

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**MÉTODO PARA A ESCOLHA DE PROCESSOS CONSIDERANDO
OS IMPACTOS AMBIENTAIS: UMA APLICAÇÃO PARA
PROCESSOS DE DECAPAGEM**

Cristiane Ferreira Eder

Porto Alegre, 2005

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO ACADÊMICO EM ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**MÉTODO PARA A ESCOLHA DE PROCESSOS CONSIDERANDO
OS IMPACTOS AMBIENTAIS: UMA APLICAÇÃO PARA
PROCESSOS DE DECAPAGEM**

Cristiane Ferreira Eder

Orientadora: Profa. Dra. Carla ten Caten

Banca Examinadora:

**Profa. Dra. Christine Tessele Nodari
PPGEP/UFRGS**

**Profa. Dra. Célia de Fraga Malfatti
ICET/FEEVALE**

**Profa. Dra. Mariliz Gutterres Soares
ENQ/UFRGS**

**Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção como requisito parcial à obtenção do título de**

MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Área de concentração: Qualidade

Porto Alegre, 22 de Dezembro de 2005.

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Profa. Dra. Carla ten Caten
PPGEP/UFRGS
Orientadora

Prof. Dr. José Luis Duarte Ribeiro
Coordenador PPGEP/UFRGS

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Christine Tessele Nodari
PPGEP/UFRGS

Profa. Dra. Célia Malfatti
ICET/FEEVALE

Profa. Dra. Mariliz Gutterres Soares
ENQ/UFRGS

DEDICATÓRIA

*A todas as pessoas que dedicam seu tempo à pesquisa
para melhorar a vida da sociedade.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu marido Alexandre que sempre esteve ao meu lado, incentivando-me e compartilhando os momentos difíceis e vitoriosos.

À minha orientadora por ter acreditado no meu trabalho e por estar sempre disponível para auxiliar-me.

Aos meus colegas, professores e amigos do LOPP pelos ensinamentos e amizade. Em especial, agradeço aos meus colegas e amigos Camila, Maria e Ângelo, pelas sugestões, críticas e ajuda ilimitada.

Aos meus amigos que estiveram presente nesta etapa e me ensinaram a ser perseverante.

Aos meus colegas de trabalho pelo incentivo e cooperação.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A preocupação ambiental vem aumentando significativamente nos últimos anos. As legislações ambientais estão mais rigorosas e as pessoas estão exigindo produtos e processos com menor impacto ambiental. Neste contexto, surge a necessidade de avaliar os impactos ambientais na escolha entre processos industriais. Esta dissertação tem como finalidade propor um método para a escolha entre processos industriais, incluindo como critério a avaliação dos impactos ambientais. O método proposto foi aplicado em uma indústria do setor siderúrgico, para os processos de decapagem química e mecânica. Para isso, foram utilizados como bases teóricas o meio ambiente e o desenvolvimento sustentável, sistemas de gestão ambiental, impactos ambientais e o setor siderúrgico. Com a aplicação da ACV (Avaliação do Ciclo de Vida) do produto, constatou-se que o processo de decapagem química causa maiores danos ao meio ambiente quando comparado ao processo de decapagem mecânica. Para complementar este estudo, realizou-se uma análise multicriterial, utilizando-se o AHP (Processo Hierárquico Analítico) e considerando-se os critérios: problemas ambientais, custo, produtividade e qualidade final. Após a realização desta análise, verificou-se que o processo de decapagem que melhor atende ao conjunto de critérios pré-definidos é o processo de decapagem mecânica, com 73,96%.

Palavras-chave:

Gestão ambiental - Impacto ambiental – ACV – AHP – Decapagem

ABSTRACT

Environmental concern has been significantly growing in the past few years. Environmental legislation is harder and people are demanding products and processes with less environmental impact. In this context, the need to evaluate the environmental impacts in the choice among industrial processes comes out. This study intends to present a method for choosing among industrial processes, taking into consideration the environmental impacts. The present method was applied in a siderurgical industry on the chemical and mechanic descaling processes. For that purpose, environment, sustainable development, systems of environmental management and the siderurgical area were used as theories of reference. Applying the product's LCA (Life-Cycle Assessment) it was evidenced that chemical descaling causes bigger damages to the environment. To complement this study, a multicriterial analysis was taken, using AHP (Analytic Hierarchy Process) and considering the following criteria: environmental problems, cost, productivity and final quality. After this analysis, it was verified that the descaling process that better answers to the pre-defined criteria is the mechanical descaling process, with 73,96%.

Keywords:

Environmental management – Environmental impact – LCA – AHP – Descaling

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO | 13 |
| 1.2 JUSTIFICATIVA DOS OBJETIVOS | 14 |
| 1.3 MÉTODO DE TRABALHO | 15 |
| 1.4 LIMITAÇÕES DO ESTUDO | 16 |
| 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO | 16 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 18 |
| 2.1 O MEIO AMBIENTE E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL..... | 18 |
| 2.1.1 Conservação do meio ambiente | 18 |
| 2.1.2 Problemas ambientais | 22 |
| 2.1.2.1 Poluição da água..... | 24 |
| 2.1.2.2 Poluição da atmosfera..... | 25 |
| 2.1.2.3 Poluição da vegetação e do solo | 26 |
| 2.1.2.4 Poluição da fauna..... | 26 |
| 2.1.3 Desenvolvimento sustentável | 27 |
| 2.2 SISTEMAS DE GESTÃO AMBIENTAL | 30 |
| 2.2.1 Modelos de Gestão Ambiental..... | 35 |
| 2.2.2 Benefícios do Sistema de Gestão Ambiental | 37 |
| 2.3 IMPACTOS AMBIENTAIS | 38 |
| 2.3.1 Avaliação dos impactos ambientais..... | 41 |
| 2.3.2 Avaliação do Ciclo de Vida de um produto..... | 48 |
| 2.3.2.1 Etapas da ACV | 51 |
| 2.3.2.2 Benefícios e limitações da ACV..... | 55 |
| 2.4 ANÁLISE MULTICRITERIAL | 57 |
| 2.5 A SITUAÇÃO DO SETOR SIDERÚRGICO | 61 |
| 2.5.1 Matérias-primas utilizadas | 63 |
| 2.5.2 Aspectos ambientais | 65 |
| 2.5.3 Estudos realizados | 68 |
| 3 MÉTODO PROPOSTO | 69 |
| 3.1 DESCRIÇÃO DO MÉTODO | 69 |
| 3.1.1 Fases do método proposto | 69 |
| 3.1.1.1 Formação do grupo de apoio | 70 |
| 3.1.1.2 Questionário para avaliação ambiental..... | 70 |
| 3.1.1.3 Ciclo de vida do produto | 71 |
| 3.1.1.4 Análise Multicriterial..... | 75 |
| 3.1.1.5 Escolha entre os processos avaliados | 76 |
| 3.2 A EMPRESA E SEUS PRODUTOS | 76 |
| 3.3 O PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO AÇO..... | 77 |
| 3.3.1 Processo de decapagem | 80 |

| | |
|---|------------|
| 3.3.1.1 Decapagem química | 80 |
| 3.3.1.2 Decapagem mecânica | 84 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 87 |
| 4.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO | 87 |
| 4.1.1 Formação do grupo de apoio | 87 |
| 4.1.2 Questionário para avaliação ambiental..... | 87 |
| 4.1.3 Ciclo de vida do produto | 88 |
| 4.1.3.1 Definição do objetivo e do escopo | 89 |
| 4.1.3.2 Análise do inventário do ciclo de vida | 89 |
| 4.1.3.3 Avaliação de impacto | 89 |
| 4.1.3.4 Interpretação dos resultados | 91 |
| 4.1.4 Análise multicritério..... | 93 |
| 4.1.5 Escolha entre os processos avaliados | 101 |
| 4.2 ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS | 103 |
| 4.2.1 Dificuldades encontradas | 104 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 105 |
| 5.1 CONCLUSÕES | 105 |
| 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 106 |
| REFERÊNCIAS | 108 |
| ANEXO A..... | 120 |
| ANEXO B..... | 123 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1: Divisão do meio ambiente | 19 |
| Figura 2: Classificação dos problemas ambientais..... | 23 |
| Figura 3: Princípios do desenvolvimento sustentável | 28 |
| Figura 4: Série de normas ISO 14.000 | 33 |
| Figura 5: Categorias dos Impactos Ambientais..... | 40 |
| Figura 6: Principais métodos de avaliação ambiental | 46 |
| Figura 7: Classificação das eco ferramentas quanto a aplicação..... | 47 |
| Figura 8: Eco ferramentas nas fases do desenvolvimento de produtos. | 47 |
| Figura 9: Avaliação do Ciclo de Vida de um produto..... | 49 |
| Figura 10: Etapas da Avaliação do Ciclo de Vida..... | 51 |
| Figura 11: Modelo de Matriz de Prioridades de Critérios | 59 |
| Figura 12: Exigências para o licenciamento ambiental..... | 67 |
| Figura 13: Objetivos das fases do método proposto..... | 70 |
| Figura 14: Fluxograma da produção de aço | 81 |
| Figura 15: Influência da temperatura e da concentração de ácido no tempo de decapagem. | 83 |
| Figura 16: Fluxograma do processo de decapagem química..... | 83 |
| Figura 17: Decapador mecânico | 85 |
| Figura 18: Fluxograma do processo de decapagem mecânica. | 86 |
| Figura 19: Ciclo de vida do produto – decapagem química..... | 91 |
| Figura 20: Ciclo de vida do produto – decapagem mecânica..... | 91 |
| Figura 21: Avaliação ambiental dos processos de decapagem..... | 93 |
| Figura 22: Comparação entre os processos de decapagem considerando problemas ambientais, custo, produtividade e qualidade final do produto | 93 |
| Figura 23: Matriz de Prioridades de Critérios | 95 |
| Figura 24: Determinação de pesos dos critérios..... | 95 |
| Figura 25: Matriz de Consistência..... | 96 |
| Figura 26: Matrizes de Prioridades para os Processos | 99 |
| Figura 27: Escores dos critérios em função dos processos de decapagem química (P1) e mecânica (P2) | 100 |
| Figura 28: Escores totais dos processos | 101 |
| Figura 29: Metas e ações de melhoria para os problemas ambientais..... | 102 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--------------------------------------|----|
| Tabela 1: Valores de índice RI | 60 |
|--------------------------------------|----|

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a preocupação ambiental vem aumentando significativamente. Os governos estão adotando legislações ambientais mais rigorosas e as pessoas estão começando a exigir produtos e processos com menor impacto ambiental. Estas mudanças têm levado as empresas a repensarem ambientalmente seus produtos e processos, apresentando o diferencial ambiental como um elemento de competitividade frente à concorrência.

A preocupação com o meio ambiente tem sido constante, principalmente, quanto aos problemas da poluição. A poluição dos solos, das águas e do ar é uma consequência da forma inadequada de tratamento dos resíduos sólidos, líquidos e gasosos (KINLAW, 1998).

As razões da poluição ambiental estão relacionadas com o crescimento econômico, com o progresso tecnológico e com o crescimento populacional. O crescimento econômico nos remete a um aumento de renda per capita e, com isso, o nível de poluição cresce devido ao aumento no consumo de bens poluentes. O progresso tecnológico é responsável pelo aumento da poluição, porém, a mudança tecnológica pode ser uma aliada ao seu combate. Da mesma forma, à medida que a população aumenta, espera-se um aumento da poluição (BITTKAU et. al., 2004).

As questões ambientais ganharam força no Brasil no início da década de 80, com a criação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, do Departamento de Proteção dos Recursos Naturais – DPRN e de órgãos ambientais municipais. Desta forma, as ações de gestão ambiental ficaram vinculadas às áreas de controle da poluição industrial e de proteção das matas nativas (MOURA, 2000).

A partir da criação de instrumentos como os Estudos de Impacto Ambiental e de regulamentação de áreas de relevante interesse ambiental, instrumentos estes que incidiam mais sobre os grandes projetos e empreendimentos, as ações de gestão ambiental passaram a ter um caráter mais preventivo (CHEHEBE, 1997).

A conscientização ambiental vem sendo motivada pelas previsões pessimistas da saturação do meio ambiente como fornecedor dos insumos necessários para manter o padrão de consumo. O meio ambiente passou a ser encarado como um fator importante à manutenção da espécie humana e, conseqüentemente, precisa ser considerado no desenvolvimento de produtos e na escolha dos processos industriais (MOURA, 2000).

É neste contexto que surge a necessidade de avaliar os impactos ambientais na escolha entre processos industriais.

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo geral desta dissertação é propor um método para a escolha entre processos industriais, tendo como critério também a avaliação de impactos ambientais. O método será verificado através de uma aplicação prática em indústria siderúrgica, para os processos de decapagem química e mecânica.

Para alcançar o objetivo geral, são estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) realizar uma revisão da literatura sobre os temas envolvidos: meio ambiente e desenvolvimento sustentável, sistemas de gestão ambiental, impactos ambientais, análise multicriterial e a situação atual do setor siderúrgico;
- b) avaliar a situação da empresa siderúrgica e dos processos de decapagem com relação aos temas envolvidos;
- c) realizar uma aplicação prática desse método para verificar suas potencialidades e restrições.

