas indústrias de fundição brasileiras, pode-se destacar: as normas da série ISO 9000, ISO 14000, a QS 9000, OHSAS 18000 e TS-16949.

Conforme destacado no ESF (2007):

- A norma ISO 9001, publicada em 1987 pela *International Organisation for Standardization* (ISO), é a primeira de uma série denominada 9000. Abordando aspectos relacionados à gestão da qualidade de projetos, desenvolvimentos, produção, instalações e assistência técnica, estabelece requisitos básicos para o sistema de gestão da qualidade;
- A série de normas ISO 14000, lançada em setembro de 1996, introduz o meio ambiente como uma variável importante na estratégia dos negócios. Seus requisitos básicos vêm rapidamente ganhando reconhecimento como fundamentos para o sistema de gestão ambiental;
- A norma TS 16949 é uma especificação técnica dirigida às organizações que produzem automóveis e peças automotivas. Desenvolvida de acordo com às normas ISO, é também chamada de ISO/TS 16949. Alinha as diversas exigências de sistemas de qualidade automotores que existem globalmente;

- A série de normas OHSAS 18000, desenvolvida por um grupo de órgãos de certificação e normatização de diversos países, constitui-se em um guia para implementação de sistemas de gestão de segurança e saúde ocupacional. Seus requisitos dão especial atenção à minimização do risco para pessoas.

E, segundo Silva (1997):

- A QS-9000, que é uma interpretação da ISO 9000 para o setor automotivo, com o objetivo de satisfazer aos padrões internacionais e aos requisitos individuais de produtos das empresas, harmonizando os padrões e requisitos coletivos da rede de fornecedores da indústria automotiva. A QS-9000 foi desenvolvida a fim de padronizar os sistemas de qualidade e manuais fundamentais, assim como ferramentas de avaliação dos fornecedores.

Como as normas da série ISO 9000 são genéricas, podendo ser aplicada em qualquer empresa, de qualquer setor, surgiu a necessidade de se criar normas internacionais específicas para atender o setor automotivo, considerando que as próprias empresas do setor já haviam se antecipado e elaborado uma norma de padronização para gerenciamento da qualidade. A ISO então criou a ISO TS 16949, como alternativa a QS-9000, para indústrias de produção automotiva e peças de reposição pertinentes, visando incentivar a melhoria tanto na cadeia de fornecedores quanto no processo de certificação. A ISO TS 16949 unificou os requisitos das montadoras estadunidenses, européias e japonesas.

Segundo a FIRJAN (2008), grandes empresas começam a exigir de sua cadeia de fornecedores, de forma classificatória, e por vezes até excludente, o cumprimento de normas da série ISO 14000. Essa é uma tendência real: as cadeias de fornecedores de empresas certificadas pela ISO 14001 estão sendo levadas à implementação de Sistemas de Gestão Ambiental, ou de parte deles, para atender aos requisitos de clientes, mesmo que não cheguem efetivamente à certificação. Aplicam-se a norma ISO 14001 às empresas de atividades industriais, extrativas, agroindustriais e de serviços, certificando as instalações da empresa, linhas de produção e produtos que satisfaçam os padrões de qualidade ambiental (SOLEDADE *et al.*, 2007).

Dentre os benefícios que podem ser alcançados após a implementação da ISO 14001, pode-se destacar (NASCIMENTO; POLEDNA, 2002): a redução do custo de disposição dos resíduos; melhoria da imagem, da relação com os clientes; melhora o relacionamento com autoridades regulamentadoras; aumento do acesso aos fundos de investimentos; redução do seguro de investimentos; redução dos riscos de responsabilidade de despoluição; redução do custo de energia; habilidade para correção de problemas potenciais antes de causar danos ambientais; demonstração de comportamento ambiental esperado; e, vantagens competitivas sustentáveis, através de sistemas de gestão ambiental.

Quanto à gestão energética, já foi desenvolvida pela ISO uma norma internacional, intitulada ISO 50001, para gestão de energia nas instalações industriais, comerciais ou organizações. Estima-se que esta norma contribuirá para a redução de até 60% do consumo mundial de energia (ISO, 2008).

Segundo a ISO, o documento é baseado em elementos comuns encontrados em todas as normas ISO do sistema de gestão, garantindo um elevado nível de compatibilidade com a ISO 9001 e ISO 14001. A ISO 50001 fornecerá os seguintes benefícios:

- Integrar a eficiência energética às práticas de gestão;
- Otimizar o consumo de energia dos ativos existentes;
- Medir, comparar, documentar e relatar as melhorias da intensidade energética e seu impacto sobre a redução projetada de gases de efeito estufa (GEE);
- Transparência e comunicação sobre a gestão dos recursos energéticos;
- Melhores práticas de gestão e de desempenho energético;
- Avaliar e priorizar a implementação de novas tecnologias energeticamente eficientes;
- Promoção da eficiência energética em toda a cadeia de abastecimento;
- Melhorias na gestão de energia no contexto de projetos de redução de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE).

A norma de gestão energética, ISO 50001, foi publicada simultaneamente pela ISO e pela ABNT no dia 15 de junho de 2011, sendo válida a partir de 15 de julho de 2011. Esta norma visa auxiliar as organizações a melhorar o seu

desempenho energético, aumentar a eficiência energética e reduzir os impactos das mudanças climáticas.

Capítulo 5

ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DO INSTRUMENTO DE PESQUISA

O contexto para desenvolvimento desta pesquisa envolve o levantamento bibliográfico realizado e o conhecimento das fundições a partir das visitas exploratórias e técnicas. As visitas exploratórias visaram o conhecimento geral das fundições e seus processos produtivos. As visitas técnicas aconteceram quando já se dispunha de conteúdo prévio e precisava-se ampliar o conhecimento sobre as questões ambientais e energéticas nas fundições. As visitas técnicas foram realizadas em empresas do setor e nas escolas de fundição do SENAI de Itaúna e Cláudio/MG.

Como referenciais para elaboração do questionário foram utilizados: o ESF (2007); a Pintec (2005); e, artigos e publicações relacionadas aos aspectos ambientais e energéticos. Também foi realizada consulta a especialistas da área de eficiência energética do Centro de Aplicação de Tecnologias Eficientes – CATE, localizado na Eletrobras Cepel.

O “Questionário do Perfil Ambiental e Energético” foi desenvolvido na internet, através da utilização de um *software* livre para aplicação de questionários *online*. As empresas do setor de fundição acessaram o questionário mediante a utilização de senha individualizada. Não foram enviados questionários em papel e em nenhuma outra mídia impressa.

Após o desenvolvimento do questionário, este foi enviado à empresa de consultoria Setepla Tecnometal Engenharia, para análise por um consultor na área de fundição. Após ajustes necessários, obteve-se a versão final do questionário, que foi desenvolvido em uma página dinâmica da web, utilizando o *software Limesurvey*.

Foram contatadas 520 empresas de fundição brasileiras. O cadastro das empresas do setor foi fornecido pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), localizado no endereço eletrônico “www.redemetalmeccanica.eng”, que coordenou o ESF com o apoio da ABIFA. Foram também utilizados os cadastros

de empresas disponibilizados no Guia da ABIFA 2010 e no Guia de Empresas da ASIMEC – Associação das Indústrias Metalúrgicas de Cláudio/MG.

Houve um primeiro contato com as empresas, por e-mail, informando sobre a pesquisa e sobre a página disponível na internet, com informações sobre o estudo que estava sendo realizado. O primeiro contato visou divulgar a pesquisa, posteriormente, cada uma das empresas de fundição foi contatada por telefone, visando estreitar a interação com os respondentes.

O código de acesso ao questionário foi enviado às empresas de fundição no dia 16/11/2010 e, no dia 15/01/2011 a permissão de acesso foi encerrada. Posteriormente, realizou-se a compilação e análise dos resultados.

5.1 – Atividades preliminares

Foi elaborada uma página na internet (Apêndice 3), disponibilizada em um servidor da UFRJ, localizada no endereço eletrônico “www.gavea.pep.ufrj.br”, para apresentação do questionário intitulado “Perfil Ambiental e Energético das indústrias do setor de fundição” (Apêndice 1) e com informações sobre a pesquisa que estava sendo desenvolvida. Também foram disponibilizadas, nesta página, duas cartas de apresentação, uma da UFRJ e outra da ABIFA.

O objetivo inicial do questionário foi dar continuidade ao levantamento realizado no ESF (2007), abordando aspectos que aquele estudo havia apontado e que caberia investigação, em função da amplitude da temática ambiental e energética. O atual levantamento foi realizado pela internet, em virtude de não existir tempo hábil e mão-de-obra disponível para visitar individualmente cada indústria de fundição brasileira e realizar o questionário pessoalmente.

5.2 – Software utilizado

Foi utilizado para desenvolvimento do questionário o *software* livre *Limesurvey*, disponível na internet, no endereço eletrônico “<http://www.limesurvey.org>”. O *software* foi instalado em um servidor localizado na UFRJ, onde os dados foram gerenciados.

Foram cadastrados no *software* apenas o nome da empresa e o e-mail do responsável, para que fossem gerados os códigos de acesso alfanuméricos, de 10 dígitos, para cada empresa. Na configuração do questionário optou-se pela não identificação da empresa respondente.

O *Limesurvey* também permitiu enviar mensagens para os *e-mail's* cadastrados, de forma que todas as empresas recebam as mesmas informações e orientações durante a sua vigência.

5.3 – Estrutura do questionário

O questionário foi dividido em três partes: perfil produtivo, perfil ambiental e perfil energético, sendo composto por 109 itens. A última questão foi um espaço aberto a comentários, caso o respondente achasse necessário.

As questões foram classificadas como (MARCONI; LAKATOS, 1999): abertas (permitem ao informante responder livremente); fechadas (alternativas fixas, escolhendo dentre duas opções); múltipla escolha (perguntas fechadas, com várias respostas possíveis); e, escala de Lickert (gradação quantificada das proposições).

No questionário desenvolvido (Apêndice 1), 80% das perguntas já apresentavam as possíveis respostas, o que contribuiu para o seu preenchimento, considerando o número de perguntas utilizado. Entende-se que o questionário ficou extenso, porém a temática abordada é ampla e optou-se por obter um panorama do perfil ambiental e energético do setor de fundição, em vez de limitar-se a questões pontuais.

Na primeira parte do questionário, PERFIL PRODUTIVO, são delimitados: dados de localização das empresas, segmentos de mercado, tipo de ligas utilizadas, dados operacionais, dados mercadológicos e informações sobre os fornos utilizados pelas fundições. Buscou-se dados especificamente dos fornos, por serem estes equipamentos os mais importantes no processo de fundição. Os fornos caracterizam o processo em questão, pois a partir da sua utilização o metal muda de estado físico para constituição do produto final, que é comercializado pela empresa. Constam nesta etapa do questionário 23 questões, sendo 10 múltipla escolha, 2 fechadas, 10 abertas e 1 mista. A Tabela 3 apresenta as questões da primeira parte do questionário.

Tabela 3 – Questionário – Perfil Produtivo

Perguntas do perfil produtivo	
1	Em qual Estado se localiza a empresa?
2	Qual município?
3	Qual o segmento de mercado da empresa?
4	Cite a produção da empresa (toneladas/ano 2009) por tipo de metal.
5	Qual o percentual de cada liga em relação a produção total da empresa?
6	A empresa opera em quantos turnos?
7	Qual a capacidade instalada da empresa (t/ano)?
8	A empresa produz quantas toneladas de peças fundidas por ano?
9	Qual o número de funcionários da empresa, conforme discriminado a seguir: fundição/usinagem/administração.
10	Qual a origem do capital controlador da empresa?
11	No caso de capital controlador estrangeiro, qual a sua localização?
12	Informe o percentual de exportação da empresa (por tonelada).
13	Para qual país/região a empresa EXPORTA? (Informe ao lado do item marcado a tonelada exportada em valores percentuais)
14	Qual setor consumidor sua empresa atende?
15	Especifique o percentual de vendas da empresa para cada setor citado abaixo.
16	Sua empresa é: parte de um grupo/independente
17	Onde se localiza a matriz do grupo/empresa?
18	Qual a receita líquida de vendas de peças fundidas (decretada no balanço da empresa ou Simples) em dezembro de 2009?
19	A sua empresa possui vínculo com incubadora, universidade ou centro de pesquisa?
20	A empresa desenvolve pesquisa e desenvolvimento (P&D)?
21	Informe a quantidade de cada tipo de forno que a empresa possui.
22	Qual a idade média de cada tipo de forno utilizado pela empresa (em anos)?
23	Descreva outras características relacionadas aos fornos utilizados.