1.2 JUSTIFICATIVA DOS OBJETIVOS

Esta dissertação justifica-se pelo fato de que poucos trabalhos na literatura tratam da consideração dos impactos ambientais como critério para a priorização entre processos industriais. Geralmente, encontram-se estudos de impacto ambiental com outras finalidades.

A necessidade de considerar a demanda ambiental no desenvolvimento de produtos motivou diversos trabalhos sobre o reprojeto de produtos para o meio ambiente. Prates (1998) realizou o estudo de uma metodologia de reprojeto para o meio ambiente, tendo como empresas alvo as utilizadoras de recursos naturais para a geração de produtos residuais em geral. Bitencourt (2001) propôs uma metodologia realizando um estudo de caso do reprojeto de uma cafeteira elétrica.

Apesar da existência de várias metodologias de avaliação ambiental, a ausência de uma avaliação econômica estruturada em conjunto com esta prejudica a decisão industrial. Silva (2003) desenvolveu uma abordagem capaz de avaliar simultaneamente impactos e custos ambientais em processos industriais.

Outros estudos relatam a situação de empresas frente ao Sistema de Gestão Ambiental, como a pesquisa realizada por Madruga (2000), identificando o comportamento de empresas do setor automotivo no Rio Grande do Sul, em relação ao modelo de produção mais limpa. Assim, torna-se relevante o estudo de impactos ambientais para a tomada de decisão entre processos industriais.

A revisão da literatura sobre o meio ambiente e o desenvolvimento sustentável, sistemas de gestão ambiental, impactos ambientais, análise multicriterial e situação atual do setor torna-se útil para a aquisição dos conhecimentos necessários para a proposta do método em questão, bem como o conhecimento da empresa onde o método será testado e os processos que serão comparados.

A aplicação prática desse método faz-se necessária para verificar suas dificuldades e restrições.

1.3 MÉTODO DE TRABALHO

Uma pesquisa científica pode ser classificada quanto à finalidade, ao objetivo e à natureza. Quanto à finalidade, esta dissertação pode ser classificada como pesquisa aplicada, pois, segundo Andrade (1997), a mesma tem como objetivo o atendimento às exigências atuais do mercado, contribuindo para a solução de problemas reais, ao contrário da pesquisa fundamental que não apresenta aplicação imediata.

A classificação quanto aos objetivos que melhor representa esta dissertação é a pesquisa explicativa, que tem como finalidade o aprofundamento dos conhecimentos existentes, através do registro, análise e interpretação dos resultados, diferenciando-se da pesquisa exploratória, que simplesmente prepara as informações para um estudo posterior, e da pesquisa descritiva em que os fatos são observados e analisados, sem a interpretação do pesquisador (ANDRADE, 1997).

Quanto à natureza, esta dissertação classifica-se como resumo de assunto, dispensando a originalidade, ao contrário de um trabalho científico original, realizado pela primeira vez (ANDRADE, 1997).

Este trabalho obedece as seguintes etapas:

1. Identificação de um problema prático na escolha entre processos industriais, considerando impactos ambientais;
2. Revisão bibliográfica para compreensão dos assuntos utilizados na metodologia proposta: meio ambiente e o desenvolvimento sustentável, sistemas de gestão ambiental, impactos ambientais, análise multicriterial e a situação atual do setor analisado;
3. Estudo da empresa e dos processos para auxiliar na proposta do método;
4. Desenvolvimento de um método para a escolha entre processos industriais;

5. Aplicação do método proposto na empresa estudada e verificação dos resultados;
6. Avaliação do método através da análise crítica dos resultados e das dificuldades na aplicação;
7. Principais conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

1.4 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

O presente estudo limita-se a analisar os impactos ambientais, especificamente no setor siderúrgico, nos processos de decapagem química e mecânica. Como o método a ser desenvolvido será aplicado apenas a estes processos, a generalização dos resultados a outros é restrita, mesmo que pertencentes ao mesmo setor produtivo.

Salienta-se que neste trabalho não se pretende realizar uma análise aprofundada dos impactos ambientais para os processos de decapagem química e mecânica. Apenas deseja-se demonstrar a viabilidade de aplicação do método proposto. Destaca-se também que serão consideradas as etapas principais do ciclo de vida do produto.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos. No capítulo inicial faz-se a introdução ao assunto tratado no trabalho, os objetivos do estudo, sua justificativa, o método de trabalho, as limitações e a estrutura da dissertação.

No segundo capítulo apresenta-se a revisão bibliográfica sobre o assunto estudado. Nele são abordados cinco assuntos: meio ambiente e desenvolvimento sustentável, sistemas de gestão ambiental, impactos ambientais, análise multicriterial e a situação atual do setor analisado.

No terceiro capítulo apresenta-se a empresa e os processos que serão analisados: decapagem química e decapagem mecânica, e o método proposto para a escolha entre os processos industriais, destacando-se a estrutura e as ferramentas utilizadas.

O quarto capítulo expõe a aplicação prática do método e a análise crítica dos resultados, uma discussão sobre o método proposto, apontando as dificuldades encontradas.

No capítulo final são retomadas as principais conclusões obtidas no trabalho, propondo sugestões para futuros trabalhos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os investimentos geralmente visam a produção através da modificação do meio ambiente. A construção de um prédio comercial, de uma nova rua ou de um conjunto habitacional modificam o ambiente urbano. Uma indústria, uma fazenda ou um porto também modificam o meio ambiente, seja pela sua própria construção ou por uso e exploração dos recursos naturais existentes no seu entorno (CHENG, 2001).

Entende-se como impactos as reações da natureza mediante a introdução de elementos estranhos no ecossistema considerado, resultando em modificações na estrutura ambiental existente (MOREL et al., 2001). Segundo Bellia e Bidone (1993), os impactos podem ser positivos ou negativos, e seu somatório final também pode gerar resultados positivos ou negativos. À medida que há possibilidades de se prever, razoavelmente, tanto qualitativa como quantitativamente, as reações que surgirão da adição de um elemento novo na área de estudo, será possível estabelecer regras e ações paralelas para a implantação do empreendimento, capazes de minimizar os resultados negativos e potencializar os positivos.

Para a avaliação dos impactos faz-se necessário um estudo sobre os assuntos abordados neste capítulo.

2.1 O MEIO AMBIENTE E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

2.1.1 Conservação do meio ambiente

Desde o século XVII as autoridades coloniais, centradas no Rio de Janeiro, tomaram medidas eventuais para proteger a qualidade e a abundância das águas contra o predatório das nascentes e cursos dos rios. Mas coube ao príncipe regente Dom João editar em 1817 as principais normas legais convencionalistas, lançando princípios que orientaram a política de defesa de mananciais durante mais de um século, no Brasil. O decreto estabeleceu que não deveriam ser derrubadas as árvores existentes em torno

das nascentes dos rios Carioca e Paineiras (Floresta da Tijuca), nas matas do Silvestre, nem ao longo do aqueduto de Santa Tereza (FRANCO, 2001).

Bellia e Bidone (1993) conceituam o meio ambiente como o conjunto que envolve os seres vivos ou não, formando um todo sistêmico, cujas interações integram o processo vital.

Embora se reconheça a interdependência entre os diversos elementos constituintes do ambiente (água, ar, solo, flora, fauna, etc.) tornando impossível uma separação real entre eles, tradicionalmente são divididos segundo os meios físico, biológico (ou biótico) e sócio-econômico (ou antrópico). Fazem parte do meio físico: o subsolo, as águas, o ar e o clima, os recursos naturais, a topografia, os tipos e aptidões do solo, os corpos d'água, o regime hidrológico, as correntes marinhas e atmosféricas. O meio biológico e os ecossistemas naturais são constituídos pela fauna e pela flora. O uso e ocupação do solo, os usos da água, dos sítios e monumentos arqueológicos, históricos e culturais da comunidade, os recursos ambientais e a potencial utilização futura destes recursos constituem o meio sócio-econômico (BELLIA & BIDONE, 1993).

A Figura 1 apresenta a divisão do meio ambiente definida por Bellia e Bidone (1993).

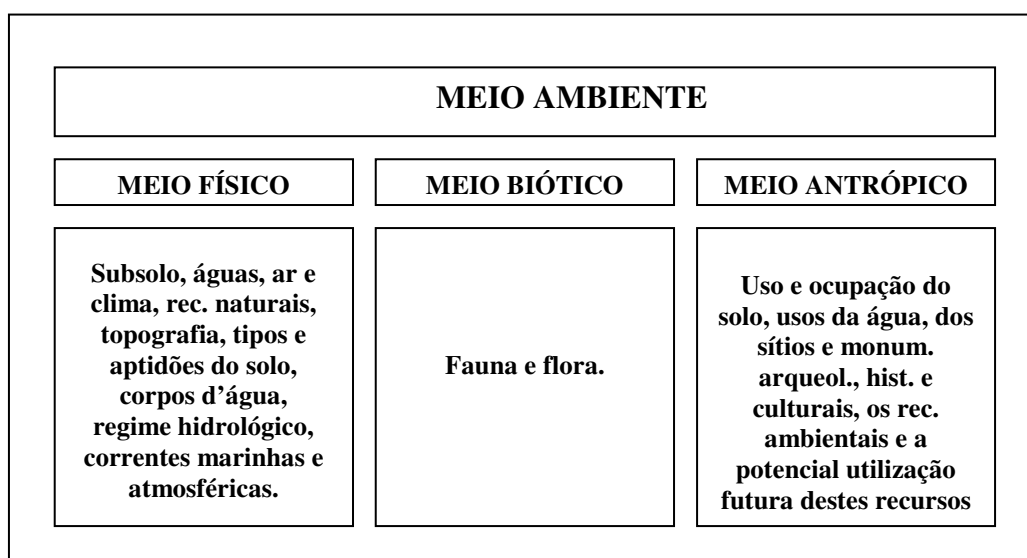


Figura 1: Divisão do meio ambiente

Kinlaw (1998) apresenta um conjunto de fatores que tem levado as empresas a adotarem uma postura diferenciada diante da questão ecológica. Pode-se agrupar estes fatores em quatro categorias principais: legislações, consumidores, concorrentes e normalização, e acordos empresariais.

1. Legislações: É uma categoria importante, pois o funcionamento das empresas pode depender do seu atendimento. Os fatores que estão enquadrados nesta categoria são: o rigor adotado por leis e regulamentos ambientais; multas pelo não-cumprimento da lei e acidentes ou desastres ocorridos com frequência; o aumento do número de leis sobre crimes ambientais, que têm sido aprovadas, regulamentadas e aplicadas; e o surgimento de leis que ampliam a responsabilidade ambiental da empresa pelos seus produtos para além da fase de produção (KINLAW, 1998).

2. Consumidores: Os consumidores estão cada vez mais se conscientizando sobre a preservação do meio ambiente. Os fatores relacionados nesta categoria são: o aumento no número de organizações ambientais e de suas propostas reformadoras, bem como o crescente número de organizações não governamentais (ONGs) que se dedicam a causa ecológica; a facilidade de obtenção de informações pelos consumidores, através da mídia e de outras fontes; a existência de programas que procuram influenciar o comportamento das empresas, como associações de classe e associações de comércio; atenção dos acionistas ao desempenho e à posição ambiental das empresas; e a procura dos consumidores por empresas e produtos ecologicamente corretos (KINLAW, 1998).

As empresas que desejam manter-se competitivas devem ter cuidado especial com as pressões originadas nos consumidores, pois o não atendimento de suas exigências pode implicar em queda nas vendas de seus produtos (CHEHEBE, 1997).

3. Concorrentes: Os concorrentes podem apresentar os certificados ambientais sobre os processos de produção e/ou rótulos ambientais dos

produtos como um diferencial ecológico. Os programas de certificação ambiental influenciam nos seguintes aspectos positivos: aumento da competitividade dos produtos em relação aos concorrentes mais defasados no tratamento das questões ambientais; promoção do desenvolvimento de tecnologias próprias e a conseqüente comercialização de serviços ambientais; ampliação do mercado para novos produtos desenvolvidos a partir do uso sustentável dos recursos naturais; obtenção de preços diferenciados como compensação aos investimentos realizados; e atração de investimentos em razão da melhor imagem da empresa (KINLAW, 1998).

Além dos aspectos positivos, os programas de certificação ambiental podem gerar aspectos negativos, como: dificuldade de exportações das micro e pequenas empresas, incapazes de realizar os investimentos necessários para a mudança de seus processos produtivos; diminuição da competitividade de exportadores que tenham de adaptar suas condições produtivas aos padrões ambientais de outros países; acentuação da vocação do país em exportações de baixo valor agregado, sobretudo o aumento da dependência de tecnologia e serviços ambientais importados (KINLAW, 1998).

4. Normalização e acordos empresariais: Existe um grande número de normas que tratam sobre os impactos ecológicos de produtos, na maioria dos casos, com abrangência local. Uma das principais normas internacionais que trata da relação das empresas com o meio ambiente é a série ISO 14000 (KINLAW, 1998).

Observa-se que existe uma variedade de fatores que levam as empresas a estabelecerem diferenciais ambientais em seus produtos e processos. Uma das formas de se alcançar este diferencial é oferecendo produtos ecologicamente corretos ou “verdes”. Para isso, é necessário incluir a questão ambiental no desenvolvimento de produtos e processos, suportando a equipe de projeto com instrumentos, como metodologia, métodos e ferramentas que auxiliem na identificação e atendimento dessa necessidade em suas atividades (MOURA, 2000).

2.1.2 Problemas ambientais

Os problemas ambientais demonstram que a interferência do ser humano no ecossistema levou a um desequilíbrio que ultrapassa a sua força de recuperação. Com frequência, os problemas ambientais não são tratados como problemas sistêmicos, o que leva a soluções que resolvem um problema e causam outros (IRVING & MONCRIEFF, 2004).

Os primeiros impactos ambientais de que se tem conhecimento surgiram do uso em excesso da madeira. Aproximadamente 400 a.C., grandes áreas da Grécia viraram deserto devido ao desmatamento causado pela indústria de cerâmica e pela pastagem intensiva. Neste mesmo período teve início a poluição industrial através da contaminação do solo pelas minas de chumbo e prata. As grandes nações de navegadores acabaram com as próprias florestas para construir suas embarcações (PIRIE et. al., 2004).

Até a primeira metade do século XIX os problemas ambientais estavam ligados ao desmatamento, mas com o início da industrialização os problemas ganharam outra dimensão, como o surgimento de problemas respiratórios na população da Inglaterra devido aos sedimentos provenientes da mineração do carvão. Com o aumento da produção de produtos químicos, com a exploração e o uso do petróleo em grande escala e com a utilização da energia nuclear, os riscos e o número de acidentes aumentaram significativamente (CHEN et al., 2003).

Nos anos 50 aconteceram as primeiras contaminações radioativas e, nas últimas décadas, diversos acidentes graves com petroleiros e plataformas marítimas causaram contaminações dos mares no mundo inteiro. Todos estes acidentes ambientais estão relacionados à falta de consciência e responsabilidade por parte dos usuários de tecnologias (KRIVTSOV, 2004).

Segundo Irving e Moncrieff (2004), as indústrias químicas, de papel e celulose, de ferro e aço, de metais não-ferrosos, de geração de eletricidade, de automóveis e de produtos alimentícios encontram-se entre os principais poluidores. No entanto, foram as indústrias química e petroquímica que mais investiram nas áreas de

pesquisa e desenvolvimento, adequando seus processos às exigências legais. Nesse segmento industrial é difícil identificar impactos ambientais em comum, devido à grande variedade de processos, de matérias-primas e de insumos existentes (KRIVTSOV, 2004).

Entretanto, a indústria não é única fonte de poluição. Deve-se considerar que resíduos são gerados também em outras atividades, como na agricultura com o uso indiscriminado de fertilizantes, no transporte com o grande número de automóveis poluindo o meio ambiente, no setor de serviços, principalmente na área médica, com a utilização sem controle de fármacos, e nas atividades domiciliares (PIRIE et. al., 2004).

Moura (2000) divide os problemas ambientais em três categorias: globais, regionais e locais, como pode ser observado na Figura 2. Os problemas globais são aqueles que afetam toda a humanidade ou cuja consequência é suficientemente grande para ser considerada global, como a destruição da camada de ozônio, resíduos de pesticidas em alimentos, efeito estufa e destruição de florestas. Os problemas regionais são os que afetam uma região geográfica razoavelmente bem definida, como os locais de despejo de resíduos sólidos, poluição da água por resíduos industriais, poluição do ar por fábricas ou veículos e chuva ácida. Os problemas que afetam o local de instalação da empresa e suas vizinhanças imediatas são chamados de problemas locais, como a exposição de trabalhadores a produtos químicos tóxicos, resíduos sólidos, radiações por Raios X e riscos de pesticidas para trabalhadores do campo (MOURA, 2000).

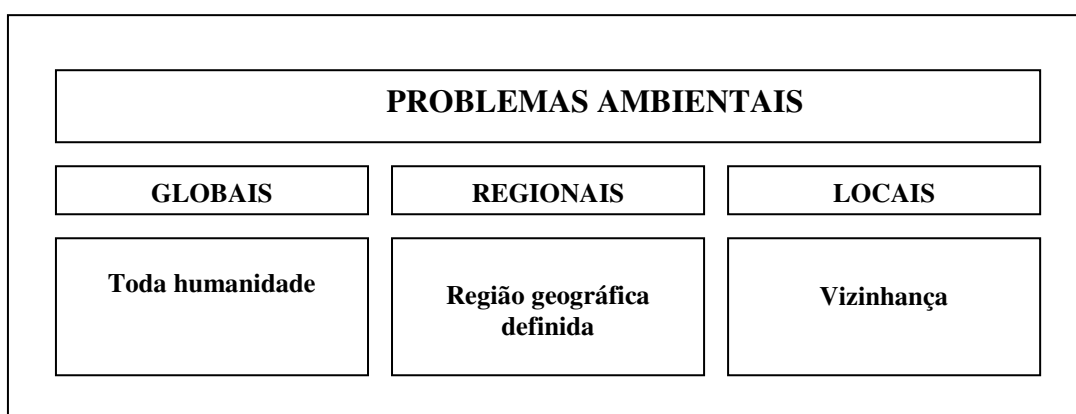


Figura 2: Classificação dos problemas ambientais

Os principais problemas ambientais são: poluição da água, poluição da atmosfera, poluição da vegetação e do solo, e poluição da fauna.

2.1.2.1 Poluição da água

A água, elemento essencial para a vida, é poluída por vários agentes. Pode ser considerada: natural ou bruta, quando não recebe qualquer tratamento; potável, quando pode ser consumida; ou industrial, quando só pode ser utilizada nesse processamento. Recebe, também, a denominação de água doce quando sua salinidade é igual ou inferior a 0,5 %, ou salgada (salina) quando sua salinidade é igual ou superior a 30 %. Encontramos ainda, a chamada água salobra cuja salinidade está entre 0,5 % e 30 %. Denomina-se água poluída aquela que é degradada por substâncias químicas e detritos orgânicos, sendo imprópria para o consumo. A água também pode ser considerada para consumo ou para insumo, isto é, quando serve para uso industrial, para mover hidrelétricas, por exemplo (BENZAOUÏ & BOUABDALLAH, 2004; SOMMARIVA, 2004).

As cidades sempre foram criadas em locais onde a água doce é, no mínimo, suficiente. Somente 0,7 % do total da água existente no planeta, é doce, isto é, com baixa salinidade e disponível nos rios, lagos e lençóis freáticos; 2,25 % das águas doces estão nas calotas polares e o resto é água oceânica salgada. Conseqüentemente, a água é um recurso desigualmente distribuído e pouco abundante, podendo ser comprometida por resíduos químicos, esgotos, rejeitos de garimpagem, detritos industriais e material orgânico putrefato (SOMMARIVA, 2004).

As águas de rios e lagos podem ser contaminadas de diversas formas: degradadas por afluentes, que são águas poluídas descarregadas por cidades ou indústrias; pela atividade agrícola, quando utiliza agrotóxicos e biocidas, possibilitando que esses elementos atinjam os lençóis freáticos; com a disseminação de doenças como cólera, malária, dengue e febre amarela, facilitada pelo não tratamento da água; pela erosão, oriunda do trato inadequado da terra, levando os detritos e agrotóxicos para os cursos d'água, envenenando animais e desequilibrando o ecossistema; pela garimpagem

ou mineração do ouro, quando da utilização de mercúrio para separá-lo (CRABTREE et. al., 1999).

Para o enfrentamento das agressões às águas, as comunidades devem se valer de decretos e leis que estabelecem normas e padrão de potabilidade da água e para o lançamento de contaminantes em geral.

2.1.2.2 Poluição da atmosfera

A atmosfera é formada pelos gases que envolvem a terra, tendo como função essencial fornecer condições à vida, ao mesmo tempo em que exerce sua função climática, propiciando uma temperatura favorável à vida, filtrando os raios solares. Esse envoltório gasoso é formado por 78 % de nitrogênio, 21 % de oxigênio, 0,03 % de gás carbônico e outros gases em mínima quantidade (LAFARIE-FRENOT & ROUQUIE, 2004).

A atmosfera vem sendo agredida pelo sensível aumento de gás carbônico (CO₂), oriundo da queima de combustíveis fósseis e de madeiras queimadas. Outra forma de agressão é por emissões de clorofluorcarbono (CFC) que devasta o ozônio da estratosfera causando um buraco na camada desse gás. O CFC, também denominado freon, é um gás volátil muito usado até os anos 90 em aerossóis, circuitos de refrigeração em aparelhos de ar condicionado, geladeiras e em embalagens de ovos e sanduíches (MCCULLOCH et. al., 2003; ASHFORD et. al., 2004).

A atmosfera também é poluída por gases como o aldeído, resultado principalmente da queima do álcool nos veículos automotores; pelo amianto, também liberado pelos automóveis e utilizado, hoje já em menor escala, na vedação térmica de construções; pela fuligem das indústrias, dos automóveis, além das toxinas que a compõem; e pelos óxidos de nitrogênio liberados pelos motores de combustão interna, aviões, fornos, mineradoras, uso excessivo de fertilizantes, incêndios de bosques e instalações industriais (BRUNEKREEF & HOLGATE, 2002).

A guerra e a fabricação de armas atingem a atmosfera e todos os seres vivos quando a radioatividade é levada pelo ar para regiões distantes do impacto da bomba ou do acidente nuclear ocorrido. Há fenômenos que são compostos em sua origem, como a chuva ácida que envolve a atmosfera e a água, poluída por gases liberados pela queima de carvão e derivados de petróleo (FULLWOOD & ERDMANN, 1983; BRUNEKREEF & HOLGATE, 2002).

2.1.2.3 Poluição da vegetação e do solo

Os ecossistemas são desequilibrados pela erosão proveniente de desnudamento da terra; pelo uso de agrotóxicos, fungicidas, herbicidas e inseticidas; pelo cansaço do solo oriundo de métodos de fertilização impróprios e pela quebra das cadeias alimentares; pelas técnicas primitivas de extração de matérias-primas do solo e da vegetação (BRUNEKREEF & HOLGATE, 2002).

A vegetação também sofre com o uso de elementos químicos como a dioxina, um desfolhante utilizado nas guerras com a finalidade de tornar o inimigo mais visível em locais de cobertura vegetal mais densa, com efeitos brutais sobre o meio ambiente. Substâncias como essa também são usadas para facilitar o desmatamento e a busca de madeiras úteis, causando efeitos no meio ambiente e nas pessoas que têm contato com esses tóxicos (VEGA et al., 1998; BRUNEKREEF & HOLGATE, 2002).

Em relação à poluição do solo, tem-se o problema dos garimpos. O garimpo é uma atividade precária e móvel, que se desloca na medida em que os veios minerais se esgotam ou se tornam pouco lucrativos ou inviáveis para as técnicas atrasadas que são utilizadas. Em termos ambientais, o garimpo polui os rios com mercúrio, promove a erosão de grandes regiões e desequilibra os ecossistemas (FAIREY et al., 1997).

2.1.2.4 Poluição da fauna

Os animais vivem devido a uma cadeia alimentar que consiste na transferência da energia alimentar que existe no ambiente natural, numa seqüência na qual alguns organismos consomem e outros são consumidos (D'ARCY & FROST, 2001). O equilíbrio da vida depende de um relacionamento apropriado entre as comunidades e sua quebra pode gerar efeitos incontrolláveis, como pragas ou extinção de algumas espécies (CLAYTON, 1997).

A caça, o manejo inadequado dos ecossistemas, o comércio de couros, peles e dos próprios animais, como os pássaros e peixes que são vendidos ao exterior, ao lado dos envenenamentos químicos, contribuem para o desaparecimento diário das espécies, às vezes nem conhecidas pelos seres humanos (D'ARCY & FROST, 2001; HANS et. al., 2003).

2.1.3 Desenvolvimento sustentável

O termo Desenvolvimento Sustentável (progresso econômico baseado na responsabilidade social e proteção ambiental) foi introduzido na década de 1980 e sua divulgação foi através do relatório Nosso Futuro Comum. Foi amplamente conhecido nos círculos políticos quase uma década após, consolidando-se com a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Rio-92 (CAMARGO, 2003).

Neste evento foram estabelecidas as bases para alcançar o desenvolvimento sustentável em escala global, fixando os direitos e obrigações, individuais e coletivos, com relação ao meio ambiente. A Agenda 21, criada na Rio-92, foi um plano de ação para se alcançar este objetivo (BARBIERI, 1997).

A insustentabilidade dos ecossistemas, a escassez de recursos naturais, a geração de rejeitos e resíduos, entre outros aspectos, inviabilizam o atual modelo de desenvolvimento econômico, em que os custos ambientais e sociais são ignorados em função da produção de riqueza que objetiva a redução de custos, a maximização dos lucros e a alimentação do próprio mercado (CHEN et al., 2003). Como consequência tem-se um aumento considerável de resíduos na água, no solo e na atmosfera, além da

perspectiva de uma já observada e crescente escassez de recursos naturais, como acontece com o petróleo, por exemplo (BRUNEKREEF & HOLGATE, 2002).