Fonte: Elaboração própria

Na segunda parte, PERFIL AMBIENTAL, são delimitados: os dados relacionados às inovações tecnológicas de produto e processo nas fundições pesquisadas, que contribuíram para a redução do impacto ambiental, as inovações e projetos implementados pelas empresas; a motivação para a implementação de novas tecnologias; as técnicas e soluções adotadas para eliminar ou minimizar os impactos ambientais; os fatores que contribuíram para o investimento na gestão ambiental; as normas utilizadas; a utilização dos insumos produtivos e o controle e destinação dos excedentes do processo.

Constam nesta etapa do questionário 51 questões, sendo 23 múltipla escolha, 17 fechadas, 9 abertas e 2 escala de Lickert. As questões desta segunda parte estão subdivididas em 5 partes: aspectos gerais, área de fundição, resíduos sólidos, água e poluentes atmosféricos, conforme destacado na Tabela 4.

Tabela 4 – Questionário – Perfil Ambiental

Perguntas do perfil ambiental	
	<i>Inovação tecnológica e aspectos gerais</i>
24	A empresa implementou algum produto novo (bem produzido) ou significativamente aperfeiçoado que utilizasse menos recursos naturais (combustíveis, minério, etc.) no seu desenvolvimento?
25	O produto implementado (produto novo) que reduziu o impacto ambiental é:
26	Em termos técnicos, esse PRODUTO que reduziu o impacto ambiental é:
27	Quem desenvolveu a inovação de PRODUTO que reduziu o impacto ambiental foi: [principalmente a empresa/ principalmente outra empresa do grupo/ a empresa em cooperação com universidades ou centros de pesquisas / Principalmente outra empresa]
28	Descreva brevemente o principal PRODUTO desenvolvido pela empresa, que reduziu o impacto ambiental:
29	A empresa implementou algum PROCESSO novo ou significativamente aperfeiçoado que contribuiu para a redução do impacto ambiental?
30	O PROCESSO implementado que reduziu o impacto ambiental é:
31	Em termos técnicos, esse PROCESSO que reduziu o impacto ambiental é:
32	Descreva brevemente o principal PROCESO que reduziu o impacto ambiental:
33	A empresa adquiriu MÁQUINAS E/OU EQUIPAMENTOS que contribuíram para a redução do impacto ambiental?
34	A máquina e/ou equipamento adquirido pela empresa, que reduziu o impacto ambiental, foi alocado em qual etapa do processo produtivo?
35	A empresa utilizou algum projeto de produto e/ou processo, que foi ABANDONADO, e que tinha o objetivo de reduzir o impacto ambiental?
36	A empresa possui projeto de produto e/ou processo, ainda INCOMPLETO, que vise reduzir o impacto ambiental?
37	Qual a motivação para sua empresa implementar novas tecnologias de PRODUTO que reduzam o impacto ambiental?
38	Qual a motivação para sua empresa implementar novas tecnologias de PROCESSO que favoreçam a redução do impacto ambiental?
39	Há um setor/área exclusivo para gerenciamento ambiental na empresa?
40	Caso a pergunta anterior seja negativa, possui uma pessoa que se encarrega de realizar o gerenciamento ambiental na empresa?
41	Qual solução sua empresa adota para ELIMINAR/MINIMIZAR os impactos ambientais relacionados ao processo produtivo?
42	Numa escala de 1 a 5, associe os fatores que contribuem ou contribuíram para a empresa investir na gestão ambiental para cada um dos itens apresentados.
43	A empresa adota programa de educação ambiental para os funcionários?
44	Quais normas a empresa adota?
45	Sua empresa adota tecnologia para redução/minimização de resíduos?
46	A técnica de minimização de resíduos está relacionada a:
	<i>Areia de fundição</i>
47	Sua empresa utiliza areia no processo produtivo? [caso não utilize, avançar para a próxima etapa]
48	Qual a quantidade mensal de areia nova que a empresa utiliza (em toneladas)?
49	Qual o principal tipo de areia utilizado no processo produtivo da empresa?
50	Qual a quantidade mensal de areia que é REUTILIZADA pela empresa (em toneladas)?
51	Qual a quantidade mensal de areia que é DESCARTADA pela empresa (em toneladas)?
52	Qual a destinação da areia descartada?
53	Qual o percentual de areia que é reutilizado no processo, para cada tonelada de areia nova?
54	Sua empresa possui máquinas/equipamentos para recuperação de areia de fundição?
55	Sua empresa faz recuperação de areia através de processo térmico?
	<i>Resíduos sólidos</i>
56	Numa escala de 1 a 5, associe os fatores que dificultam o gerenciamento dos resíduos sólidos pela indústria.
57	A empresa possui máquinas/equipamentos para recuperação de resíduos sólidos?

Perguntas do perfil ambiental (conclusão)	
58	A empresa possui incinerador para queima de resíduos sólidos?
59	Qual o tipo de equipamento utilizado para controle de materiais particulados?
60	Como a empresa descarta a ESCÓRIA proveniente do processo de fundição?
61	Qual a destinação das CINZAS oriundas do processo produtivo?
	Água
62	Qual a quantidade de água utilizada no processo produtivo/mês?
63	A empresa adotou processo novo, que reduziu o consumo de água?
64	Quanto ao abastecimento de água na fundição: [escolha as opções que se aplicam]
65	A água utilizada na fundição é diretamente lançada na rede coletora de esgoto público?
66	Sua empresa possui Estação de Tratamento de Água (ETA)?
67	Qual o volume de água tratada por mês?
68	A água utilizada para resfriamento do metal fundido é utilizada em outro processo, através da recuperação de calor?
69	Sua empresa capta água da chuva para utilização na fundição?
70	Qual a destinação da água da chuva que é coletada?
71	Qual a destinação da água oriunda da Estação de Tratamento de Água (ETA)?
	Poluentes atmosféricos
72	A empresa monitora os níveis de poluição atmosférica liberados?
73	Qual o tipo de equipamento utilizado para controle de emissão de gases?
74	Caso utilize pós-queimadores, o equipamento é:

Fonte: Elaboração própria

Na terceira parte, PERFIL ENERGÉTICO, são delimitados os aspectos relacionados à inovação tecnológica que contribuiram para a redução do consumo de energia e de combustíveis. Esta etapa visa a identificar as práticas adotadas pelas empresas, apurar informações sobre a aquisição ou utilização de máquinas, equipamentos e recursos empregados nas fundições, com o objetivo de reduzir o consumo de energéticos, como também a gestão desses insumos.

A análise do perfil energético faz parte do perfil ambiental, considerando que os insumos relacionados à geração de energia e calor são recursos naturais, que foram analisados separadamente, a fim de facilitar a identificação dos recursos empregados na produção e pontuar a questão do consumo de energia. São apresentadas 34 questões, sendo 14 múltipla escolha, 16 fechadas; 3 abertas; e, 1 mista. As questões desta parte são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Questionário – Perfil Energético

Perguntas do perfil energético	
75	A empresa desenvolveu algum PROCESSO novo ou significativamente aperfeiçoado, na fundição, que contribuiu para a redução do consumo de energéticos?
76	Em relação a pergunta anterior, o PROCESSO que reduziu o consumo de energéticos é:
77	Em termos técnicos, o PROCESSO que reduziu o consumo de energéticos é:
78	Descreva brevemente o principal PROCESSO que reduziu o consumo de energéticos na empresa. Se possível, especifique o energético utilizado.
79	A empresa implementou PRODUTO que demandou menos energéticos na sua fabricação?
80	Em termos técnicos, o PRODUTO desenvolvido pela empresa, que demandou menor quantidade de energéticos é:
81	O PRODUTO implementado que demandou menor consumo de energéticos é:
82	Descreva, brevemente, o PRODUTO desenvolvido pela empresa que demandou menor quantidade de energéticos na sua fabricação.
83	A empresa adquiriu MÁQUINAS/EQUIPAMENTOS que contribuíram para a redução do consumo de energia?
84	Em relação a pergunta anterior, a máquina/equipamento adquirido foi alocada em qual etapa do processo produtivo?
85	A empresa utiliza quais tipos de energéticos?
86	A empresa iniciou o desenvolvimento de algum PROJETO de produto e/ou processo, que foi abandonado, e que tinha o objetivo de reduzir o consumo de energia?
87	A empresa possui PROJETO de produto e/ou processo, ainda INCOMPLETO, que vise reduzir o consumo de energéticos?
88	Qual a motivação para sua empresa adquirir novas tecnologias de PRODUTO que favoreçam a redução do consumo de energia?
89	Qual a motivação para sua empresa adquirir novas tecnologias de PROCESSO que favoreçam a redução do consumo de energia?
90	A empresa adotou novo(s) processo(s) que reduziu o consumo de ENERGIA ELÉTRICA?
91	A empresa adotou novo(s) processo(s) que reduziu o consumo de COMBUSTÍVEIS?
92	Em qual área da empresa foi implementada medida relacionada à redução do consumo de energia/combustíveis?
93	Há controle no uso de energéticos (eletricidade, óleo combustível, gás, etc.)? Caso positivo, especifique ao lado o tipo de controle.
94	Existe contabilização setorizada do uso de energéticos pela empresa?
95	Existe, formalmente, um responsável pela gestão energética?
96	É feito o acompanhamento do uso de energia por unidade de produto?
97	As máquinas/equipamentos existentes na empresa foram adquiridos com especificações voltadas para o baixo consumo de energia?
98	Como tem evoluído os gastos com energéticos nos últimos três anos (R\$)?
99	Como tem evoluído os gastos com eletricidade (kWh) nos últimos três anos (R\$)?
100	Como tem evoluído o consumo de combustíveis fósseis (óleo, carvão, gás, etc.) nos últimos três anos?
101	Do total de energia elétrica consumida pela empresa, qual o percentual ligado diretamente à produção?
102	A empresa utiliza sistema para recuperação do calor dos fornos?
103	Caso a pergunta anterior seja positiva, o calor recuperado é utilizado em que outra atividade?
104	A empresa utiliza sistema motor-gerador?
105	A empresa utiliza sistema de iluminação setorizado nas instalações industriais?
106	A empresa utiliza SENSOR FOTOELÉTRICO nas lâmpadas externas?
107	A empresa utiliza TELHAS TRANSLÚCIDAS nas instalações industriais?
108	A empresa utiliza outras medidas para aproveitamento da luz natural? Especifique no campo ao lado.
109	Espaço reservado para comentários, caso ache necessário.

Fonte: Elaboração própria

5.4 – Caracterização da amostra

Do total de 520 empresas de fundição contatas, 88 empresas responderam ao questionário *online*, sendo que 37 empresas de fundição responderam as três partes do questionário (perfil produtivo, perfil ambiental e perfil energético) e o finalizaram e, 51 empresas acessaram o questionário, responderam parte das perguntas e não o finalizaram, ficando este incompleto. Apenas 1 (um) respondente acessou o questionário, concluiu cada etapa sem respondê-lo e finalizou o mesmo, o que foi contabilizado pelo *Limesurvey* como respondente. Porém, na análise dos dados, essa empresa não foi considerada.

Foi classificado cada conjunto de respostas, os completos e os incompletos, apresentados em planilhas do Excel e disponibilizados no Apêndice 4. Para a uniformização da análise, considerando a variabilidade da amostra em relação a cada questão, os resultados foram agrupados e analisados em valores percentuais, apresentados no Apêndice 5.

Nos questionários que foram finalizados, considerando a amostra de 37 empresas, as perguntas que não foram respondidas podem ser caracterizadas como uma escolha do respondente, pois este concluiu o questionário, tendo passado por todas as questões. Nos questionários incompletos, não sabemos se o respondente não respondeu por opção ou se não houve tempo hábil para concluí-lo. Houve a data limite para encerramento do questionário e as empresas foram comunicadas quanto ao prazo por *e-mail*.

5.5 – Resultados obtidos

Foi realizado o levantamento do perfil das empresas de fundição de metais ferrosos e não-ferrosos, que visou identificar o uso e aplicação das inovações tecnológicas relacionadas aos aspectos ambientais e energéticos, que contribuem para reduzir os impactos ao meio ambiente.

Apesar da ênfase deste trabalho estar relacionada às inovações tecnológicas, foram apuradas, também, as práticas diárias das empresas quanto às questões ambientais e energéticas. Infere-se que as tecnologias estão diretamente relacionadas

a essas práticas, que contribuem diretamente para a eficiência do processo de fundição.

5.5.1 – Perfil produtivo

Das 88 empresas que participaram da pesquisa realizada no setor de fundição brasileiro, 78% informaram o Estado onde estão localizadas e 22% não informaram. As empresas respondentes localizadas na região sudeste correspondem a 49% do total das participantes; as localizadas na região sul correspondem a 28%; e, as empresas localizadas na região nordeste correspondem a 1%. A região sudeste possui participação predominante nesta pesquisa, principalmente o Estado de São Paulo (SP), que corresponde a 30% das empresas pesquisadas. As empresas de Minas Gerais (MG) equivalem a 15% da amostra; as empresas do Rio de Janeiro (RJ) equivalem a 4% da amostra; e, as empresas do Espírito Santo (ES) não participaram da pesquisa. Na região sul a participação mais relevante foi do Estado de Santa Catarina (SC), com participação de 11% das empresas, seguido pelo Rio Grande do Sul com 9% e pelo Paraná, com 8%. A participação da região nordeste corresponde a 1% do total, com a participação do Estado de Pernambuco (PE). Não foi necessário destacar o município de localização das empresas, mesmo tendo sido perguntado no questionário. Não houve a participação de nenhuma empresa das regiões norte e centro-oeste.