Para o benefício da humanidade, desenvolvimento e ecologia devem ter conceitos afins, através da agregação de atributos de sustentabilidade ao modelo atual. A solução para os problemas ambientais não deve se prender, porém, somente a inovações tecnológicas, mantendo o mesmo ritmo de exploração de recursos e produção de resíduos (KOZULJ, 2003).

Há necessidade de implementar, desde o projeto de produtos e regulamentação social, variáveis ligadas às questões ambientais e à qualidade de vida da população, não somente aquelas diretamente relacionadas ao uso dos produtos e tecnologias, mas a todos aqueles, mesmo que indiretamente, influenciados. Desta forma, pode-se criar condições que viabilizem um enfoque ambiental para produtos e processos, tornando-os “ecologicamente corretos” e sustentáveis ao longo de seu ciclo de vida (KOZULJ, 2003).

A sustentabilidade, como mostra a Figura 3, está baseada em três princípios fundamentais: a conservação dos sistemas ecológicos, sustentadores da vida e da biodiversidade; a garantia da sustentabilidade dos usos que utilizam recursos renováveis e o manter as ações humanas dentro da capacidade de carga dos ecossistemas (LOISELLE et al., 2000).

O desenvolvimento sustentável é, portanto, muito complexo, tendo como fatores que mais influenciam na sustentabilidade ambiental: a poluição, a pobreza, a tecnologia e os estilos de vida (BRAVO & TORRES, 2000).

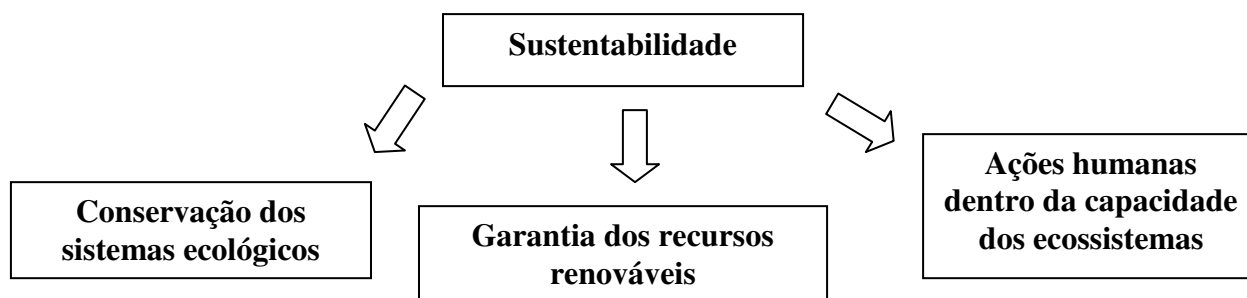


Figura 3: Princípios do desenvolvimento sustentável

Uma vez que o desenvolvimento sustentável apresenta além da questão ambiental, tecnológica e econômica, uma dimensão cultural e política, ele exige a participação de todos na tomada de decisão para as mudanças que se farão necessárias para a implementação do mesmo (KOZULJ, 2003).

O desenvolvimento sustentável constituiu-se num dos temas básicos do encontro mundial, popularmente conhecido como ECO-92, ou Cúpula da Terra, e, embora muito empregado desde então, pouco se tem feito a nível político e econômico para a sua efetivação nos programas do governo (BREDARIOL & MAGRINI, 2003).

Para que os objetivos do desenvolvimento sustentável sejam alcançados, algumas metodologias, como a Avaliação do Ciclo de Vida e o Design For Environment – DfE ou Projeto para o Meio Ambiente, foram desenvolvidas. A incorporação destas metodologias ao projeto do produto, contribui para uma produção menos agressiva ao meio ambiente (FULLER & OTTMAN, 2004; KORHONEN, 2004; PUJARI et. al, 2004).

O projeto do produto deve englobar as diferentes fases do seu ciclo de vida: o fornecimento de matéria prima, destino dos resíduos gerados na fabricação, em seu uso e após sua desativação. Deve haver uma íntima ligação entre projeto, desenvolvimento do produto e homem – meio ambiente, para que o projeto seja considerado bom (ANDERSSON et. al., 1998; MACDONALD, 2004).

A importância do desenvolvimento sustentável motiva o aparecimento de modelos de gestão ambiental que organizem sistematicamente a empresa com o objetivo de alcançar metas com o compromisso de melhoria contínua dos aspectos ambientais que envolvam suas áreas de atuação (BREDARIOL & MAGRINI, 2003).

Segundo o conceito jurídico de responsabilidade objetiva, a empresa poluidora é obrigada a indenizar e reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros, independente de comprovação de culpa. Apesar de a lei ser rigorosa com relação aos crimes ambientais, a penalização, ou seja, a aplicabilidade da lei é ainda considerada sutil (MOURA, 2000).

2.2 SISTEMAS DE GESTÃO AMBIENTAL

As questões relativas à conservação ambiental ocupam hoje uma parcela significativa dos investimentos e esforços administrativos de todos os segmentos da atividade econômica. O mercado percebeu rapidamente que atendendo às exigências legais normativas ou comunitárias, pode atuar fortemente em favor da competitividade de uns em oposição a inviabilização de outros. O problema da empresa moderna é o de adaptar-se ou correr o risco de perder espaços conquistados com muito trabalho, sendo necessário aplicar princípios de gerenciamento ambiental de acordo com o desenvolvimento sustentável (HARPHAM & WERNA, 1996).

A busca, por parte das empresas, por um enquadramento nos padrões de conservação ambiental, levou ao surgimento dos “selos verdes”. A primeira iniciativa surgiu na Holanda em 1972 e, desde então, os mais variados tipos de selos surgiram para, supostamente, atestar a qualidade ambiental dos produtos (ZUTSHI & SOHAL, 2004).

Em 1977, surgiu o selo alemão “Anjo Azul”, para testar vantagens ambientais comparativas entre produtos concorrentes para: tintas, produtos com material reciclado, produtos isentos de CFC e produtos químicos para uso doméstico (AMACHER et. al., 2004). O selo escandinavo “Cisne Nórdico” surgiu em 1989 para avaliação do ciclo de vida, certificando papéis e produtos de amplo uso doméstico (ZUTSHI & SOHAL, 2004).

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) desenvolveu um selo verde nacional, cujos procedimentos de concessão estão sempre em aprimoramento. Vinculado à ABNT, existe o Grupo de Apoio à Normatização Ambiental (GANAA), formado em setembro de 1994 (GUÉRON, 2003).

Atualmente existe um pacto entre as maiores empresas, visando aplicar princípios de gestão ambiental que garantam sua própria sobrevivência, reduzindo a exposição de seus processos, produtos e serviços à crítica das partes interessadas ou afetadas, um potencial fator de restrição à competitividade (HARPHAM & WERNA,

1996). Formou-se uma certa “aliança verde”, que vem permitindo que as maiores empresas troquem experiências abertamente (AMACHER et. al., 2004).

Algumas das principais alianças empresariais para o gerenciamento ambiental são: a BCSD (Business Council for Sustainable Development), da Suíça, criada para promover uma maior compreensão e aplicação dos conceitos de sustentabilidade e formada por altos dirigentes de empresas de grande porte, com renome internacional; a CERES (Coalition for Environmentally Responsible Economics), nos EUA, fundada para promover atividades econômicas responsáveis onde mais de quinhentas corporações obtêm e prestam informações; o INEM (International Network for Environmental Management), fundada para promover o desenvolvimento sustentável ao redor do mundo, atentando para as pequenas e médias empresas, e a KEIDAREN (The Japan Federation of Economic Organizations), do Japão, fundada em 1946 e que, a partir de 1991 incluiu as questões ambientais dentre seus campos de atuação, tendo publicado a Carta de Meio Ambiente Global, com princípios e diretrizes de gestão ambiental para as empresas (GUÉRON, 2003).

A partir da norma britânica BS 7.750 foram dados passos concretos em direção à formulação de uma norma internacional. As várias empresas, inicialmente inglesas e européias, que implementaram os princípios e procedimentos por ela sugeridos alcançaram com rapidez e eficiência resultados altamente vantajosos, com redução de multas e penalidades com órgãos públicos de controle ambiental, com as comunidades, com os sindicatos e com seus empregados (BARBOSA, 2003).

Após o surgimento da BS 7.750, surgiu o Comitê Técnico 207 da ISO, repetindo-se a experiência bem sucedida da TC -176, que a partir da BS 5.750 elaborou a ISO série 9000 (GUÉRON, 2003).

Fundada em Genebra, em 1947, a ISO (International Standardization Organization) como uma Organização Não Governamental (ONG), tem por finalidade ser um fórum internacional de normalização e atuar como entidade harmonizadora entre as diversas agências nacionais (CALMET et. al., 2004).

Sensibilizada por ações que já vinham sendo tomadas por diversos países para criar suas próprias normas de gestão e certificação ambiental, com a experiência acumulada na elaboração das normas da série ISO 9000, e com o estabelecimento, em março de 1993, do Comitê Técnico TC - 207, surgiu a nova série da ISO, que recebeu a designação de ISO 14000 e se aplica, a exemplo da ISO 9000, tanto às atividades industriais como também às atividades extrativas, agroindustriais e de serviços (FONE, 2003).

A ISO 14000 é mais abrangente do que a ISO 9000, pois além de prever a certificação das instalações das empresas e suas linhas de produção, no sentido de cumprirem os requisitos de qualidade da produção, também possibilita a certificação dos próprios produtos que satisfaçam os padrões de qualidade ambiental (FONE, 2003).

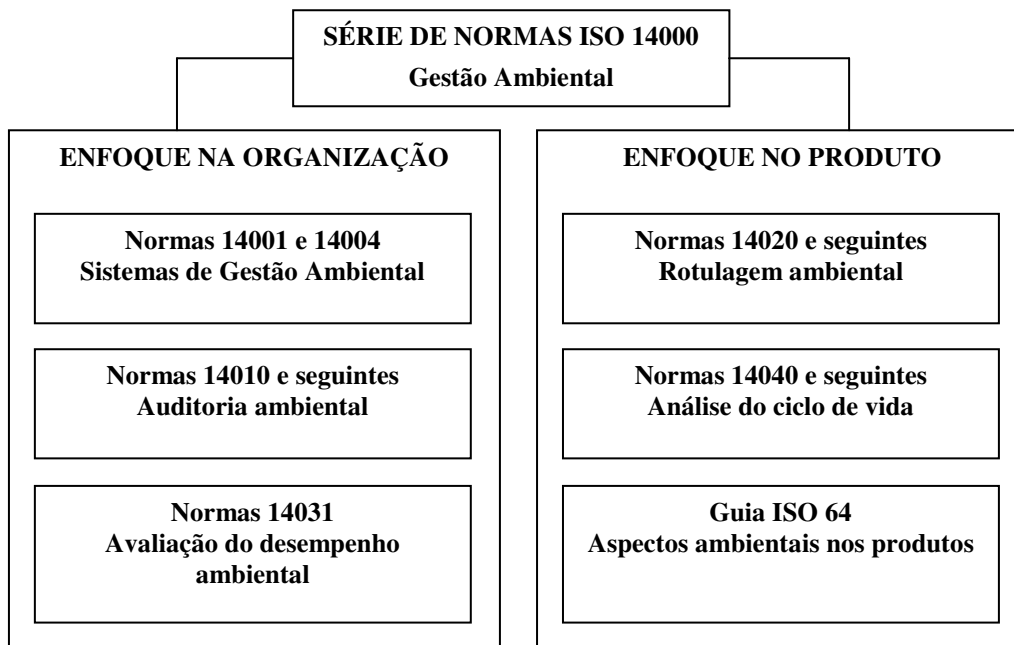
Um dos objetivos da ISO série 14000 é o de homogeneizar a linguagem das normas ambientais regionais, nacionais e internacionais, agilizando assim as transações no mercado globalizado. As normas de um sistema de gestão ambiental indicam os meios para que o produto, serviço e/ou processo sejam ambientalmente sustentáveis, ou ainda, não agridam ou alterem significativamente o meio ambiente (STEVENSON & BARNES, 2002; FONE, 2003).

As normas referentes à gestão ambiental são a ISO 14.001 e a ISO 14.004. A primeira define as diretrizes para o uso e especificações, havendo uma correspondência com a ISO 9001. Já a norma ISO 14.004, descreve as diretrizes gerais sobre os princípios, os sistemas e as técnicas de apoio ao Sistema de Gestão Ambiental (SGA) (FRESNER, 2004).

Como pode ser observado na Figura 4, também existem normas que direcionam a realização de auditorias ambientais (ISO 14.010), a avaliação de desempenho ambiental (ISO 14.031), a rotulagem ambiental (ISO 14.020) e a análise do ciclo de vida de um produto (ISO 14.040) (LOBO & LIMA, 1998; JASCH, 2000).

A Comissão Mundial do Ambiente e do Desenvolvimento criou, em 1987, os Princípios da Gestão Ambiental, que foram definidos no ano de 1990 pela Câmara de Comércio Internacional (CCI). Esses princípios foram elaborados com o

intuito de oferecerem às empresas meios para alcançar o desenvolvimento sustentável da gestão ambiental (ANDRADE et. al., 2003).



(Fonte: Adaptado de Lobo & Lima, 1998)

Figura 4: Série de normas ISO 14.000

Os Princípios da Gestão Ambiental, definidos pela CCI, são apresentados a seguir (DONAIRE, 2003).

- **Prioridade organizacional:** a questão ambiental deve estar entre as principais prioridades da empresa, com o estabelecimento de metas e programas que sejam adequados ao meio ambiente.
- **Gestão integrada:** tornar as políticas, os programas e as práticas ambientais, parte fundamental de todas as áreas do negócio.
- **Processo de melhoria:** aprimorar as políticas corporativas e a performance ambiental nos mercados interno e externo.

- Educação do pessoal: tornar possível, por meio de educação e motivação, a execução das tarefas da empresa de maneira responsável em relação ao meio ambiente.
- Prioridade de enfoque: analisar as possíveis repercussões ambientais antes de iniciar um novo projeto.
- Produtos e serviços: desenvolver produtos que não prejudiquem o meio ambiente.
- Orientação ao consumidor: informar ao público em geral sobre o correto e seguro uso do produto.
- Equipamentos e operacionalização: utilizar máquinas eficientes considerando o uso adequado de água, energia e matérias-primas.
- Pesquisa: apoiar projetos que estudem os impactos ambientais associados ao processo produtivo da empresa.
- Enfoque preventivo: utilizar os mais modernos conhecimentos técnicos e científicos para modificar o uso de produtos e os processos produtivos de forma consistente.
- Fornecedores e subcontratados: motivar toda a cadeia fornecedora a adotar os princípios ambientais.
- Planos de emergência: desenvolver planos de contingências em conjunto com a sociedade e o governo nas áreas de risco potencial.
- Transferência de tecnologia: contribuir na disseminação das tecnologias junto aos setores privado e público.

- Contribuição ao esforço comum: incentivar e apoiar políticas públicas e privadas que visam preservar o meio ambiente.
- Transparência de atitude: propiciar transparência com a comunidade interna e externa.
- Atendimento e divulgação: conduzir auditorias ambientais, medindo o desempenho ambiental.

Conhecer esses princípios é requisito essencial para a incorporação de um sistema de gestão ambiental.

2.2.1 Modelos de Gestão Ambiental

Os modelos de gestão ambiental primeiramente adotados nas organizações definiam como objetivo, no limite mínimo e estrito do termo, o alcance do entendimento e da conformidade com os requisitos da legislação e dos regulamentos ambientais (BENNETT, 2002).

Nessa época, a auditoria ambiental constituía-se em um instrumento de verificação dessa conformidade e, portanto, tinha como objetivos os fatos e os desempenhos realizados no passado, implicando em uma fiscalização do modo de realização de eventos já acontecidos, avaliados contra requisitos da legislação. Portanto, a auditoria ambiental consistia em uma abordagem do desempenho legal, no passado e, passível de multas e outras penalidades (KURTZ, 2004).

O modelo de gestão ambiental que era estável e depois reativo apresentava-se nos dias atuais como antecipativos e criativos. Nessa nova realidade, a auditoria ambiental perde a característica de instrumento fiscalizador de desempenho ambiental legal já realizado e adquire a propriedade de linha de partida para fixação de desempenho futuro desejado. Nesse novo contexto de gestão ambiental (pública ou

privada), a auditoria ambiental se fortalece, constituindo-se, atualmente, em um dos seus mais efetivos instrumentos (BENNETT, 2002; KURTZ, 2004).

A implantação da gestão ambiental no Brasil está diretamente relacionada ao modelo de desenvolvimento adotado, o que contribuiu para a fragmentação das ações ambientais. Nos anos 70, o desenvolvimento foi marcado por um intenso processo de industrialização, exploração de recursos naturais, expansão da fronteira agrícola, urbanização acelerada; o que levou a um tratamento fragmentado das questões ambientais (GIANNETTI et. al., 2004).

Algumas criações para a gestão ambiental brasileira são: o Código de Águas, em 1934; o Código Florestal, em 1967; o Código de Mineração, em 1967; e a Política Nacional de Saneamento, em 1967. Esses códigos nacionais geraram uma preocupação setorial em todos os Estados brasileiros, surgindo instituições de gestão ambiental de grande importância (CARVALHO, 1998).

Dentre as instituições criadas em função da preocupação com a gestão do meio ambiente destacam-se: a Comissão Intermunicipal de Controle de Poluição do Ar e das Águas, criada no ano de 1960, em São Paulo; a criação do Instituto de Engenharia, no Rio de Janeiro, em 1962; a Comissão Estadual de Controle de Poluição Ambiental, fundada em 1967, em Pernambuco; a criação da Cetesb - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, em São Paulo, em 1973; a fundação do Conselho Estadual de Proteção Ambiental, na Bahia, no mesmo ano; a criação da FEEMA - Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, em 1975, no Rio de Janeiro; a criação do CECA - Conselho Estadual de Controle Ambiental, no ano de 1979, no Estado de Mato Grosso do Sul; e, no ano de 1981, a aprovação da Lei nº 6.938, que institui o Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA e o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, fortalecendo a política dos Estados, estabelecendo as responsabilidades para a concessão de licenças ambientais (GIANNETTI et. al., 2004).

Simultaneamente à estruturação do SISNAMA e do CONAMA foram criados importantes instrumentos para o gerenciamento ambiental, dentre eles têm-se: a avaliação de impactos ambientais; o cadastro técnico federal de atividades impactantes; o licenciamento; as certificações; o zoneamento ambiental; o sistema nacional de

informação - SINIMA; o relatório de qualidade do meio ambiente - RQMA; o fundo nacional do meio ambiente – FNMA; e, a agenda nacional do meio ambiente (CARVALHO, 1998; GIANNETTI et. al., 2004).

No ano de 1986 evidenciou-se a existência de Conselhos Estaduais em nove Estados: Amazonas, Alagoas, Bahia, Paraíba, Sergipe, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Santa Catarina (GIANNETTI et. al., 2004). Neste período, a principal preocupação da política ambiental limitava-se à preservação, aos impactos locais e regionais e às restrições decorrentes de tais impactos (BREDARIOL & MAGRINI, 2003).

Posteriormente, observou-se que as proibições, as multas ou previsões de custos adicionais para reparar danos ambientais eram insuficientes, surgindo a necessidade de elaboração de novas normas e padrões. Esses procedimentos referem-se ao lançamento de poluentes no ar e nas águas; à disposição dos resíduos sólidos; à emissão de ruídos; à preservação do patrimônio natural, histórico, artístico e cultural; e, aos critérios para atividades de licenciamento e fiscalização ambiental (GIANNETTI et. al., 2004).

Este sistema de gestão ambiental tem sido adotado pelo Brasil, com constante avaliação e reformulação, contando com a participação de todos para que possa atingir seu principal objetivo: a manutenção dos ecossistemas e, conseqüentemente assegurar a qualidade de vida de todos os seres vivos e não apenas da espécie humana (BREDARIOL & MAGRINI, 2003).

2.2.2 Benefícios do Sistema de Gestão Ambiental

As empresas que têm interesse em incorporar um programa de gestão ambiental ao seu planejamento estratégico e operacional devem obedecer às normas ISO 14001 e 14004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que especificam diretrizes para o Sistema de Gestão Ambiental (SGA) desde 1996 (MOURA, 2000; SILVA, 2003).

As empresas que adotam a gestão ambiental recebem benefícios tanto econômicos quanto estratégicos, aumentando a competitividade no mercado no qual estão inseridas. A organização preocupada com o meio ambiente consegue reduzir gastos devido à diminuição do consumo de água, energia e outros insumos, reciclagem, venda e aproveitamento de resíduos, diminuição de efluentes e redução de multas e penalidades por poluição (WILKINS, 2003).

Fabricando “produtos verdes”, as empresas podem alcançar maiores preços e aumentar sua participação no mercado. Com isso, observa-se que ações saudáveis ao meio ambiente propiciam às empresas um incremento na sua receita e redução de gastos no processo produtivo (MOURA, 2000).

Os benefícios estratégicos que as empresas obtêm com a utilização desses princípios são: melhorias na imagem institucional; renovação da linha de produtos; aumento da produtividade; alto comprometimento dos funcionários; melhoria nas relações de trabalho; melhor relacionamento com os órgãos governamentais, com a comunidade e com os grupos ambientalistas; acesso assegurado ao mercado externo e melhor adequação aos padrões ambientais (DONAIRE, 2003).

2.3 IMPACTOS AMBIENTAIS

Os diversos derrames de petróleo e os efeitos da Guerra do Vietnã foram debatidos no congresso ambientalista dos Estados Unidos, no final da década de 60, surgindo os conceitos de impacto e risco ambiental. Deste debate, liderado pelo senador Henry Jackson, originou a carta Magna do Movimento Ambientalista que mais tarde passou a ser o NEPA (National Environmental Policy Act), assinado pelo presidente Richard Nixon em janeiro de 1970 (ORR, 1995).

O NEPA criou a declaração de Impacto Ambiental, propondo a prevenção de impactos ambientais gerados pelo processo de desenvolvimento (ORR, 1995). A legislação ambiental americana influenciou a criação de medidas de proteção em todo o mundo e inclusive no Brasil, o que veio a se concretizar cerca de uma década

após o estabelecimento da Política Nacional do Meio Ambiente, através da lei número 6.938, de 31 de agosto de 1981, que em seu sexto artigo cria dentro do SISNAMA, como seu órgão consultivo deliberativo, o CONAMA (GUÉRON, 2003).

O Decreto 88.351/83, que regulamentou a Lei 6.938/81, vinculou a utilização da avaliação de impacto ambiental aos sistemas de licenciamento dos órgãos estaduais de controle ambiental, para atividades poluidoras ou mitigadoras do meio ambiente (BARBOSA, 2003; GUÉRON, 2003).

Segundo esse Decreto, são três as licenças a serem requeridas responsáveis por empreendimentos: Licença Prévia (LP), na fase preliminar do planejamento da atividade, contendo requisitos básicos a serem atendidos nas fases da localização, instalação e operação, observados os planos municipais, estaduais ou federais de uso do solo; Licença de Instalação (LI), autorizando o início da implantação, de acordo com as especificações constantes do projeto executivo aprovado; e, Licença de Operação (LO), autorizando, após as verificações necessárias, o início da atividade licenciada e o funcionamento de seus equipamentos de controle de poluição, de acordo com o previsto nas licenças prévias e instalação (BARBOSA, 2003; GUÉRON, 2003).

De acordo com a Resolução 1 do CONAMA, de 23 de janeiro de 1986, pode-se definir impacto ambiental como qualquer alteração das propriedades do meio ambiente, sejam físicas, químicas ou biológicas, causadas por qualquer forma de matéria ou energia provenientes das atividades humanas, que afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais (BARBOSA, 2003).

Esta Resolução estabeleceu competências, responsabilidades, critérios técnicos e diretrizes gerais, além de especificar quais as atividades que estão sujeitas a esses procedimentos. Esta é a norma que trata dos elementos básicos para a execução dos Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e apresentação do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) (BARBOSA, 2003; GUÉRON, 2003).

No entanto, os impactos ambientais podem ser de várias categorias: impacto positivo ou benéfico, quando a ação resulta na melhoria da qualidade de um fator ou parâmetro ambiental; impacto negativo ou adverso, quando a ação resulta em um dano à qualidade de um fator ou parâmetro ambiental; impacto direto, quando resulta de uma relação de causa e efeito; impacto indireto, resultante de uma ação secundária em relação à ação ou quando faz parte de uma cadeia de reações; impacto local, quando a ação afeta apenas o próprio sítio e suas imediações; impacto regional, quando o impacto se faz sentir além das imediações do sítio onde se dá a ação; impacto temporário, impactos cuja ação tem duração determinada; e, impacto permanente, impactos cujos efeitos não cessam de se manifestar num horizonte de tempo conhecido (JASCH, 2000).

A Figura 5 apresenta as categorias de impactos ambientais: positivos ou negativos, diretos ou indiretos, locais ou regionais e temporários ou permanentes.

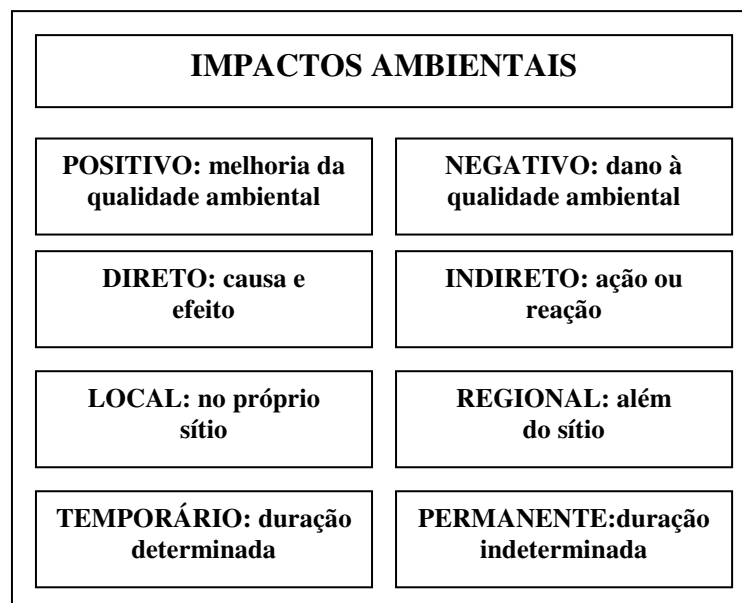


Figura 5: Categorias dos Impactos Ambientais

Podem-se citar alguns estudos envolvendo impactos ambientais: Kurtz et. al. (2002) quantificaram os impactos causados pelos moradores da Ilha das Flores,

em Porto Alegre, no Rio Grande do Sul, determinando a viabilidade da permanência destes moradores no local.