Considerando os segmentos de mercado que as empresas pesquisadas atuam, 57% trabalham com metais ferrosos, 33% metais não-ferrosos; 10% com metais ferrosos e não-ferrosos. Algumas empresas trabalham exclusivamente com um tipo de liga e outras empresas trabalham com duas ou mais ligas, depende da empresa, as fundições são muito variadas. Considerou-se a predominância de um tipo específico de liga. Identificou-se que 48% das empresas trabalham predominantemente com ligas ferrosas, considerando as empresas que trabalham exclusivamente com essas ligas e aquelas em que a sua utilização é maior que 70% do total de ligas utilizadas; 30% das empresas trabalham predominantemente com alumínio, exclusivamente ou acima de 60% do total de ligas utilizadas pela empresa; 6% trabalham com cobre, aço ou outras composições, respectivamente. E, 3% das empresas trabalham com ligas de ferro e alumínio na proporção de 50% de cada liga.

A capacidade instalada das fundições varia entre as empresas que produzem até 500 t/ano, que correspondem a 23% da amostra, até aquelas que produzem mais de 30.000 t/ano, que correspondem a 6% da amostra. Há maior concentração de

fundições com capacidade instalada entre 501 e 10.000 t/ano, que equivalem a 61% da amostra. As fundições com capacidade entre 10.001 e 30.000 t/ano equivalem a 10% da amostra.

As fundições trabalham predominantemente em 1 turno apenas, correspondendo a 44% da amostra pesquisada. A variação entre as empresas que operam em 2 ou 3 turnos é muito pequena, 27% e 29%, respectivamente.

A distribuição da mão-de-obra nas fundições caracteriza-se da seguinte forma: 66% dos funcionários estão alocados na área de fundição, que atende a atividade fim da empresa; 21% na usinagem; e, apenas 13% na administração.

A origem do capital controlador das empresas é 85% nacional, 9% estrangeiro e 6% é misto, nacional e estrangeiro. Essas empresas são 72% independentes e 28% partes de um grupo, sendo localizadas no Brasil a matriz de 82% das empresas pesquisadas.

As exportações são distribuídas: 36% para a América Latina, dos quais 24% é apenas para os países do Mercosul; 30% é enviado para os países de América do Norte, principalmente para os Estados Unidos; 24% é enviado para a Europa; 6% para a Ásia, principalmente para a China; e, 4% é enviado para outros países.

O principal consumidor das empresas de fundição é o segmento automotivo, que abrange o setor automobilístico, de máquinas agrícolas, de máquinas rodoviárias e de tratores. Esses quatro setores são responsáveis pelo consumo de 36% da produção de fundidos nacionais. O setor de máquinas agrícolas se destacou como o que mais consome bens fundidos (12%), seguido pelo setor automobilístico (11%), tratores (8%) e máquinas rodoviárias (5%). O consumo de bens fundidos também é muito pulverizado, muitos setores consomem produtos da indústria da fundição, dentre eles o setor elétrico, 7%; construção civil, saneamento, petroquímico, açúcar e álcool, 6% cada; siderurgia e mineração, 5% cada; ferragens, infra-estrutura e utensílios domésticos, 3% cada; ferroviário, naval e cimento, 2% cada; arte e decoração e linha branca, 1%. Outros setores da economia, como o setor de elevadores, militar, armamentos, alimentício e metalúrgicas, são responsáveis pelo consumo de 4% de fundidos.

O percentual de vendas para esses setores em valores monetários (em reais) apresenta um outro perfil, o setor automobilístico é responsável pela maior parcela de consumo de bens fundidos, equivalente a 28%; o setor de máquinas agrícolas consome 10%; seguido pelo setor de saneamento, 9%. O setor de tratores e máquinas rodoviárias consomem 5% e 2%, respectivamente. Os setores ferroviário, arte e decoração e cimento, consomem menos de 1% do total cada um. Os setores elétrico, construção civil, petroquímico, açúcar e álcool consomem entre 5% e 7%; enquanto, os setores de mineração, utensílios domésticos, siderurgia, ferragens, linha branca e infra-estrutura consomem entre 1% e 4%. As vendas para o setor automotivo correspondem a 46% do total de vendas do setor.

Quanto ao vínculo com incubadoras, universidades ou centro de pesquisas, 84% das empresas não possuem nenhum vínculo e apenas 16% possui, sendo 7,5% da pesquisa e desenvolvimento (P&D) desenvolvida em parceria entre a empresa e uma dessas instituições. As empresas desenvolvem P&D por equipe própria equivale a 40%; por outra empresa do grupo, 2%; por empresa contratada, 7,5%; e, 43% não realiza nenhuma atividade de P&D.

Quanto ao forno, principal equipamento das fundições, utilizados nos processos produtivos das empresas pesquisadas, identificou-se:

- 49% das empresas possuem fornos a indução cadinho, sendo que 21% desses fornos tem entre 1-3 anos; 32% entre 4-6 anos; 11% entre 7-10 anos; 15% entre 11-20 anos; e, 21% acima de 20 anos;
- 30% das empresas possuem fornos a resistência; sendo 25% entre 1-3 anos; 33% entre 4-6 anos; 8% entre 7-10 anos; e, 33% entre 11-20 anos. Nenhum forno desse tipo tem mais de 20 anos;
- 11% das empresas possuem fornos cubilô, sendo que nenhum forno tem menos de 3 anos; 38% tem entre 4-6 anos; 38% tem entre 7-10 anos; e 13% possui entre 11-15 anos e mais de 20 anos, respectivamente.
- 5% das empresas possuem fornos rotativos, sendo 33% entre 1-3 anos e 4-6, respectivamente; 17% entre 7-10 e 11-15 anos, respectivamente;
- 4% indução canal, sendo 33% entre 1-3, 11-15 e 16-20 anos, respectivamente.
- 2% a arco direto, sendo 100% com mais de 20 anos;

- Nenhuma empresa possui forno a arco indireto.

As empresas normalmente possuem mais de um tipo de forno ou possuem mais de um forno de um mesmo tipo.

No Apêndice 4 são apresentados os resultados dos aspectos produtivos das empresas pesquisadas.

5.5.2 – Perfil Ambiental

Inicialmente, o levantamento relacionado ao perfil ambiental questionou os aspectos relacionados à inovação de produto e processo que contribuíram para a redução dos impactos ao meio ambiente. Em uma segunda etapa, ainda neste perfil, foram abordadas as práticas desenvolvidas pelas empresas de fundição, relacionadas com a questão ambiental.

Quanto ao resultado do levantamento relacionado a implementação de algum produto novo (bem produzido) ou significativamente aperfeiçoado que utilizasse menos recursos naturais (combustível, minério, etc.) no seu desenvolvimento, 57% das empresas pesquisadas não implementaram nenhuma inovação de produto; 20% implementou a menos de 1 ano; 13% a 2-3 anos e 10% a mais de 5 anos. As inovações de produto implementadas foram 90% novas para a empresa, mas já existente no setor no Brasil e 10% nova no setor, mas já existente em outros países. Não houve inovação de produto em termos mundiais. As inovações implementadas foram 67% aprimoramento de produtos já existentes e 33% foram completamente novos para a empresa. Essas inovações foram desenvolvidas principalmente pela empresa em 92% das pesquisadas e em apenas 8% houve a participação de universidades ou centros de pesquisas. Porém, há um detalhe, quando se solicitou a breve descrição sobre o produto desenvolvido, as respostas relacionaram-se a inovação de processo e apenas uma resposta foi identificada como inovação de produto:

- Fabricação de peça fundida em alumínio com otimização dimensional e de esforços mecânicos, com dimensionamento que reduziu o peso do metal consumido.

A principal motivação para as empresas pesquisadas implementarem novas tecnologias de produto é o meio ambiente, destacado por 22% das fundições respondentes. Estas inovações relacionam as novas tecnologias de produto introduzidas pelas empresas com a redução do impacto ambiental, a fim de atender às exigências da legislação, que podem gerar multas e sanções caso ocorram impactos negativos ao meio ambiente. Outros fatores motivadores das empresas são a redução dos custos (15%), produtividade (14%) e segurança (11%).

Foram elencadas outras motivações para a inovação de produtos e processos, como o mercado, a concorrência, atualização, clientes, qualidade do produto e novos produtos, porém estas representaram menos de 10% cada uma.

Quanto a implementação de um processo novo ou significativamente aperfeiçoado que contribuiu para a redução do impacto ambiental, 35% das empresas implementaram há menos de 1 ano; 24% há 2-3 anos; 15% há 4-5 anos; 6% há mais de 10 anos e 21% não implementou. Dos processos implementados, 92% foram novos para a empresa, mas já existente no setor no Brasil e 8% foram novos para o setor no Brasil, mas já existentes em outros países, sendo 68% das inovações de processos aprimoramento de outros processos já existentes e 32% completamente novos para a empresa. Os principais processos implementados, que se caracterizaram inovações de processos nas empresas pesquisadas são:

- Utilização de moldagem *cold box* com sopradora;
- Utilização de cavacos de usinagem, reduzindo o consumo de ferro gusa;
- Substituição da fundição em areia por coquilha;
- Utilização de moldagem a cura a frio;
- Substituição de fornos cubilô;
- Utilização de filtros nos fornos;
- Utilização de recuperador de areia de fundição;
- Redução da areia de macharia;
- Adaptação dos fornos a cadinho existentes para consumo de gás natural;
- Utilização de *software* para melhorar o rendimento metálico;
- Utilização de coletores de pó e lavadores de gases;
- Controle de material particulado;
- Redução dos elementos como ferro, cromo, enxofre, areia, etc.
- Redução das caixas de moldagem, o que reduziu o consumo de areia;

- Melhoria no armazenamento do óleo utilizado nas injetoras, que é enviado para reciclagem e posteriormente é reutilizado pela empresa.
- Reutilização de escória (em desenvolvimento).

Quanto à aquisição de máquinas e/ou equipamentos que contribuíram para a redução do impacto ambiental, 62% das empresas adquiriram há menos de 3 anos; 22% adquiriram há 4-9 anos; 6% há mais de 10 anos; e, apenas 11% não adquiriu. Essas máquinas ou equipamentos adquiridos foram alocados principalmente na etapa de fusão, por 32% das empresas; na moldagem, por 23% das empresas; macharia, vazamento, rebarbação e usinagem, por 8% das empresas, respectivamente; na modelagem, desmoldagem e limpeza, a aquisição correspondeu a menos de 4%, respectivamente. Outros 8% das aquisições restantes se distribuíram na geração de energia elétrica, na aquisição de filtros, desceragem e pintura.

Em relação à motivação para implementar novas tecnologias de processo que favoreçam a redução do impacto ambiental, a redução dos custos foi a motivação mais relevante (16%), seguida pela produtividade (15%), exigência do mercado e condições de trabalho (14% cada), qualidade (13%) e relação custo-benefício (11%). As demais motivações elencadas no levantamento ficaram abaixo de 10%, sendo elas: a rejeição de produtos, as tecnologias concorrentes e o aumento da produção. A opção “outros” correspondeu a 3% e dentre as respostas destacaram-se: o cumprimento da legislação, filosofia da empresa e a preocupação ambiental.

Considerando os projetos de produto e/ou processo que foram abandonados ou que ficaram incompletos, 30% das empresas desenvolveram projetos que foram abandonados e 74% ainda possuem projetos incompletos, que visam a redução do impacto ao meio ambiente.

O gerenciamento ambiental é realizado por um setor/área exclusivo para essa atividade em 54% das empresas pesquisadas. Em 24% das empresas esse gerenciamento é realizado pelo setor de manutenção; 24% pelo setor de meio ambiente; 19% não reconhecem a necessidade do gerenciamento ambiental ser realizado por um setor/área específico e 5% informou que esse assunto não se aplica à empresa. A opção “outros” foi escolhida por 29% das empresas, que destacou outras opções que são: a diretoria, o setor de segurança e saúde, a área administrativa, qualidade e laboratório.