Gonçalves e Lanza (2000) conceitualizaram o desenvolvimento sustentável e analisaram os impactos ambientais provocados pelas empresas dos setores siderúrgico, agropecuário e de mineração, descrevendo como estas tratam a questão ambiental.

Naime e Garcia (2004) discutiram o gerenciamento de resíduos de lâmpadas por pequenos usuários, tendo visto que os grandes usuários industriais e comerciais, influenciados pela legislação ambiental e por práticas de normatização e qualificação, já dispõem de políticas próprias eficientes de gerenciamento dos resíduos de lâmpadas fluorescentes. Ferrari (2000) desenvolveu uma metodologia para avaliar o impacto ambiental do processo de fabricação de placas de revestimentos cerâmicos.

As principais conseqüências dos impactos ambientais são: os danos ao solo e à água, afetando o fornecimento de alimentos e de água potável; o esgotamento ou mau uso dos recursos naturais; dificuldade na exportação de produtos, pois os mercados internacionais tendem cada vez mais a verificarem os procedimentos ambientais antes da importação; dificuldade na concessão de recursos, pois a atenuação do impacto ambiental é pré-requisito para os investidores; e, a instabilidade demográfica e a má qualidade de vida (COWEN & BRAITHWAITE, 1998).

2.3.1 Avaliação dos impactos ambientais

Todas as jurisdições e organizações nas quais a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) foi adotada estabelecem, de uma forma ou de outra, que esse instrumento de política ambiental deverá ser empregado para fundamentar decisões quanto à viabilidade ambiental de obras, atividades e outras iniciativas que possam afetar negativamente o meio ambiente (SLOOTWEG & KOLHOFF, 2003; WILKINS, 2003).

Mais precisamente, leis, regulamentos e políticas adotados por essas jurisdições e organizações estabelecem, como parte do processo de AIA, a necessidade de preparação de um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) antes da tomada de decisões sobre iniciativas que tenham o potencial de causar alterações ambientais significativas (WILKINS, 2003).

Uma definição empregada no âmbito internacional considera a avaliação de impacto ambiental como o processo de identificar, prever, avaliar e mitigar os efeitos relevantes de ordem biofísica e social, decorrentes de obras e projetos, previamente à tomada de decisões quanto a estas ações (SLOOTWEG & KOLHOFF, 2003).

A Avaliação de Impacto Ambiental pode ser formalizada em conjunto com os seguintes procedimentos: o tipo de decisão que dependerá da avaliação de impacto ambiental; o tipo e a profundidade dos estudos técnicos necessários para subsidiar essas decisões; os critérios para a elaboração desses estudos técnicos; as modalidades de consulta e participação pública; os mecanismos de análise e aprovação dos estudos apresentados; as formalidades de incorporação das conclusões dos estudos à tomada de decisão; e, os mecanismos de incorporação das recomendações e exigências à gestão do empreendimento, no caso de sua autorização (KEMM, 2004).

As metodologias de avaliação ambiental mais citadas na literatura são:

1. Método espontâneo: utilizado para uma rápida estimativa dos impactos ambientais, apresentado de forma simples e de fácil compreensão. A desvantagem do método é a dificuldade na avaliação detalhada de impactos reais de variáveis ambientais específicas (MORRIS & THERIVEL, 1996).

2. Método *Check lists*: ferramenta de uso rápido para análise de impactos, com avaliação qualitativa para projetos específicos. A larga faixa de *check lists* é considerada de fácil compreensão, instigando o usuário na avaliação das conseqüências e das ações. Neste método, o meio ambiente é classificado em compartimentos e fragmentos, sendo a abordagem unidirecional (CANTER, 1977; ELIASSON, 2000).

3. Método das Matrizes: neste método há a combinação das ações humanas e indicadores de impacto ambiental em dois eixos, porém, esta relação pode ser útil apenas até certo ponto. O método das matrizes possui quatro abordagens: a de Leopold, a de Lohani-Thahn, a de Parker-Howard e da Interação (CANTER, 1977; SANCHEZ-TRIANA & ORTOLANO, 2001).

A metodologia de Leopold é facilitadora para a comunicação dos resultados, cobrindo os fatores ambientais biológicos e sócio-econômicos. O método pode acomodar os dados quantitativos e qualitativos e, geralmente, é ponto de partida para prosseguimento de projetos e estudos futuros. Com a utilização deste método, o usuário sente-se livre para modificar e encontrar suas necessidades particulares, com baixo custo e caráter multidisciplinar para avaliar impactos (SANCHEZ-TRIANA & ORTOLANO, 2001).

No método de Leopold a variável tempo não é considerada e, com isso, não é capaz de distinguir impactos imediatos, temporários e definitivos. Além disso, este método compartimentariza o meio ambiente em itens separados, não suprimindo o critério explícito na previsão de valores (CANTER, 1977; SANCHEZ-TRIANA & ORTOLANO, 2001).

A abordagem de Lohani-Thahn para o método das matrizes propõe a integração dos componentes ambientais por prioridade, considerando os fatores ambientais de acordo com o local onde o projeto existe. A avaliação matemática considera a magnitude e a importância, mas não leva em consideração que ambos os conceitos são de abordagem diferente (CANTER, 1977).

O método de Parker-Howard incorpora o fator tempo na matriz de Leopold, utilizada para avaliar a importância e a intensidade de simples impactos durante certo período de tempo. Este método reflete a idéia de avaliação isolada, incapaz de explicar certas complexidades (CANTER, 1977).

A matriz de Interação considera os mesmos componentes ambientais nos eixos horizontal e vertical. Este método é mais relativo e principalmente usado em análises locais do que na avaliação de impactos (CANTER, 1977).

4. Método do mapeamento por superposição *over-lays*: apresenta forte poder de síntese indicando o relacionamento espacial, facilitando as condições com e sem projeto. Este método é recomendado para grandes projetos de desenvolvimento na seleção de alternativas, porém, a análise pode ser limitada em alguns casos (MORRIS & THERIVEL, 1996).

5. Métodos quantitativos: apresentam duas abordagens. Na primeira, EES-Batelle, os resultados suprem boas informações para caracterizar uma dada situação ambiental e prever impactos. A estimativa subjetiva é diminuída devido ao uso das técnicas Delphi, com diferentes equipes avaliadoras. A aplicação desta metodologia requer muito trabalho preparatório para estabelecer as curvas das funções para cada indicador ambiental. O conceito de qualidade ambiental, no método de EES-Batelle é muito vago e desconsidera a base sócio-econômica (MORRIS & THERIVEL, 1996).

A segunda abordagem para os métodos quantitativos é a de Sondheim, utilizada para análise simultânea de várias alternativas para projetos, tendo a participação da comunidade afetada pelas propostas. Como desvantagem, ressalta-se o isolamento dos componentes e sua análise com especialistas (MORRIS & THERIVEL, 1996; SOLNES, 2003).

6. Método da análise de rede (Networks): este método apresenta duas abordagens principais, a de Sorensen e o diagrama de fluxo. A primeira engloba métodos para a avaliação de impactos indiretos, permitindo a visualização da conexão entre a ação e o impacto. A abordagem de Sorensen permite mostrar o impacto esperado (CANTER, 1977; LEE, 1983).

Os diagramas de fluxo foram construídos para vários aspectos do estudo extensivo para os últimos impactos ambientais considerados. Estes diagramas não mostram apenas os impactos do projeto no ambiente, mas o efeito na tendência ambiental. São desenvolvidos para cada projeto e sua situação ambiental e são especulativos em conteúdo, devido à grande variedade de ambientes locais que exigem estudos extensivos na formulação de diagramas para cada situação (CANTER, 1977; LEE, 1983).

7. Método baseado nos modelos de simulação: a exploração de não-linearidade e ligações indiretas são possíveis pelo uso de modelos matemáticos e computadores. Este método requer pessoal com experiência e depende da disponibilidade de dados apropriados (MORRIS & THERIVEL, 1996).

O modelo de simulação G-sim permite a consideração da dinâmica e interação do sistema, com rapidez e exigência de pouco equipamento computadorizado. Por outro lado, não permite a confiabilidade na condução de situações sensíveis para precisar o balanço numérico das variáveis (MORRIS & THERIVEL, 1996).

Já o modelo K-sim permite uma análise mais detalhada. A principal vantagem é a rapidez com que o usuário pode estruturar o modelo de trabalho, sem técnicas de simulação sofisticadas e com a participação do projeto na revisão do modelo pelas saídas gráficas. Neste modelo, os detalhes técnicos são moderadamente complexos, assumindo que seu limite é a realidade (MORRIS & THERIVEL, 1996).

A Figura 6 apresenta os principais métodos de avaliação ambiental encontrados na literatura.

| | Método | Característica |
|----------------------|----------------------|---------------------------------------|
| Espontâneo | Espontâneo | rápida estimativa |
| Check lists | <i>Check lists</i> | projetos específicos |
| Matrizes | Leopold | fatores biológicos e sócio-econômicos |
| | Lohani-Thahn | integração por prioridades |
| | <i>Parker-Howard</i> | avaliação isolada |
| | Interação | análises locais |
| Over-lays | Over-lays | seleção de alternativas |
| Quantitativos | EES-Batelle | desconsidera a base sócio-econômica |
| | Sondheim | análise simultânea |
| Networks | Sorensen | impactos indiretos |
| | Diagrama de fluxo | tendência ambiental |
| Simulação | G-Sim | dinâmica e interação do sistema |
| | K-Sim | análise detalhada |

Figura 6: Principais métodos de avaliação ambiental

Além das metodologias apresentadas, existem outros métodos ou ferramentas computacionais que auxiliam nas atividades da equipe de projeto quanto à inclusão da demanda ambiental no desenvolvimento de produto ou processo. Esses métodos ou ferramentas são conhecidos como eco ferramentas (PREK, 2004).

As eco ferramentas, dependendo da aplicação, podem ser classificadas em dois grupos: ferramentas e métodos de análise, usadas para identificar o impacto ambiental de um produto ao longo do ciclo de vida; e ferramentas e métodos de melhoria, usadas para auxiliar os projetistas nas tomadas de decisão e na implementação de ações, que objetivam a redução do impacto ambiental dos produtos (PREK, 2004; FINNVEDEN et al., 2005).

A escolha de uma eco ferramenta para um problema específico pode ser realizada através da definição clara do objetivo que deverá ser atendido, pois as diferenças entre as eco ferramentas podem ser encontradas no propósito para o qual foram desenvolvidas e através da determinação das fases do desenvolvimento do produto em que se deseja adotar o critério ambiental (PENNINGTON et. al., 2004; WU et. al, 2005).

A Figura 7 apresenta as eco ferramentas classificadas conforme a aplicação.

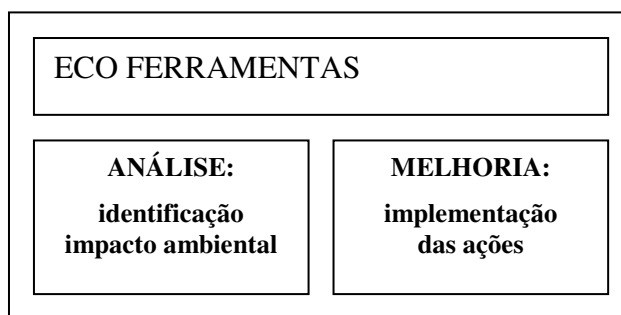


Figura 7: Classificação das eco ferramentas quanto a aplicação

A Figura 8 apresenta um levantamento das principais eco ferramentas.

| Eco Ferramentas | Fases do desenvolvimento de produtos | | | | | |
|-----------------|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|------------|
| | Marketing | Projeto Informacional | Projeto Conceitual | Projeto Preliminar | Projeto Detalhado | Manufatura |
| ACV | | Avaliação de projetos existentes | | | | |
| DFx's | | | | | | |
| PP/WP | | | | | | |
| de Melhorias | | | | | | |

Fonte: (Adaptado de Caluwe (1997), p. 10).

Figura 8: Eco ferramentas nas fases do desenvolvimento de produtos.

As eco ferramentas, apresentadas na Figura 8, são descritas a seguir:

ACV (Avaliação do Ciclo de Vida): é uma das ferramentas mais utilizadas, pois suporta a determinação do perfil do impacto ambiental no ciclo de vida do produto. Pode ser utilizada tanto para a verificação do impacto ambiental quanto para a identificação de oportunidades de melhorias ambientais. A ACV é a base de certificação ambiental de produtos em diferentes programas de rotulagem ambiental (KHAN et. al., 2004). A principal desvantagem desta ferramenta é a quantidade de recursos necessários a sua aplicação, necessitando, muitas vezes, de abordagens simplificadas (PENNINGTON et. al., 2004).