O gerenciamento ambiental também comporta a educação ambiental dos funcionários, que é realizada por 71% das empresas, e o atendimento às normas técnicas, que no setor de fundição abrange principalmente a ISO 9.000 e a ISO 14.0000. As normas da série ISO 9000 (gestão da qualidade) são adotadas por 46% das empresas, enquanto as normas da série ISO 14.000 (gestão ambiental) são adotadas por 14% das empresas pesquisadas. A norma TS 16.949, que é uma norma automotiva mundial, é adotada por 11% das empresas. A OHSAS 18.001, que consiste em um sistema de gestão com foco voltado para a saúde e segurança ocupacional é adotada por 7% das empresas. Outras categorias são empregadas por 9% das respondentes, que informaram adotar a SA 8.000, EN 124, CIPA e normas internas, enquanto 13% não adotam nenhuma norma na empresa.

Dentre os fatores que contribuíram para as empresas investirem na gestão ambiental, aquelas consideradas “muito importante” foram a legislação ambiental vigente e a legislação ambiental prevista, que correspondem a 22% e 17% da amostra, dentro desta classificação, respectivamente. Outros fatores relevantes para o investimento na gestão ambiental, são a exigência dos clientes, que correspondem a 13%; marketing e vendas, 13%; e, padrões ambientais próprios, 11% da opção classificada como “muito importante”. A exigência do mercado nacional foi considerada “importante”, enquanto a exigência do mercado internacional não apresentou muita representatividade, sendo considerada “medianamente importante”. As exigências do sistema financeiro foram consideradas “pouco importantes” e a opção “não é importante” não teve muita representatividade.

Os resíduos gerados no processo de fundição podem ser sólidos, líquidos ou gasosos. Foram investigadas as práticas das empresas quanto ao gerenciamento dos principais resíduos.

Dentre as empresas pesquisadas, 83% adotam tecnologias para redução/minimização de resíduos, que são diversificadas. A reciclagem interna é predominante, ocorrendo em 18% do total de empresas; a reutilização de excedentes do processo no mesmo processo produtivo, 14%; boas práticas operacionais e a recuperação do insumo utilizado no processo ocorrem, respectivamente, em 13% das empresas; mudança de tecnologia de processo (máquinas e equipamentos) e reciclagem externa ocorrem, respectivamente, em 12% das empresas; as demais alternativas utilizadas, como por exemplo, mudança no produto, mudança de material

(que entra no processo) e a reutilização de excedentes do processo em outras atividades ocorrem, respectivamente, em menos de 8% das empresas.

Foram analisados os principais fatores que dificultam o gerenciamento dos resíduos pela indústria da fundição. Os resíduos sólidos são os que apresentam maior dificuldade para serem administrados, sendo que apenas 29% das empresas possuem máquinas/equipamentos para recuperação desses resíduos e 7% dispõem de incinerador para queima de resíduos sólidos. O principal fator, considerado “muito relevante” no gerenciamento dos resíduos sólidos, é a questão dos altos custos relacionados à logística do processo, seguido pela dificuldade em adquirir financiamento para aquisição de equipamentos de recuperação de resíduos. A falta de locais licenciados para tratamento e disposição de resíduos industriais foi considerado um fator de “média relevância”.

O principal resíduo sólido das empresas são as areias descartadas de fundição, que são recuperadas para reutilização em 69% das empresas. Com o término da vida útil das areias utilizadas na fundição, é necessário acondicioná-las em locais específicos (aterros industriais), para que não ocorra a contaminação do meio ambiente. Dentre as empresas pesquisadas, 90% utilizam areia em seus processos produtivos, sendo 51% de areia ligada quimicamente e 49% de areia verde.

A principal destinação da areia descartada de fundição são os aterros sanitários, que é realizada por 37% das empresas; 26% enviam para aterro industrial; 16% realizam o armazenamento permanente nas instalações da empresa; e, 8% reutilizam na fabricação de artefatos de cimento/concreto. Outras opções foram apresentadas, correspondendo a 13% do total, que estão relacionadas à recuperação e reutilização da areia. Algumas empresas enviam a areia para reciclagem externa e, posteriormente, a reutilizam no processo produtivo. Para cada tonelada de areia nova, em média, 67% é reutilizada no processo produtivo das fundições.

Para controle dos materiais particulados, 42% das empresas utilizam separadores com tecido (filtro de manga); 29% utilizam ciclones; 9% coletores úmidos; 7% coletores inerciais ou gravitacionais; 2% lavador a base de água; e, 11% não possuem nenhum equipamento para controle dos materiais particulados oriundos do processo de fundição.

A escória é enviada por 50% das empresas para aterros industriais; 19% vendem a escória para terceiros que a recuperam e a comercializam novamente; 13% vende para fábricas de cimento, sem processá-las, e 3% as processam em granuladores antes de vender; 15% mantém nas instalações da empresa ou em aterro próprio.

Quanto às cinzas, 35% destas são enviadas para aterros industriais; 12% para aterros sanitários; 12% a vende junto com a escória; 6%, respectivamente, mantém nas instalações da empresa, a reutiliza ou realiza o co-processamento; 24% informa não produzir cinzas em seus processos.

A água no processo de fundição é utilizada para umedecer a areia para a confecção dos moldes; para resfriamento de equipamentos, principalmente os fornos; resfriamento e limpeza de peças. Dentre as empresas pesquisadas, 13% adotou um processo novo, que reduziu o consumo de água há menos de 1 ano; 25% entre 1 e 5 anos; 13% há mais de 5 anos; e, 50% não adotou nenhum processo novo.

O abastecimento de água, em 56% das fundições, ocorre através de sistema próprio de abastecimento, principalmente poços artesianos; 35% utilizam a água fornecida pelo sistema público; e, 9% utilizam apenas parte da água do sistema público. Após utilização, 10% da água utilizada pelas fundições é lançada diretamente na rede coletora de esgoto público, sem tratamento prévio; 21% é lançada na rede pública, com tratamento prévio; 56% não lança a água na rede pública, ou porque há um processo circuito fechado, porque evapora ou porque não utiliza água. Dentre as empresas pesquisadas, 40% possuem Estações de Tratamento de Água (ETA) e 23% captam água da chuva para utilização na fundição.

A distribuição da água oriunda das ETA's nas empresas de fundição ocorre da seguinte forma: 25% é utilizada nos banheiros da empresa; 19% utiliza para resfriamento de metal fundido; 19% utiliza na área comum da empresa, para limpeza ou irrigação de jardins; 6% utiliza, respectivamente, para limpeza de metais, refrigeração/sistema de ar-condicionado e em caldeiras; os outros 19% são utilizados para refrigeração de fornos ou são descartadas.

A água da chuva coletada também é distribuída nas instalações da empresa e nos processos operacionais, porém a sua representatividade é menor, pois o percentual de empresas que realizam a captação da água da chuva também é menor,

sendo sua distribuição realizada da seguinte forma: 29% é utilizada nos banheiros da empresa; 29% utiliza para resfriamento de metal fundido; 35% utiliza na área comum da empresa, para limpeza ou irrigação de jardins; 6% utiliza no resfriamento da areia.

O monitoramento dos níveis de poluição atmosférica é realizado em 38% das empresas, e pode-se avaliar a fumaça emitida pelas chaminés e comparar os índices encontrados com padrões previstos na legislação ambiental.

O controle da emissão de gases na atmosfera é realizado em 54% das empresas, através da utilização de processos específicos, como: absorção por líquidos (lavadores de gases), realizada por 43% das empresas; adsorção por material sólido, por 29%; conversão para composto menos poluente – catalisadores e condensação, 7% respectivamente; outras opções representam 14% e são citados a utilização de exaustores e a CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo (realiza o controle da poluição ambiental).

No Apêndice 4 são apresentados os resultados dos aspectos ambientais das empresas pesquisadas.

5.5.3 – Perfil energético

A exigência de melhor qualidade dos produtos fabricados foi um fator decisivo para tornar a energia elétrica a principal fonte energética nas fundições. Os equipamentos elétricos apresentam vantagem operacional em relação aos demais, no entanto demandam maior controle dos processos onde estão inseridos.

O incentivo ao uso de energia elétrica na indústria, em substituição aos derivados do petróleo, iniciou a partir do segundo choque do petróleo em 1979 e, também, com o aumento das exigências de controle ambiental. O uso de gás também aumentou sua participação na matriz energética brasileira, competindo com a energia elétrica nas indústrias do setor.

O perfil energético é parte do perfil ambiental, considerando que os insumos utilizados na produção de bens fundidos são recursos naturais. A segregação do perfil energético ocorreu em virtude da relevância deste aspecto para a indústria de fundição nacional.

O levantamento relacionado ao perfil energético questionou os aspectos relacionados à inovação de produto e de processo que contribuíram para a redução do consumo de energia. Em uma segunda etapa, foram abordadas as práticas desenvolvidas pelas empresas de fundição, relacionadas com a gestão energética.

Quanto ao resultado do levantamento relacionado a implementação de algum processo novo ou significativamente aperfeiçoado que contribuiu para a redução do consumo de energéticos no seu desenvolvimento, 46% das empresas pesquisadas não implementaram nenhuma inovação de processo, enquanto 54% das empresa as implementaram. Dos processos implementados, 91% foram novos para a empresa, mas já existente no setor no Brasil e 9% foram novos para o setor no Brasil, mas já existentes em outros países, sendo 73% das inovações de processos aprimoramento de outros processos já existentes e 27% completamente novos para a empresa. Os principais processos implementados, que contribuíram para a redução do consumo de energéticos na empresa foram:

- Substituição do forno cubilô pelo forno elétrico;
- Substituição do forno a indução por cadinho e óleo BPF (metais ferrosos) e GLP (metais não-ferrosos);
- Utilização de coquilha;
- Trabalhar com a tampa no forno, para não perder calor;
- Quebrar a sucata para fundir mais rápido;
- Substituição do processo de forja, por um material nas dimensões corretas;
- Reciclagem de cera;
- Sistema de bombeamento de óleo e aproveitamento de calor;
- Utilização de isolantes térmicos e refratários para revestimento de fornos;
- Implementação de um novo sistema de vazamento de metal líquido para agilizar o processo;
- Utilização de sucata compactada.

Quanto a implementação de algum produto novo que demandasse menos energéticos na sua fabricação, apenas 24% das empresas os implementou, sendo 100% aprimoramento de produtos já existentes. Esses produtos implementados são 83% novos para a empresa, mas já existente no setor no Brasil e 17% novo para o

setor no Brasil, mas já existente em outros países. Não houve inovação de produto em termos mundiais, considerando os aspectos energéticos.

Quando se perguntou sobre o produto desenvolvido que demandou menos energéticos na sua fabricação, uma das empresas informou que não desenvolve produto, que estes são desenvolvidos pelo cliente; e, as outras empresas não citaram a inovação que ocorreu no produto especificamente.

A aquisição de máquinas ou equipamentos que contribuíram para a redução do consumo de energia foi realizada por 29% das empresas há menos de 1 ano; 33% entre 2-5 anos; 8% há mais de 5 anos; e, 29% não adquiriu. Dentre as empresas os que adquiriram, 70% optou por especificações voltadas para o baixo consumo de energia, sendo essas máquinas e equipamentos alocados 37% na etapa de fusão; 17% na etapa de limpeza; 10%, respectivamente, nas etapas de desmoldagem, rebarbação e usinagem; 7% no vazamento do metal; 3%, respectivamente, na moldagem, modelagem e macharia. O Gráfico 9 apresenta a distribuição dessas máquinas ou equipamentos nas fundições.

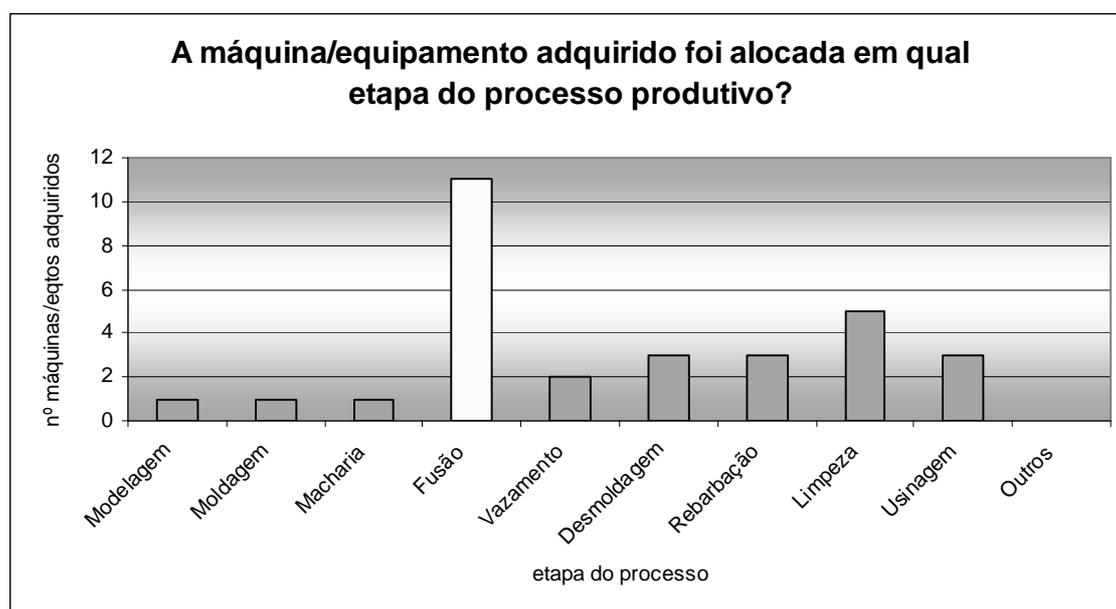


Gráfico 9 - Alocação de máquinas/equipamentos nas etapas do processo de fundição
Fonte: Elaboração própria

Dentre os energéticos utilizados pelas empresas, 41% utilizam a energia elétrica e o 33% utilizam o gás no processo de fundição, os quais prevalecem perante os demais. O óleo combustível é utilizado em 14% das empresas; seguido pelo

coque, 8%; carvão mineral, 3%; e, o etanol, 2%. O Gráfico 10 apresenta a distribuição do uso desses energéticos pelas empresas de fundição pesquisadas.

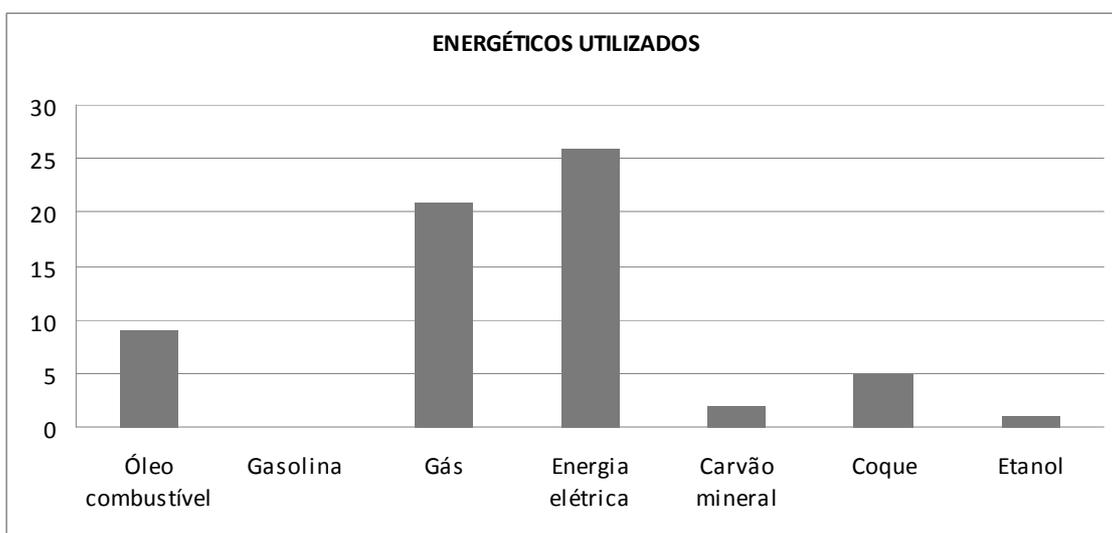


Gráfico 10 - Energéticos utilizados
Fonte: Elaboração própria

Considerando os projetos de produto e/ou processo que foram abandonados ou que ficaram incompletos, 22% das empresas desenvolveram projetos que foram abandonados e 42% ainda possuem projetos incompletos, que visam a redução do consumo de energéticos pelas empresas.

A principal motivação para implementar novas tecnologias de produto que favoreçam a redução do consumo de energia, é a redução dos custos, em 26% das empresas; meio ambiente, 20%; inovação tecnológica e produtividade, 15% respectivamente; mercado, 10%; concorrência, 8%; e, atualização, 7%.

Quanto a motivação para implementar novas tecnologias de processo, destacam-se também a redução dos custos com 20% e o meio ambiente com 19%, similarmente à motivação para implementar tecnologias de produto. A relação custo-benefício, 18%; qualidade, 15%; produtividade, 14%. As motivações relacionadas a rejeição de produtos, tecnologia concorrente e exigência do mercado ficaram abaixo de 6%.

A adoção de novos processos que reduziram o consumo de energia elétrica ocorreram em 31% das empresas há menos de 1 ano; 19% entre 2-5 anos; e, 50% das empresas não adotou. Quanto aos novos processos adotados que reduziram o

consumo de combustíveis, 63% também não adotaram; 25% adotou há menos de 1 ano; e, 12% entre 2-5 anos. Considerando a implementação de novos processos, 69% foi realizado na área da produção de fundidos; 11% na administração; e, 4%, respectivamente, nas áreas de saúde e segurança do trabalho, transporte de matérias-primas, P&D, laboratórios e embalagens de produtos.

O controle no uso de energéticos é realizado por 73% das fundições, através de acompanhamento de gastos e análises, visando eliminar possíveis causas de desperdícios. Algumas empresas utilizam *softwares* para gestão de consumo e empregam medidores de consumo de gás, óleo combustível e energia elétrica, sendo que 46% das empresas realizam a contabilização setorizada dos energéticos utilizados.

A evolução dos gastos (R\$) com energéticos nos últimos três anos foi crescente em 41% das empresas; decrescente em 30%; e, 30% se manteve estável.

A evolução dos gastos com eletricidade (kWh) nos últimos três anos foi crescente em 41% das empresas; estável em 37%; e, em 19% foi decrescente. Em 50% das empresas pesquisadas, o percentual de energia elétrica consumida pela área de produção é superior a 90% do total da energia consumida pela empresa; 46% informam que a produção consome entre 70 e 90% do total da energia consumida.

O consumo de combustíveis fósseis nos últimos 3 anos se manteve estável em 43% das empresas; em 26%, respectivamente, foi crescente e decrescente; 4% não acompanhou.

Apenas 14% das fundições utilizam sistema para recuperação de calor dos fornos. Destas que realizam esta atividade, 67% utilizam o calor dos fornos para aquecimento de água e 33% no aquecimento de painéis de vazamento.

Pode-se citar outras medidas realizadas pelas empresas relacionadas à gestão energética:

- Sistema motor-gerador – utilizada por 36% das empresas;
- Sistema de iluminação setorizada – utilizada por 83% das empresas;

- Sensor fotoelétrico nas lâmpadas externas – utilizado por 65% das empresas;
- Telhas translúcidas nas instalações industriais - utilizadas por 94% das empresas;
- Outras medidas - utilização de clarabóias e galpões mais abertos.

No Apêndice 4 são apresentados os resultados dos aspectos energéticos das empresas pesquisadas.

5.6 – Análise dos resultados

Foram identificadas nas respostas do questionário aplicado, que a maioria das empresas pesquisadas não diferenciam o limite entre inovação de produto e de processo. As respostas referentes à inovação de produto foram relacionadas à inovação de processo e não de produto, mesmo constando a explicação no questionário sobre cada tipo de inovação. Apenas uma empresa apresentou uma inovação de produto, que foi o aprimoramento de outro já existente, desenvolvida há menos de 1 (um) ano pela própria empresa. A não representatividade de inovações de produto na pesquisa realizada, não significa que estas não ocorram no setor, no entanto, entende-se que estas são proporcionalmente menores quando se considera o setor de fundição brasileiro.

As principais inovações realizadas pelas fundições são incrementais, ou seja, são aprimoramentos de outros processos já existentes. Dentre as fundições pesquisadas, 91% dos novos processos implementados são novos para a empresa, mas já existentes no setor no Brasil.

O Gráfico 11 apresenta o percentual de empresas que inovaram e as que não inovaram, de acordo com os critérios desta pesquisa. A redução do consumo de energia está associada a redução dos impactos ambientais, pois a energia elétrica ou fóssil utilizada pelas fundições é oriunda de uma fonte natural e a sua utilização pelas fundições impacta diretamente o meio ambiente. Estes aspectos foram dissociados para que fosse possível identificar cada critério isoladamente, uma vez que as fundições são grandes consumidoras de energia. A redução do consumo depende do tipo de inovação realizada. A aquisição de fornos elétricos aumentou o consumo de energia, no entanto os fornos a gás contribuíram para a redução do consumo de outros combustíveis fósseis que são mais poluentes. Medidas alternativas também

foram adotadas, em menor proporção, que também favoreceram ambiental e energeticamente as fundições.

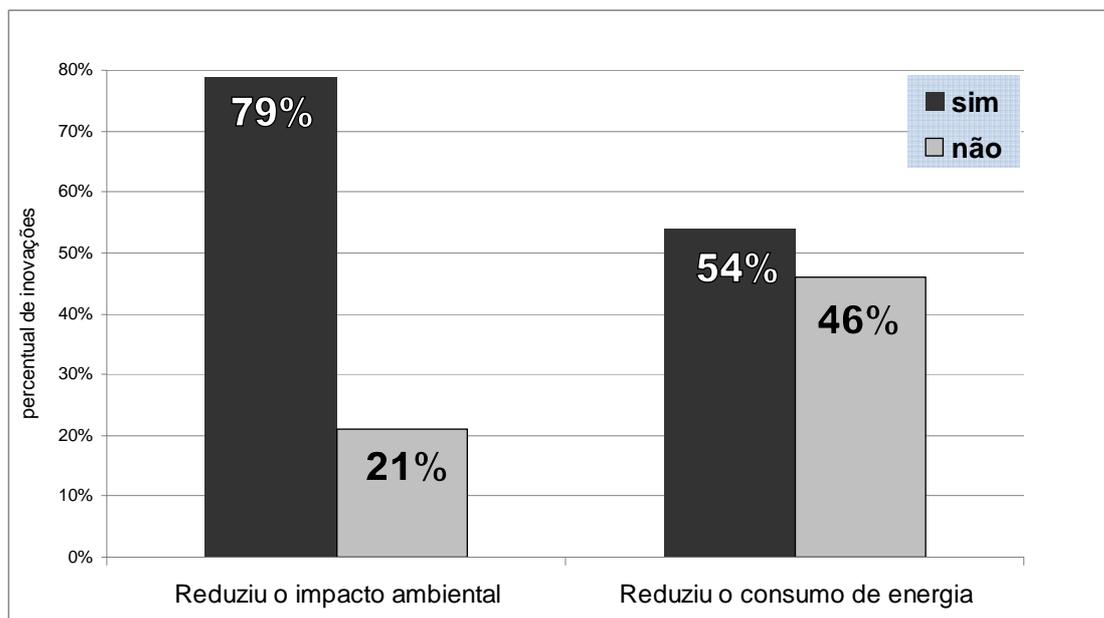


Gráfico 11 – Inovações realizadas e não-realizadas nas empresas de fundição pesquisadas
Fonte: Elaboração própria

O desenvolvimento de novos produtos dentre as empresas pesquisadas é irrelevante, porém está ocorrendo uma ampliação das atividades desenvolvidas pelas fundições, em virtude da demanda do setor automotivo por serviços de usinagem nas peças e componentes fundidos. Esta atividade agrega valor ao produto final, mas não é na etapa de fundição. O setor automotivo, responsável pela absorção de 46% das vendas das empresas pesquisadas, está demandando não apenas o fundido bruto, o produto final tem que estar usinado. Segundo Tesser (2010), para as fundições continuarem a fornecer para os segmentos automobilístico e agrícola, elas devem se adequar a este perfil. Se não se adequarem, perdem mercado para outras empresas que podem prestar esse serviço. Do total de empresas pesquisadas, 64% apresentam área de usinagem, principalmente porque 36% destas empresas atendem ao setor automotivo.

Nos últimos 10 anos, a aquisição de máquinas e equipamentos que contribuíram para a redução do impacto ambiental e do consumo de energia foi a principal inovação das fundições, realizada em média por 77% das empresas neste período, sendo que 57% destas inovações foram realizadas nos últimos 3 anos. O maior investimento foi em fornos de fusão, com a aquisição de fornos elétricos. E, o

segundo investimento mais representativo foi na etapa de moldagem. Quando são adotados fornos elétricos a moldagem não pode mais ser manual, para que a empresa não tenha prejuízo. Os fornos elétricos demandam maior capacidade produtiva, permitindo que a moldagem ocorra ao mesmo tempo em que a fusão. Esta mudança tecnológica contribui para o aumento do consumo de energia elétrica, no entanto os impactos ambientais são menores quando comparados ao uso de combustíveis fósseis, que não são renováveis e emitem grande quantidade de poluentes.

Os processos intensivos em consumo de energia nas fundições incluem a fusão, a confecção de moldes e machos, o tratamento térmico e atividades pós-fundição, sendo que na etapa de fusão ocorre o maior consumo de energia. O custo de energia é alto nas fundições de ferro (13% do custo de materiais) e menor nas fundições de não-ferrosos (6% do custo de materiais). A quantidade de energia consumida em uma típica fundição é equivalente ao consumo de energia de 100 residências por ano (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2005).