DFx's (design for environment): usados para denominar todas as abordagens que provêm características ambientais específicas aos produtos, tais como: DFR ou *Design for Reliability* (projeto para reciclabilidade) e DFD ou *Design for Disassembly* (projeto para a desmontagem) (BOVEA & VIDAL, 2004; WU et. al, 2005).

PP/WP: práticas que procuram reduzir o lançamento de resíduos para o meio ambiente e os desperdícios dos processos e atividades, como forma de prevenção da poluição e do desperdício. Estas ferramentas são mais direcionadas aos processos de fabricação, como por exemplo, a usinagem ecológica, mas também podem ser direcionadas ao projeto de produtos quando orientam a seleção de materiais e processos (DANIEL et. al, 2004; VOGTLANDER et. al., 2004).

Ferramentas de melhorias: oferecem as informações e sugestões necessárias sobre alternativas de materiais, processos de fabricação, fontes de energias, distribuição e cenários de descarte (HISCHIER & HILTY, 2002; CZAPLICKA, 2003).

Dentre as eco-ferramentas apresentadas, a Avaliação do Ciclo de Vida destaca-se como um eficiente suporte a decisão para monitoramento do mercado e da indústria, bem como para avaliação do impacto ambiental desde a extração da matéria-prima até a disposição final do produto. Isso torna a ACV uma das eco-ferramentas mais populares (PENNINGTON et. al., 2004; VOGTLANDER et. al., 2004).

2.3.2 Avaliação do Ciclo de Vida de um produto

A Avaliação do Ciclo de Vida – ACV (*Life-Cycle Assessment - LCA*) de um produto contempla desde o seu nascimento, ou seja, a extração de matérias-primas até a sua destinação final, tanto na forma de co-produtos como de rejeitos, e as conseqüências ao meio ambiente que sua vida acarreta (PENNINGTON et. al., 2004; TSILINGIRIDIS et. al., 2004).

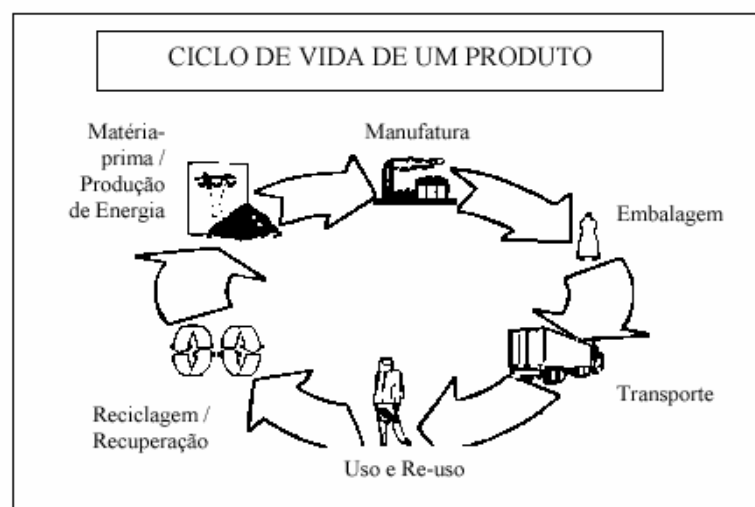
Os primeiros estudos envolvendo a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de produtos tiveram início durante a primeira crise do petróleo, do final da década de 60

ao início da década de 80. Esta crise gerou uma busca constante por formas alternativas de energia e despertou a necessidade de melhor utilização dos recursos naturais. Neste período diversos estudos foram realizados para avaliar os processos produtivos e conscientizar as pessoas sobre o consumo das fontes energéticas esgotáveis. Além da questão energética, alguns estudos consideraram aspectos ligados à questão ambiental, incluindo emissões sólidas, gasosas ou líquidas (CHEHEBE, 1998).

A crescente preocupação com os impactos ambientais gerados pela utilização de bens e serviços pela sociedade tem estimulado o desenvolvimento de novos métodos e ferramentas que auxiliem no controle e/ou redução desses impactos. Uma destas ferramentas é a análise do ciclo de vida (TSILINGIRIDIS et. al., 2004).

Todo produto, independente do material utilizado para sua fabricação: madeira, vidro, plástico, metal ou outro, provoca impacto no meio ambiente, seja em função do seu processo produtivo, das matérias-primas que consome, ou devido ao seu uso ou disposição final (CHEHEBE, 1998; KHAN et. al., 2004; PENNINGTON et. al., 2004).

A Figura 9 apresenta a Avaliação do Ciclo de Vida, para avaliação dos aspectos ambientais potenciais associados a um produto, compreendendo etapas que vão desde a matéria-prima elementar retirada da natureza (berço) até à disposição final do produto (túmulo).



(Fonte: CHEHEBE, 1998)

Figura 9: Avaliação do Ciclo de Vida de um produto

A Análise do Ciclo de Vida dos produtos pode ser utilizada com diversos objetivos. As informações obtidas na ACV e os resultados de suas análises e interpretações podem ser úteis para tomadas de decisão, na seleção de indicadores ambientais relevantes para avaliação da *performance* de projetos ou reprojatos de produtos ou processos e/ou planejamento estratégico (CHEHEBE, 1997).

Esta técnica estimula as empresas a considerarem as questões ambientais relacionadas aos processos produtivos, facilita o entendimento dos aspectos ambientais ligados aos sistemas de produção, serve de subsídio às estratégias de marketing (declarações ambientais e rotulagem), identifica oportunidades de aperfeiçoamento dos aspectos ambientais considerando as fases de um sistema de produção, além de ser útil na avaliação do desempenho ambiental (indicadores associados aos produtos) (KHAN et. al., 2004; TSILINGIRIDIS et. al., 2004).

Este método pode desempenhar um papel importante dentro das empresas ao fornecer um relatório das entradas e saídas de cada produto. Os resultados desse relatório podem ser utilizados de várias formas: para estabelecer uma ampla base de informações sobre as necessidades totais de recursos, consumo de energia e emissões; para identificar pontos dentro do ciclo de vida como um todo, ou dentro de um determinado processo, onde seja possível considerável redução nas necessidades de recursos e emissões; para comparar as entradas e saídas do sistema associadas a produtos alternativos, processos ou atividades; para auxiliar no desenvolvimento de novos produtos, processos ou atividades visando a uma redução das necessidades de recursos e/ou emissões (CASHMORE, 2004).

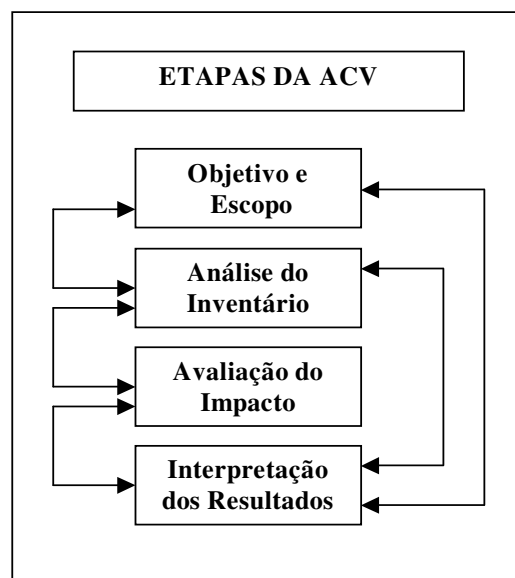
A Avaliação do Ciclo de Vida possui diversas aplicações. As principais são: controle ambiental do produto na indústria; identificação de pontos fracos do produto; desenvolvimento de novos produtos; comparação de produtos ou processos alternativos; suporte ao controle ambiental do governo; aprovação de produtos com rotulagem ecológica; otimização dos cenários de energia, transporte e tratamento de lixo; marketing (CHEHEBE, 1997; KHAN et. al., 2004).

Encontra-se na literatura diversos estudos de Avaliação do Ciclo de Vida, em diferentes áreas de aplicação: química, nuclear, alimentos, agricultura,

metalúrgica, e outras. Grande parte destes estudos aborda a metodologia ACV em produtos, com limitadas aplicações a processos. Alguns estudos comparativos da viabilidade ambiental de distintos processos são: Castanheira et. al. (2005) aplicaram a técnica da ACV para avaliar dois processos distintos de produção de queijo: processo tradicional e processo alternativo, contribuindo para o estudo de processos produtivos alternativos no âmbito da produção queijeira. Tsilingiridis et. al. (2004) compararam os impactos ambientais gerados por um sistema doméstico solar de aquecimento de água contra um sistema que utiliza energia convencional, através da Avaliação do Ciclo de Vida.

2.3.2.1 Etapas da ACV

As etapas integrantes da Avaliação do Ciclo de Vida de um produto são: definição do objetivo e escopo do trabalho; análise do inventário; avaliação do impacto; e interpretação dos resultados, como pode ser observado na Figura 10 (CHEHEBE, 1998).



(Fonte: Adaptado de CHEHEBE, 1998)

Figura 10: Etapas da Avaliação do Ciclo de Vida

1. Definição do Objetivo e do Escopo: nesta primeira etapa, define-se o objetivo principal do estudo, com abrangência e limitações, a metodologia utilizada, os procedimentos que deverão ser adotados, e a utilização que se pretende dar aos resultados do estudo (KHAN et. al., 2004). Salienta-se que tais definições podem ser alteradas, pois a ACV é um método iterativo e o planejamento inicial deve ser revisado, quando necessário (TAN & KHOO, 2004).

A definição do contorno do sistema a ser estudado deve ser realizado com extremo cuidado, considerando os recursos financeiros e o tempo disponível. Por este motivo, regras devem ser adotadas para determinar os limites do sistema, sem descuidar da confiabilidade do modelo (CHEHEBE, 1998; TAN & KHOO, 2004).

Na definição do objetivo e do escopo do estudo deve-se considerar: o sistema a ser analisado; a definição dos limites do sistema; a definição das unidades de processo; o estabelecimento da função e da unidade funcional do sistema; os procedimentos de alocação; os requisitos dos dados; as hipóteses e limitações; a definição da realização ou não da Avaliação de Impacto e a metodologia a ser aplicada; a definição da realização ou não da etapa de Interpretação e a metodologia a ser adotada; o tipo e o formato do relatório a ser utilizado no estudo; e a determinação dos critérios para a revisão crítica, caso seja necessário (CHEHEBE, 1998).

2. Análise do Inventário do Ciclo de Vida: esta é a etapa de coleta e seleção de todas as variáveis envolvidas durante todo o ciclo de vida do produto (chamada análise horizontal) ou do processo ou atividade (chamada análise vertical). A condução do inventário envolve a checagem dos procedimentos estabelecidos na primeira etapa (KHAN et. al., 2004).

Na prática, o Inventário é difícil e trabalhoso de ser realizado por vários motivos, desde a ausência de dados conhecidos e a necessidade de estimá-los à qualidade do dado disponível. Desta forma, antes de iniciar um programa exaustivo de coleta de dados, com grande consumo de tempo e recursos, recomenda-se realizar uma investigação preliminar, incluindo uma análise grosseira de dados (TAN & KHOO, 2004).

De um modo geral, na etapa do Inventário deve-se organizar as seguintes atividades: preparação para a coleta de dados; coleta de dados; refinamento dos limites do sistema; determinação dos procedimentos de cálculo; e procedimentos de alocação (CHEHEBE, 1998).

A Norma ISO 14.040 estabelece que, para constituir o inventário, deve-se construir um esquema geral, contendo: a apresentação do sistema do produto a ser estudado e dos limites considerados no ciclo de vida, contendo unidades de processo e entradas e saídas do sistema; a base para a comparação entre sistemas, no caso de estudos comparativos; os procedimentos de cálculo e coleta de dados; os elementos necessários para uma correta interpretação dos resultados da análise do inventário (CHEHEBE, 1998).

3. Avaliação de Impacto: esta etapa representa uma análise qualitativa e quantitativa dos resultados obtidos na análise do inventário. O processo de avaliação do impacto é composto, principalmente, pelos seguintes elementos: seleção e definição dos focos de preocupação ambiental; classificação dos dados do inventário e agrupamento em categorias relacionadas a efeitos e impactos ambientais conhecidos; caracterização dos dados atribuindo-os a uma determinada categoria, de forma que os resultados possam ser expressos como indicadores numéricos; atribuição de pesos aos resultados da avaliação do impacto (CHEHEBE, 1998; KHAN et. al., 2004).

A Avaliação do Impacto pode ser dispensada em algumas aplicações do ACV, mas pode ser útil na avaliação de oportunidades de otimização do sistema; nos casos em que exista a necessidade de uma caracterização ou do sistema como um todo ou de determinada etapa do ciclo de vida, para auxiliar na tomada de decisões; para o fornecimento de dados complementares e informações ambientais (CHEHEBE, 1998; LUNDIN et. al., 2004).

A seleção e a definição das categorias ambientais que serão consideradas na etapa de avaliação de impacto devem levar em consideração os seguintes requisitos: as categorias devem ser definidas com base no conhecimento científico e de forma clara; demonstrar os focos do problema ambiental; e permitir que os dados a serem coletados sejam identificados facilmente (TAN & KHOO, 2004).