Nos últimos 3 anos, 42% das empresas adotaram novos processos que reduziram o consumo de energia elétrica e 29% reduziram o consumo de combustíveis. Para que haja a conservação de energia nas empresas, são necessárias além de fornos eficientes, práticas integradas ao processo para reduzir as perdas energéticas. Apenas 14% das empresas utilizam sistema para recuperação do calor dos fornos em outras etapas do processo. Da água utilizada para resfriamento dos fornos, uma parte evapora, porém, a água que retorna pode ser utilizada para, por exemplo, aquecimento de água ou aquecimento das painéis de vazamento de metal.

Dentre as inovações que reduziram o consumo de energia nas empresas, 38% estão relacionadas a um processo novo, que reduziu o consumo de combustíveis, dos quais 25% foi há menos de 1 ano. Outras práticas utilizadas são, por exemplo, a utilização de sistema motor-gerador, que é acionado no horário de ponta¹, quando o custo da energia elétrica é maior; sistema de iluminação setorizado, para que se possam utilizar apenas as lâmpadas das áreas onde existe alguma atividade; utilização de sensor fotoelétrico nas áreas externas, para que luminárias ou refletores não fiquem ligados sem necessidade, quando há a presença de luz natural,

¹ Período definido pela concessionária e composto por 3 (três) horas diárias consecutivas, exceção feita aos sábados, domingos, terça-feira de carnaval, sexta-feira da Paixão, "Corpus Christi", dia de finados e os demais feriados definidos por lei federal, considerando as características do seu sistema elétrico (Resolução ANEEL, nº 414 de 9 de setembro de 2010).

automaticamente as lâmpadas externas são desligadas; utilização de telhas translúcidas e outras medidas para aproveitamento da luz natural, que estão destacados no Gráfico 12.

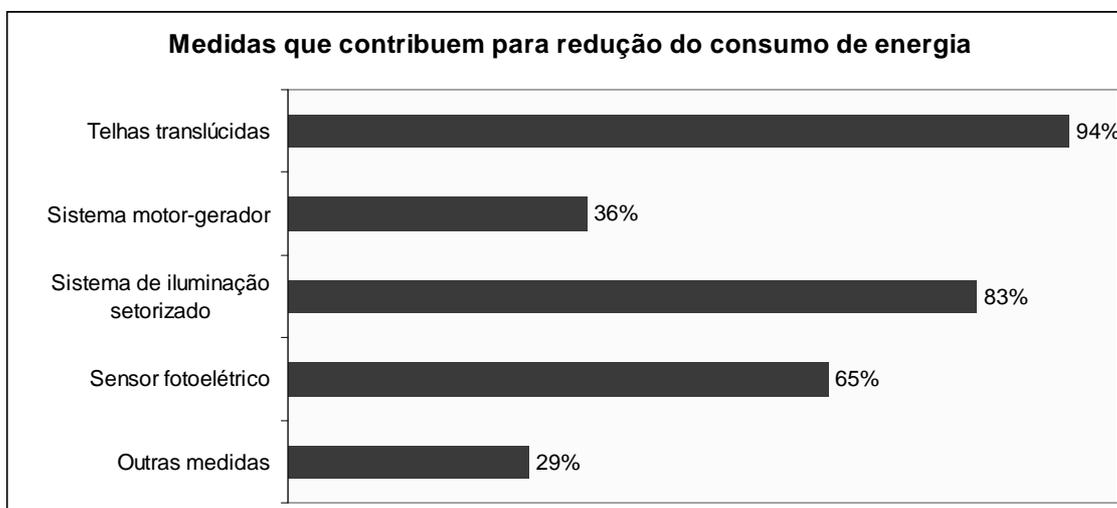


Gráfico 12 – Medidas que contribuem para a redução do consumo de energia
Fonte: Elaboração própria

A principal motivação para as empresas adotarem novas tecnologias de processo, que visem a redução do consumo de energia e dos impactos ambientais é a redução dos custos da empresa. A preocupação com o meio ambiente é, principalmente nas pequenas e médias empresas, reflexo das exigências legais, pois medidas de prevenção e tratamento demandam investimentos financeiros. As grandes empresas, que competem no mercado internacional, atendem aos requisitos ambientais para que possam se manter competitivas, pois os clientes exigem que as empresas sejam ambientalmente sustentáveis, relacionando estas medidas à imagem do produto comercializado.

As fundições precisam adotar um padrão de produção sustentável, a fim de competirem no mercado internacional. Uma questão importante enfrentada pelas empresas é a formação dos trabalhadores para conseguir melhores níveis de produtividade com sustentabilidade. A educação ambiental é realizada por 71% das fundições pesquisadas, mas apenas 24% destas possuem um setor exclusivo de meio ambiente. Nas demais fundições, o gerenciamento ambiental é realizado pela diretoria da empresa, administração ou setor de manutenção, possivelmente como uma atividade concorrente àquelas desenvolvidas pelo profissional que a realiza.

Quanto a gestão energética, 54% das empresas dispõem de um responsável para esta atividade, que realizam a contabilização setorizada do uso de energéticos por área da empresa, sendo a área de produção a maior consumidora de energia, principalmente por ser sua atividade energia-intensiva. A aquisição de novos equipamentos, com especificações voltadas para o baixo consumo de energia, foi realizada por 70% das empresas pesquisadas, sendo que em 41% destas empresas, os gastos financeiros com energéticos aumentaram, principalmente com energia elétrica. A aquisição de novos equipamentos, mesmo que sejam eficientes, contribuem para o aumento do consumo de energia, se estes não existiam antes na planta industrial.

A adoção de fontes energéticas menos poluentes, como, por exemplo, a energia elétrica e o gás, adotadas respectivamente por 41% e 33% das empresas pesquisadas, contribui para a redução dos gastos com equipamentos para controle e tratamento de resíduos e, também, minimizam os danos ao meio ambiente.

As medidas preventivas para tratamento de resíduos são preferíveis em relação às de tratamento, no entanto, nas fundições brasileiras ainda predominam as tecnologias “fim-de-tubo”. Para a redução dos impactos ao meio ambiente são adequadas medidas como a Produção mais Limpa, que reduzem os resíduos na fonte, utilizando menor quantidade de insumos e, conseqüentemente, reduzindo os gastos com a aquisição de novas matérias-primas. No entanto, estes investimentos exigem mão-de-obra qualificada para lidar com novos equipamentos.

Em 83% das fundições já são adotadas técnicas para minimização de resíduos, sendo a reciclagem interna, a recuperação de insumos e a reutilização dos excedentes do processo no mesmo processo produtivo, as principais medidas adotadas pelas fundições, que se destacam na reutilização da areia de moldagem e utilização de filtros para particulados.

Dentre as fundições pesquisadas, 90% utilizam areia em seus processos produtivos. A areia que já foi utilizada é recuperada em 69% das empresas e retornam para a produção, mas não infinitamente. Sempre é necessário acrescentar areia nova àquela que está retornando, e uma parte é descartada. A areia descartada de fundição (ADF), principal resíduo das fundições, é enviada para aterros sanitários ou industriais, destino de 63% da areia já utilizada pelas empresas pesquisadas. São enviadas também para estes aterros, 50% da escória e 47% das cinzas produzidas.

Os resíduos sólidos das fundições são difíceis de serem gerenciados, principalmente devido aos altos custos envolvidos na logística do processo, destacado por 42% das empresas. O transporte de resíduos para aterros industriais, que são escassos, tem um custo elevado, e segundo 28% das fundições, é difícil conseguir financiamento para aquisição de equipamentos de recuperação de resíduos.

A água utilizada nas fundições, principalmente na composição da areia de moldagem, no resfriamento de fornos e de peças fundidas e na limpeza de metais, em 53% das fundições é oriunda de sistemas próprios de abastecimento, como por exemplo, poços artesianos. A captação da água da chuva é realizada por 23% das fundições, medida que também reduz a quantidade de água tratada fornecida pelas empresas de abastecimento. Após a utilização deste insumo, a água é tratada em ETA's por 40% das fundições, reduzindo a emissão de efluentes líquidos com elementos poluidores, como por exemplo, materiais particulados e metais. Grande parte da água consumida nas fundições evapora, devido às altas temperaturas do processo.

A poluição atmosférica é monitorada por apenas 38% das fundições pesquisadas. Destacam-se no controle de materiais particulados e gases poluentes os separadores com tecido, utilizados por 42% das empresas e os ciclones ou lavadores de gases, utilizados por 29% das fundições. Os órgãos de controle ambiental estão aplicando altas multas às empresas que poluem o meio ambiente, não permitindo que fundições que utilizam fornos cubilô operem em áreas urbanas e exigindo que as fundições instalem equipamentos para limpeza dos gases e fumos antes de serem lançados na atmosfera. Muitas empresas de pequeno e médio porte tiveram que realizar financiamentos para adquirir esses equipamentos e evitarem multas de alto valor.

Os fatores classificados como “muito importantes”, responsáveis pelos maiores investimentos com a gestão ambiental nas fundições, são a legislação ambiental prevista e a legislação ambiental vigente, destacadas por 39% das empresas. Após o atendimento à legislação, há a preocupação com o mercado, relacionada às vendas e às exigências dos clientes, considerados “muito importantes” para 26% das empresas.

A legislação ambiental brasileira está cada vez mais restritiva, podendo ocasionar sanções ou multas para as fundições que não se adequarem às exigências

legais. A conservação e uso sustentável dos recursos naturais reduzem a degradação ambiental e demanda que as fundições adotem uma postura proativa não apenas em relação à legislação, mas às exigências dos clientes por produtos ambientalmente sustentáveis. O gerenciamento ambiental é realizado por 46% das empresas, sendo que 74% das pesquisadas possuem projetos ainda incompletos que visam a redução do impacto ambiental.

As empresas que atendem grandes clientes, principalmente do setor automotivo, adotam normas de certificação, que contribui para a formação de uma imagem positiva da empresa perante o mercado externo e, internamente, contribui a organização dos processos produtivos, melhoria da qualidade e sustentabilidade ambiental. Destaca-se na indústria de fundição brasileira a predominância da norma de qualidade ISO 9000, implementada por 46% das empresas pesquisadas. A implementação desta norma organiza a empresa para a certificação pela ISO 14000, implementada por apenas 14% das empresas. A TS-16949 foi implementada por 11% das empresas, permitindo-nos identificar que estas atendem ao setor automobilístico e de peças automotivas e que provavelmente estão incluídas nos percentuais das normas de qualidade e ambiental.

Quanto aos investimentos com P&D, 57% das empresas informaram que desenvolvem estas atividades, no entanto apenas 8% possui parceria com universidades ou centros de pesquisas, as demais empresas realizam internamente ou por equipe contratada. O investimento em P&D permitirá o avanço não apenas tecnológico, mas de conhecimento, agregando valor às operações realizadas e impactando na vantagem competitiva das empresas do setor.

Capítulo 6

CONCLUSÃO

Com o levantamento realizado foi possível identificar que a implementação de inovações tecnológicas de produto e processo, nas fundições que compõem a amostra, contribuiu para a redução dos impactos ao meio ambiente. As inovações de processo são predominantes dentre as empresas pesquisadas, como também no setor de fundição brasileiro, as quais são realizadas através da aquisição externa de tecnologia e imobilização de bens de capital, o que reforça o caráter incremental das inovações tecnológicas. O investimento em P&D ainda é muito baixo no setor, independente do porte da empresa.

As inovações implementadas que contribuíram para a redução do impacto ambiental e energético são integradas ao processo produtivo, a fim de reduzir a emissão de resíduos sólidos, líquidos e gasosos pelas fundições. A aquisição de novas máquinas e equipamentos e de energéticos menos poluentes é realizada, principalmente, com o objetivo de minimizar multas e sanções de órgãos de controle ambiental, ou seja, o investimento em novas tecnologias visa primeiramente a atender à legislação ambiental vigente e prevista que abrange o setor, representando uma medida das empresas evitarem o ônus com possíveis problemas ocasionados pelas fundições. Este comportamento das empresas favorece, conseqüentemente, o alcance de melhores níveis de produtividade, o aumento da qualidade dos produtos e a redução do custo de mão-de-obra por unidade produzida.

A redução do consumo de energia nas fundições está relacionada ao tipo de inovação realizada. A aquisição de fornos elétricos aumentou o consumo de energia, porém reduziu as emissões atmosféricas. Há uma compensação positiva, pois a matriz energética brasileira é oriunda de uma fonte renovável, sendo a minimização de poluentes um resultado favorável para o meio ambiente. O mesmo ocorreu com a aquisição de fornos a gás, que mesmo sendo um combustível fóssil, reduziu o consumo de outros combustíveis mais poluentes. Outras mudanças na planta industrial foram adotadas, que contribuem em menor proporção para a redução do consumo de energia.

As inovações de produto ainda são pouco representativas, no entanto, o desenvolvimento de novas ligas, a redução da quantidade de insumos, a incorporação de acabamento e usinagem às peças fundidas são inovações que precisam se fortalecer para melhorar o desempenho e agregar valor ao produto final, favorecendo a redução dos impactos ambientais pelas fundições. A incorporação de acabamento e usinagem ao produto final fundido tem sido a necessidade mais imediata, principalmente, das empresas do setor automotivo. Diante dessa demanda, as fundições estão tendo que agregar valor ao produto acabado para continuarem competindo nos mercados onde estas empresas atuam. No Brasil, poucas indústrias de médio e grande porte atendem o setor automotivo, principal cliente das fundições brasileiras, no entanto, estas são responsáveis pela maior parcela da produção de fundidos, comparado com as empresas que atendem os demais setores.

As empresas de micro e pequeno porte são predominantes no setor, a maioria de seus processos são artesanais e demandam tecnologias básicas para o desenvolvimento e efficientização da produção. Estas empresas atendem consumidores nacionais, pouco exigentes quanto ao desenvolvimento de novas tecnologias de produto, característica identificada com a aplicação do questionário, que identificou a ausência de preocupação com o desenvolvimento de novos conhecimentos que agreguem valor ao produto final, predominando a aplicação de conhecimentos já difundidos. A preocupação com novos processos, principalmente quando se refere às questões ambientais, está associada à legislação cada vez mais exigente, para que a empresa não sofra restrições.

Nas médias e grandes fundições, que representam a menor parcela do setor de fundição brasileiro, existem as mesmas preocupações com o atendimento à legislação, no entanto, muitas destas empresas adotam normas de certificação, que favorecem o atendimento à legislação, pois organiza os processos da indústria e otimiza a produção. Nestas empresas, as principais inovações também são incrementais, predominando a aquisição de máquinas e equipamentos. No entanto, estas novas tecnologias são mais avançadas e automatizadas. A pesquisa e desenvolvimento ocorre, principalmente, por exigência do mercado consumidor destas indústrias. O diferencial para ser competitivo no mercado está associado ao valor agregado do produto. Esta característica é identificada principalmente no setor automotivo, atendido por um pequeno número de indústrias de maior porte.

As parcerias com universidades e centros de pesquisas, para o desenvolvimento de novos produtos e processos não são expressivas no setor, prevalecendo nas indústrias de maior porte. Dentre as empresas que realizam atividades de pesquisa, a maioria a faz nas próprias instalações da empresa e sem contar com a participação de entidades que podem apoiar o desenvolvimento de novos conhecimentos. As empresas de pequeno porte trabalham com a produção ajustada, não dispondo de uma margem financeira para investimento em pesquisas. Tendo que optar, o investimento em tecnologias de processos já conhecidos é mais vantajoso para a atual realidade destas empresas, devido ao rápido retorno do investimento e resultado também já conhecido. O investimento em pesquisas possui resultado incerto e demanda treinamento e contratação de pessoal especializado.

As fundições dispõem de tecnologias maduras e, os atuais investimentos em tecnologias de processo, renovam e modificam o perfil destas fundições, pois permitem às empresas o atendimento às demandas do mercado consumidor, sem comprometer o meio ambiente, ou diminuindo o impacto gerado. Pequenas mudanças podem melhorar os parâmetros dos processos ou projetos de produtos, reduzindo as perdas na produção e gerando menos resíduos. A sustentabilidade ambiental das fundições também está associada à redução de custos e atendimento a novos mercados, que demandam fornecedores de produtos ambientalmente amigáveis, que não poluam o meio ambiente.

Há uma progressiva melhoria da eficiência energética nas fundições em função da aquisição de máquinas e equipamentos elétricos. A modernização dos processos produtivos e do uso intensivo de equipamentos eficientes colaborou para a melhoria da qualidade dos produtos, aumento da produtividade, melhor controle dos processos e redução dos impactos ambientais. O consumo de energia elétrica aumentou no setor, porém houve a redução dos impactos ambientais em função da redução do uso de derivados do petróleo.

Em termos de práticas de gestão da qualidade e do meio ambiente, o setor tem grupos de empresas, notadamente as de médio e grande porte, que atuam em padrão internacional e que adotam, portanto, práticas que atendem a normas internacionais. Nas empresas de micro e pequeno porte, é expressiva a intenção de adotar a certificação de sistemas de gestão da qualidade. Bem menor é o interesse pela adoção da certificação de sistemas de gestão ambiental. No caso das normas

ambientais, os resultados indicam que as empresas menores têm expectativas de se adequar às normas internacionais, mas não no momento atual.

Os problemas ambientais ainda são resolvidos pelas fundições a partir de um ponto de vista tecnológico, o que caracteriza as técnicas de fim-de-tubo. É necessária a mudança desse enfoque para uma atuação mais abrangente, em todos os níveis da cadeia produtiva, através da interação entre os atores do processo de forma preventiva. As empresas devem se preocupar com a fonte geradora dos impactos ambientais e energéticos, através de processos eco-eficientes, que resultará na redução dos impactos ao meio ambiente.

A indústria de fundição sustentável visa a aumentar as condições ambientais para a sociedade; repensar toda cadeia produtiva, desde a extração de matérias-primas até o produto final; aprimorar as condições da mão-de-obra envolvida no processo, tanto em relação ao ambiente de trabalho quanto em relação a qualificação; reduzir os poluentes atmosféricos; minimizar os resíduos sólidos; e, economizar energia e água.

As fundições ainda trabalham como um sistema aberto, porém os projetos de sustentabilidade nas empresas demandam a migração gradativa para sistemas fechados, que contemplem o sistema como um todo e não apenas aspectos pontuais. A reutilização de excedentes do processo reduz a extração de novos recursos, como é o caso da sucata, que é reabsorvida pelas fundições, reduzindo a extração de minério.

O reaproveitamento dos excedentes do processo, não necessariamente deve ocorrer no mesmo processo, outros insumos que não podem ser reabsorvidos são descartados pelas fundições, mas podem ser utilizados em outros setores da economia. Esse mecanismo é conhecido como “simbiose industrial”, onde há o aproveitamento do excedente de um processo produtivo em outros processos, reduzindo a degradação ambiental. Esta medida está relacionada à sustentabilidade do planeta, pois os recursos disponíveis são finitos e é imperativa a necessidade de reduzir o desperdício de insumos produtivos, para reduzir os impactos ao meio ambiente.

6.1 – Desdobramentos futuros

Nesta dissertação foram abordadas as inovações tecnológicas de produto e processo, no entanto, o levantamento das inovações não-tecnológicas, destacadas no último Manual de Oslo, complementaria este levantamento, permitindo identificar as inovações de marketing e organizacionais que contribuem para a sustentabilidade e competitividade do setor de fundição brasileiro, e que precisam funcionar como uma engrenagem com as inovações tecnológicas, a fim de contribuir para a vantagem competitiva das empresas do setor.

O setor de fundidos brasileiro está num momento muito importante, pois com a realização da Copa do Mundo de 2014 e com as Olimpíadas em 2016 que serão realizadas no Brasil e, também, com a descoberta do pré-sal pela Petrobras e com a expansão da indústria naval, há a possibilidade de serem realizados investimentos vultosos no setor. Um estudo dos impactos destes eventos para as fundições brasileiras e o levantamento das demandas surgidas com estes investimentos é relevante para que as empresas possam identificar suas necessidades de melhorias na produção e se preparem para o atendimento ao um mercado consumidor emergente.

Diante dos possíveis avanços produtivos das fundições brasileiras, o conhecimento dos outros setores produtivos que interagem com as fundições e que podem absorver os excedentes do processo é relevante. A simbiose industrial ainda é incipiente no setor de fundição, cabendo um estudo exploratório para identificação dos outros setores que podem absorver seus recursos descartados, a fim de reduzir os impactos ao meio ambiente.

Quanto ao desenvolvimento e aplicação de um questionário *online*, sua utilização é eficaz na redução do tempo de levantamento de dados e redução dos custos, como foi o caso desta pesquisa, a qual obteve como resultado o panorama ambiental e energético da amostra pesquisada. O desmembramento desta abordagem geral em partes menores e sua aplicação através de pequenos questionários ou enquetes, também utilizando os recursos da internet e sem restrição temporal para seu desenvolvimento, permitiriam a participação de um maior número de empresas e a obtenção de um levantamento mais extenso sobre variáveis específicas, que seriam apuradas de forma gradativa, dentro da temática em questão. A realização de curtos e

constantes levantamentos junto às empresas amplia a interação entre estas e o pesquisador; facilita o preenchimento por parte da empresa, que não precisa realizar longas interrupções no trabalho para responder pesquisas; além de facilitar a apuração e análise dos dados pelo pesquisador.

Capítulo 7

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN FOUNDRY SOCIETY – AFS, 2009, “Máquina híbrida limpa e rebarba peças”, *Revista da Abifa*, n. 119, pp. 114-115.

AMERICAN FOUNDRY SOCIETY – AFS. *U.S. Metalcasting industry provides environmental and safety improvements*, 2008. Disponível em: <<http://www.foundryrecycling.org/Home/IndustryOverview/FAQ/tabid/139/Default.aspx>>. Acesso em: 13 abr. 2010.

AMERICAN FOUNDRYMEN'S SOCIETY - AFS, 1998, *Metalcasting Industry Technology Roadmap*, USA, AFS.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ALUMÍNIO – ABAL. *O alumínio: processos de produção* 2011. Disponível em: <http://www.abal.org.br/aluminio/processos_fundicao.asp>. Acesso em: 02 jun. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO – ABIFA, 2010, *Guia Abifa de Fundição: Anuário 2010*, São Paulo, ABIFA.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO – ABIFA, 2011, “Comissão de alumínio: o cenário atual e futuro das fundições de alumínio”, *Revista da Abifa*, n. 129, pp. 36-39.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2008, *NBR ISO 9001: 9800: Sistema de gestão da qualidade – Requisitos*. Rio de Janeiro, ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2004, *NBR ISO 14000: Sistema de gestão ambiental – especificações e diretrizes para uso*. Rio de Janeiro, ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2004, *NBR 10.004: Resíduos sólidos – Classificação*. Rio de Janeiro, ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 1987, *NBR 9800: Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário*. Rio de Janeiro, ABNT.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – BNDES. *A indústria do alumínio: estrutura e tendências*, 2010. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3302.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2011.

BEELEY, P., 2001, *Foundry Technology*. 2 ed. Oxford, Butterworth-Heinemann.

BELT, C., 2011, “Calculando os custos da fusão do alumínio”, *Revista da Abifa*, n. 129, pp. 91-92.

BESSANT, J.; TIDD, J., 2007, *Innovation and entrepreneurship*. 1 ed. England, John Wiley & Sons, Ltd.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L., *et al.*, 2005, *Introdução à Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável*. 2 ed. São Paulo, Pearson Prentice Hall.

BRICHESI, D., 2011, “Metal-mecânica: entrevista Devanir Brichesi”, *Revista da Abifa*, n. 129, pp. 32-33.

BUREAU OF ENERGY EFFICIENCY – BEE. “Energy efficiency in thermal utilities: guide book for national certification examination for energy managers and energy auditors”. In: *Guide book for national certification examination for energy managers and energy auditors*, v. 2, New Delphi, BEE, pp. 1-194, 2005.

CARDOSO JR., J., 2000, *Geração e apropriação de valor adicionado na economia brasileira: um estudo da dinâmica distributiva no período 1990/96*. Rio de Janeiro, IPEA.

CARVALHO JR., J.A.; LACAVA, P.T., 2003, *Emissões em processos de combustão*. São Paulo, Editora UNESP.

CASOTTI, B.; DEL BEL FILHO, E.; CASTRO, P.C., 2010, “Indústria de Fundição: situação atual e perspectivas”, *BNDES Setorial*, n. 33, pp. 121-162.

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL – CETEM. *Bases para o desenvolvimento sustentável e competitivo da indústria brasileira de gusa no mercado*, 2007. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2007-088-00.pdf>>. Acesso em: 02 mai. 2011.

CHASIN, A.A.M.; PAOLIELLO, M.M.B., 2001, “Ecotoxicologia do Chumbo e seus Compostos”, *Série cadernos de referência ambiental* v.3, Salvador, NEAMA.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. *Redução do descarte de areia de fundição e do consumo de areia nova na indústria de fundição: casos de sucesso*, 2002. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao_limpa/casos/caso01.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2010.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI, 2005, *Mapa estratégico da indústria 2007-2015*. Brasília, CNI/DIREX.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI, 2007, *Inovar para crescer: propostas para acelerar o desenvolvimento tecnológico na indústria brasileira*. Brasília, CNI.

D’AVIGNON, A.L.A., 2001, *A inovação e os sistemas de gestão ambiental na produção: o caso da maricultura na enseada de Jurujuba*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

FAGUNDES, A.B.; VAZ, C.R.; OLIVEIRA, I.L., 2009, “Caminhos para a Sustentabilidade do Setor de Fundição no Brasil”. In: *XII SIMPOI - Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais*, pp. 1-14, São Paulo.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - FIRJAN, 2008, *Manual de Indicadores Ambientais*. Rio de Janeiro, DIM/GTM.

FREEMAN, C.; SOETE, L., 2000, *The economics of industrial innovation*. 3 ed. Cambridge, MIT Press.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO – FAPESP. *Inovação ilimitada*, 2002. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/?art=2010&bd=1&pg=2&lg=>>>. Acesso em: 11 jul. 2010.

GARCIA FILHO, F., 2008, “ADF: soluções para areias descartadas com o trabalho da ABIFA”, *Revista da Abifa*, n. 131, pp. 66-69.

GIBBS, S., 2007, “10 ways to zap your energy bill”, *Revista Modern Casting*, n. 97, p. 40-43.

GRIZENDI, E. *Manual de orientações gerais sobre inovação*, 2011. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/dcom/manualinovacao.pdf>>. Acesso em: 26 jul. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Pesquisa de Inovação Tecnológica – PINTEC*, 2000. Disponível em: <http://www.pintec.ibge.gov.br/index.php?option=com_content_extjs&view=article&id=17&Itemid=6>. Acesso em: 19 jul. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Pesquisa de Inovação Tecnológica – PINTEC*, 2003. Disponível em: <http://www.pintec.ibge.gov.br/index.php?option=com_content_extjs&view=article&id=17&Itemid=6>. Acesso em: 21 jul. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Pesquisa de Inovação Tecnológica – PINTEC*, 2005. Disponível em: <http://www.pintec.ibge.gov.br/index.php?option=com_content_extjs&view=article&id=17&Itemid=6>. Acesso em: 23 jul. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Pesquisa de Inovação Tecnológica – PINTEC*, 2008. Disponível em: <http://www.pintec.ibge.gov.br/index.php?option=com_content_extjs&view=article&id=17&Itemid=6>. Acesso em: 15 jan. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Pesquisa de Inovação Tecnológica: instruções para preenchimento do questionário*, 2008a. Disponível em: <<http://www.pintec.ibge.gov.br/downloads/InstrucoesPINTEC2008.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. *Future ISO 50001 on energy management progresses to Draft International Standard*, 2008. Disponível em: <<http://www.iso.org/iso/pressrelease.htm?refid=Ref1337>>. Acesso em: 26 mai. 2011.

JOSÉ, H.J., 2004, “Combustão e Combustíveis”. In: *Apostila química tecnológica geral*, Florianópolis, UFSC.

KRAEMER, M.E.P. *A questão ambiental e os resíduos industriais*, 2005. Disponível em: <http://www.artigocientifico.tebas.kinghost.net/uploads/artc_1149606504_28.doc>. Acesso em: 10 mai. 2011.

LEMONS, A.D.; NASCIMENTO, L.F., 1999, “A produção mais limpa como geradora de inovação e competitividade”, *Revista de Administração Contemporânea - RAC*, v.3, n. 1, pp. 23-46.

LEMOS, A.D.C., 1998, *A produção mais limpa como geradora de inovação e competitividade: o caso da fazenda Cerro do Tigre*. Tese de M.Sc., UFRS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

LIMA, P., 2010, "Gerenciamento ambiental", *Revista da Abifa*, n. 126, pp. 96-97.

MACULAN, A.M., 2002, "Tecnologia, conhecimento e gestão das inovações". In: *Nota didática programa de Engenharia de Produção ITOI/PEP/COPPE*. Rio de Janeiro, COPPE-UFRJ.

MACULAN, A.M. *Como aprendem e inovam as pequenas empresas de base tecnológica?*, 2004. Disponível em: <<http://www.fpl.edu.br/periodicos/index.php/get/article/viewFile/91/89>>. Acesso em: 20 jun. 2011.

MAHANTI, R; BHATTACHERJEE, V.; MUKHERJEE, S. K., 2003, "Sustainable foundry industrial culture: an environmental perspective", *Revista Foundry*, n. 6, pp. 52-56.

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.M., 1999, *Técnicas de Pesquisa*. 4 ed. São Paulo, Atlas.

MARIOTTO, C.L.; BONIN, A.L., 1996, "Tratamento dos descartes de areia", *Revista Fundição & Matérias-primas*, v.12, pp. 28-32.

MARTINS, A.R.S.; NOGUEIRA, F.J.H., 2006, *Conservação de Energia: eficiência energética de equipamentos e instalações*. 3 ed. Itajubá, Eletrobrás/Procel.

MATOS, S.V.; SCHALCH, V., 2005, "Alternativas de minimização de resíduos da indústria de fundição". In: *19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, pp. 1742-1754, Foz do Iguaçu.

MATTOS, F.; GASTAL, C.; OSÓRIO, H.H.G. (coord.), 2008, *Manual de Inovação*. Brasília, Movimento Brasil Competitivo.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR – MDIC. *Camex eleva temporariamente o imposto de importação sobre moldes e ferramentas*, 2010. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/sitio/interna/noticia.php?area=1¬icia=10308>>. Acesso em: 25 fev. 2011.

MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M.C.C.; SOUZA, Z.M., 2008, "Caracterização química de resíduos da indústria metalúrgica para fins de uso agrícola", *Revista Ambiência*, v. 4, n. 1, pp. 79-88.

NASCIMENTO, L.F.M.; POLEDNA, S.R.C., 2002, "O processo de implantação da ISO 14000 em empresas brasileiras". In: *XXII ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, pp. 1-6, Curitiba.

NAVEIRO, R.M., 2007, *Setor de Fundição: aspectos econômicos, tecnológicos e organizacionais*. Brasília, SENAI.

NAVEIRO, R.M.; GOUVINHAS, R.P., 2010, "Projeto do produto, competitividade e inovação". In: Filho, Eduardo Romeiro (Coord.), *Projeto de Produto*, 1 ed., São Paulo, Elsevier, pp. 43-65.

OKIDA, J.R., 2006, *Estudo para minimização e reaproveitamento de resíduos sólidos de fundição*. Tese de M.Sc. PPGEP/UTFPR, Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO – OCDE. *Manual de Oslo: diretrizes para a coleta e interpretação de dados sobre inovação*, 2005. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/imprensa/sala_imprensa/manual_de_oslo.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2010.

PASETTO, V., 2010, “Refratários pegam carona na retomada do setor de fundidos”, *Revista da Abifa*, n. 120, pp.54-55.

PRADO, A.C., 2010, “Automação industrial, robótica e software”, *Revista da Abifa*, n. 119, pp. 62-63.

REDE METAL MECÂNICA - RMM. *Base de dados: setor de fundição brasileiro, 2006*. Disponível em: <www.redemetalmeccanica.eng>. Acesso em: 15 set. 2010.

SÁENZ, Tirso W.; CAPOTE, Emílio Garcia, 2002, *Ciência, Inovação e Gestão Tecnológica*. Brasília, CNI/IEL/SENAI.

SANCHES, D., 2011, “Fundição prioriza combate a importação”, *Revista da Abifa*, n. 128, pp. 24-28.

SCHEUNEMANN, R., 2005, *Regeneração de areia de fundição através de tratamento químico via processo Fenton*. Tese de M.Sc., UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL – SENAI, 1987, *Areias de fundição aglomeradas com argila*. 2 ed. Belo Horizonte, SENAI.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL – SENAI, *Implementação de programas de produção mais limpa*, 2003. Disponível em: <http://www.ifm.org.br/moodle/file.php/19/CNTL_guia_P_L.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2011.

SIDDIQUE, R., 2009, “Utilization of waste materials and by-products in producing controlled low-strength materials”, *Resources, Conservation and Recycling*, n. 54, pp. 1-8.

SILVA, A.L., 2006, *Reciclagem de escória cristalizada para a produção de argamassas*. Tese de M.Sc., UNIFEI, Itajubá, Minas Gerais, Brasil.

SILVA, C.E.S., 1997, “Sistema de garantia da qualidade automotiva: QS 9000 e sua abordagem subjetiva do potencial ergonômico”. In: *4º Congresso Latino Americano de Ergonomia*, pp. 1-6, Florianópolis.

SILVA, J.C.T. *A gestão da tecnologia nas empresas e interfaces com a gestão ambiental e gestão energética*, 2005. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1196792057.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2011.

SOARES, G.A., 2000, *Fundição: mercado, processos e metalurgia*. Rio de Janeiro, COPPE-UFRJ.

SOLEDADE, M.G.M.; NÁPRAVNÍK FILHO, L.A.F.K. *et al.*, 2007, “ISO 14000 e a Gestão Ambiental: uma Reflexão das Práticas Ambientais Corporativas”. In: *IX ENGEMA – Encontro nacional sobre gestão empresarial e meio ambiente*, Curitiba.

SOUZA, A.R.; VILLEGAS, E.A. *A ecometalurgia na indústria da fundição*, 2009. Disponível em: <<http://www.siderurgiabrasil.com.br/novosb/component/content/article/>>

145-materias58/1613-a-ecometalurgia-na-industria-da-fundicao--ultima-parte>. Acesso em: 25 jan. 2011.

TANIMOTO, A.H., 2004, *Proposta de simbiose industrial para minimizar os resíduos sólidos no polo petroquímico de Camaçari*. Tese de M.Sc., UFBA, Salvador, Bahia, Brasil.

TESSER, D., 2010, “Usinagem: é preciso investir”, *Revista da Abifa*, n. 126, pp.36-39.

TETHER, B.S., 2003, *What is innovation? Approaches to distinguishing new products and processes from existing products and processes*. In: CRIC working paper n.12, Manchester, Centre for Research on Innovation & Competition.

TIDD, J.; BESSANT, J.; PAVITT, K., 2005, *Managing innovation: integrating technological, market and organizational change*. 3 ed. England, John Wiley & Sons, Ltd.

TIRONI, L.F., 2006, “Inovação e grau de novidade do principal produto e do principal processo”, *Parcerias Estratégicas*, n. 23, pp. 333-379.

TORRE, J., 2004, *Manual prático de fundição e elementos de prevenção da corrosão*. Curitiba, Editora Hemus.

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION - UNIDO/UNEP. *Eco-efficiency and Cleaner Production: charting the course to sustainability*, 1995. Disponível em: <<http://www.wbcsd.org/DocRoot/aFQps2TRHhw5tFsl5oZP/eecleanerprod.pdf>>. Acesso em: 01 mai. 2011.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. *Metal Casting Industry of the future: fiscal year 2004 annual report*, 2005. Disponível em: <http://www1.eere.energy.gov/industry/about/pdfs/metalcasting_fy2004.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2010.

VALLE, C.E., 2004, *Qualidade ambiental: ISO 14000*. São Paulo, Editora SENAC.

VAZ, C.R.; FAGUNDES, A.B.; OLIVEIRA, I.L., 2011, “Metodologias ambientais para um sistema de gestão ambiental”, *Revista da Abifa*, n. 129, pp. 60-67.

VIEGAS, C.; FRACASSO, E.M., 1998, “Capacidade tecnológica e gestão de resíduos em empresas de calçados do Vale dos Sinos: estudo de dois casos”. *Revista de Administração Contemporânea - RAC*, v. 2, n.2, pp. 41-62.

VIVIANI, V., 2010, “Técnicas dos equipamentos nas fundições de ferro e aço”, *Revista da Abifa*, n. 118, pp. 69-107.

WETZEL, S., 2010, “Cutting binders emissions”, *Revista da Abifa*, n. 119, pp. 129-132.

ZANETTI, M.C.; FIORE, S., 2003, “Foundry waste recycling in moulding operations and in the ceramic industry”, *Waste Management and Research Journal*, v. 21, n. 3, pp. 235-242.

_____, 2010, “44th Census of World Casting Production 2009”, *Revista Modern Casting*, v. 100, n. 12, pp. 23-27.

_____, 2007, *Estudo Setorial de Fundição – ESF 2004-2006: o setor de fundição no Brasil, perfil produtivo e tecnológico*. Rio de Janeiro, FINEP.

_____. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei n.º 12.305, de 02 de agosto de 2010.

_____. Política Nacional de Educação Ambiental. Lei n.º 9.795, de 27 de abril de 1999.

_____. Crimes Ambientais. Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.

_____. Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei n.º 9.433, de 08 de janeiro de 1997.

_____. Política Nacional do Meio Ambiente. Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981.

APÊNDICE 1 Questionário do Perfil Ambiental e Energético das fundições

APÊNDICE 2 Levantamento bibliográfico estruturado

APÊNDICE 3 Página de apresentação do questionário

APÊNDICE 4 Resultados do questionário (perfil produtivo, ambiental e energético)

APÊNDICE 5 Apuração dos resultados do perfil produtivo, ambiental e energético