São exemplos de categorias de problemas ambientais: exaustão de recursos não renováveis; aquecimento global; redução da camada de ozônio; exposição a substâncias tóxicas (toxicidade humana); ecotoxicidade (danos a flora e a fauna); emissão de óxidos de nitrogênio e enxofre para a atmosfera (acidificação); oxidantes fotoquímicos; eutroficação (adição de nutrientes à água ou ao solo aumentando a produção de biomassa e afetando outros organismos) (LUNDIN et. al., 2004).

4. Interpretação dos Resultados: consiste na análise dos resultados obtidos nas etapas de inventário e avaliação do impacto, em forma de conclusão do estudo. Esses resultados podem ser utilizados para auxiliar na tomada de decisões (KHAN et. al., 2004).

Nesta etapa pode haver a necessidade de uma recomendação de uso de outras técnicas de avaliação ambiental, como avaliação de riscos ambientais e avaliação de impactos ambientais, complementando a ACV (LUNDIN et. al., 2004).

A interpretação do estudo de Avaliação do Ciclo de Vida consiste na identificação das questões ambientais mais significativas encontradas nos resultados da análise do inventário; na checagem da consistência da avaliação; e nas conclusões, recomendações e relatórios sobre as questões ambientais (TAN & KHOO, 2004; LUNDIN et. al., 2004).

Após as quatro etapas da ACV, pode-se elaborar um relatório final e uma revisão crítica. O relatório final deve ser construído de forma a possibilitar a utilização dos resultados e sua interpretação de acordo com os objetivos do estudo (CHEHEBE, 1998).

Mesmo nos melhores estudos persistirão significativas fontes de incerteza. Por esta razão sugere-se que os estudos de Avaliação do Ciclo de Vida incluam um grupo de revisão crítica independente para garantir a credibilidade dos resultados. O grupo de revisão deve estar integrado ao projeto durante toda a realização do mesmo (CHEHEBE, 1998; KHAN et. al., 2004).

2.3.2.2 Benefícios e limitações da ACV

Os principais benefícios da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida relacionam-se ao estímulo às decisões que reduzam os impactos ambientais, permitindo a identificação de oportunidades para o aprimoramento ambiental do processo em estudo e, evitando decisões que apenas transfiram os danos ambientais de uma etapa para outra do ciclo de vida do produto. Os fatores que conferem boa qualidade às informações obtidas e ao seu tratamento são, entre outras, a credibilidade, a relevância, a viabilidade econômica, a fácil compreensão e a transparência (CASHMORE, 2004; TSILINGIRIDIS et. al., 2004).

Estudos que utilizam a técnica da ACV geralmente exigem grande consumo de tempo, recursos humanos e financeiros. Dependendo do grau de profundidade do estudo, a coleta de dados pode ainda ser dificultada pela não

disponibilidade de dados importantes, podendo afetar o resultado final do estudo e, conseqüentemente, a sua confiabilidade (LUNDIN et. al., 2004).

Portanto, torna-se necessário um estudo detalhado da relação custo-benefício para se atingir a qualidade desejada, levando-se em consideração o tipo de dado que deverá ser pesquisado, o custo, o tempo para sua coleta e os recursos disponíveis para a condução do projeto (CASHMORE, 2004; TAN & KHOO, 2004).

Cabe salientar que a ACV não é uma ferramenta capaz de medir com precisão qual produto ou processo é o mais eficiente, tanto em relação ao custo quanto a outros fatores, já que não mede impactos ambientais reais, e sim impactos potenciais. Por outro lado, as informações resultantes da ACV podem e devem ser utilizadas como mais um componente de um amplo processo decisório que leve em consideração outros fatores (CASHMORE, 2004; LUNDIN et. al., 2004).

Chehebe (1998) ressalta que a ACV mostra-se ineficiente ou falha para comparar empresas, produtos ou materiais concorrentes. As especificidades de cada região, da produção de cada produto, sua matriz energética ou sua logística acabam inviabilizando uma comparação confiável.

Para afirmar que um material é melhor do que o outro se faz necessário trazer a público todos os dados que embasam essa afirmação, implicando na divulgação dos processos e das tecnologias usadas por cada empresa. Isso torna-se inviável, uma vez que esse é um ponto vital para as empresas (CHEHEBE, 1998).

A ACV é uma ferramenta técnica ainda em evolução. Análises comparativas de produtos ou processos devem ser realizadas conforme os procedimentos da norma NBR ISO 14040. Deve-se ainda observar que, em virtude da complexidade da ferramenta, podem existir ainda incertezas na qualidade dos dados e nos seus resultados, além de haver um certo grau de subjetividade decorrente da necessidade de julgamento e discernimento por parte dos especialistas encarregados da condução do estudo, como também limitações de conhecimento científico disponível (TAN & KHOO, 2004).

2.4 ANÁLISE MULTICRITERIAL

Atualmente, o processo de tomada de decisão é muito mais complexo que no passado, tornando necessária a consideração de um grande número de variáveis nas análises, bem como a inclusão de fatores de risco e incerteza, com a finalidade de garantir a confiabilidade dos resultados e conclusões (VINCKE, 1992).

A utilização de uma metodologia multicriterial fornece ao tomador de decisão algumas ferramentas de forma a capacitá-lo a avançar na solução de problemas de decisão, onde diversos pontos de vista e critérios devem ser considerados (VINCKE, 1992).

Esta utilização justifica-se por considerar simultaneamente critérios quantitativos e qualitativos em sua análise, ao mesmo tempo em que incorpora a experiência e a preferência dos tomadores de decisão, uma vez que muitas características são qualitativas ou subjetivas, o que torna difícil sua mensuração (SAATY, 1980).

As questões ambientais geralmente são vistas como efeitos externos, que se expressam principalmente através de custos sociais provocados pela atividade econômica e não ressarcidos como, por exemplo, a poluição. Estes efeitos não são captados pelo mercado, porque não estão sujeitos a preços ou compensações financeiras. Logo, uma tradicional análise custo/benefício dificilmente consideraria adequadamente estes importantes aspectos de um projeto (POMERANZ, 1992).

Ozernoy (1994) sugere que, numa comparação de metodologias, o tomador de decisão deveria preocupar-se com a adaptabilidade, a facilidade de uso, as validações e os resultados proporcionados.

Para estudos de impactos ambientais verifica-se a utilização do método de Processo Hierárquico Analítico (*Analytic Hierarchy Process*) ou AHP. Estudos ambientais são processos multidimensionais complexos e, por isso, sugere a necessidade

de inovações e novas metodologias a fim de aperfeiçoar tais estudos (RAMANATHAN, 2001).

Ramanathan (2001) afirma que outros métodos multicriteriais também podem ser aplicados para este estudo, porém apresenta algumas vantagens do AHP: geralmente mais flexível, permite ação intuitiva dos tomadores de decisão, permite fácil verificação da consistência dos julgamentos. Desta forma, o AHP pode ser uma ferramenta útil em uma análise sistemática de opiniões pertencente à diversos campos de estudos de avaliação ambiental.

A grande vantagem do método AHP é permitir que o usuário atribua pesos relativos para múltiplos critérios, ou múltiplas alternativas para um dado critério, de forma intuitiva, ao mesmo tempo em que realiza uma comparação par a par entre os mesmos. Isso permite que, mesmo quando duas variáveis são incomparáveis, com os conhecimentos e a experiência das pessoas pode-se reconhecer qual dos critérios é mais importante (SAATY, 1980).

Após a definição dos critérios, constrói-se a Matriz de Prioridades de Critérios, utilizando como base a regra sugerida por Saaty (1980): preenche-se a matriz comparando-se os critérios que aparecem na coluna da esquerda em relação às características que aparecem na linha superior. Se os critérios C1 e C2 forem iguais em importância, colocar 1; se C1 for um pouco mais importante do que C2, colocar 3; se C1 for muito mais importante do que C2, colocar 5; se C1 for claramente ou muito fortemente mais importante do que C2, colocar 7; se C1 for absolutamente mais importante do que C2, colocar 9.

Um elemento é igualmente importante quando comparado com ele próprio, isto é, onde a linha 1 encontra a coluna 1, na posição (1,1), coloca-se 1. Logo, a diagonal principal de uma matriz deve consistir em 1. Escreve-se então os valores recíprocos apropriados 1, 1/3, ..., ou 1/9 (SAATY, 1980).

A Figura 11 apresenta um modelo de Matriz de Prioridades.

| Crêterios | C1 | C2 | C3 | C4 |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| C1 | 1 | | | |
| C2 | | 1 | | |
| C3 | | | 1 | |
| C4 | | | | 1 |
| Soma | | | | |

Figura 11: Modelo de Matriz de Prioridades de Critérios

A altera o dos pesos de cada critério   realizada dividindo-se os elementos de cada coluna pela soma daquela coluna (normaliza o), e posteriormente somando-se os elementos em cada linha resultante e dividindo-se esta soma pelo número de elementos na linha (SAATY, 1998).

Para verificar a consistência da Matriz de Prioridades dos Critérios, multiplica-se a mesma pelo vetor peso e obt m-se a Matriz de Consistência (SAATY, 1998), com os elementos w_1 , w_2 , w_3 e w_4 .

O Resultado da Consistência (RC) (Equa o 1)   determinado através da divisão do  ndice de consistência (CI) pelo  ndice RI (Equa o 2).

$$RC = \frac{CI}{RI} \quad (\text{Equa o 1})$$

$$CI = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (\text{Equa o 2})$$

Onde RI   um  ndice tabelado em fun o de n (número de critérios), conforme Tabela 1.

O $\lambda_{m\acute{a}x}$   um  ndice que relaciona os critérios da Matriz de Consistência e os pesos dos critérios. A Equa o 3 apresenta o cálculo do $\lambda_{m\acute{a}x}$.

Tabela 1: Valores de índice RI

| n | RI |
|----------|-----------|
| 2 | 0 |
| 3 | 0,58 |
| 4 | 0,90 |
| 5 | 1,12 |
| 6 | 1,24 |
| 7 | 1,32 |
| 8 | 1,41 |
| 9 | 1,45 |
| 10 | 1,51 |

(Fonte: Saaty, 1998)

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{1}{n} \times \sum \frac{\text{critérioMatrizConsistência}}{\text{pesodocritério}} \quad (\text{Equação 3})$$

Se RC for inferior a 0,1 o grau de consistência é satisfatório, mas se RC for superior a 0,1 podem existir sérios problemas de inconsistência e o método AHP não deverá ser utilizado (SAATY, 1998).

Após a verificação do grau de consistência, determinam-se as Matrizes de Prioridades para os Processos, da mesma forma que determinou-se a Matriz de Prioridades de Critérios.

Após a construção das Matrizes de Priorização para os Processos, determinam-se os escores dos processos para cada critério, dividindo-se os elementos de cada coluna pela soma daquela coluna (normalização). Com os escores para cada critério, determina-se o escore total dos processos, multiplicando o escore médio dos critérios pelo peso de cada critério.

2.5 A SITUAÇÃO DO SETOR SIDERÚRGICO

A produção siderúrgica brasileira iniciou-se em 1925, quando a usina de Sabará, da Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira, tornou-se a primeira usina integrada da América do Sul. Até o início dos anos 90, as siderúrgicas estatais eram responsáveis por 70% da produção nacional de aço. Entre 1988 e 1993, todas as empresas estatais foram privatizadas, ensejando movimentos de reestruturação patrimonial que levaram ao aumento da concentração do setor (GONÇALVES & LANZA, 2000).

A privatização constituiu-se no principal fator de reestruturação da indústria siderúrgica brasileira. A privatização do setor iniciou-se em 1988, com as operações de menor porte e ocorreu com maior ênfase no período de 1991 a 1993, no âmbito do Plano Nacional de Desestatização (PND), quando foram desestatizadas as demais siderúrgicas controladas pelo Estado: Usiminas, Aços Finos Piratini, Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST), Cosipa, Acesita e Açominas (GONÇALVES & LANZA, 2000).

Em decorrência dos processos de reestruturação societária, configurou-se uma estrutura setorial com cerca de 96% da oferta interna de produtos siderúrgicos controlados por cinco grupos, divididos em três principais segmentos do mercado: Usiminas e CSN, em aços planos comuns; Gerdau e Belgo-Mineira, em longos comuns; e Acesita e Gerdau, em aços especiais, caracterizando um ambiente pouco competitivo (CAVALCANTI, 2004).

A indústria siderúrgica fornece bens intermediários para a maior parte dos setores econômicos. Embora venha experimentando forte concorrência de materiais alternativos, como plásticos e alumínio, o aço ainda é a principal fonte de material básico da indústria, especialmente aquela ligada a bens de consumo duráveis e a bens de capital (GONÇALVES & LANZA, 2000).

O Instituto Brasileiro de Siderurgia (IBS), entidade que congrega as empresas do setor siderúrgico realiza estudos e pesquisas relacionados à produção; investimentos; equipamentos e tecnologia; matérias-primas; energia e tendências de

mercado e divulga regularmente estatísticas setoriais (CARNEIRO & ARBACHE, 2003).

O International Iron and Steel Institute (IISI) é a fonte de informação mais ampla da siderurgia mundial em termos de estatísticas de produção e comércio, realizando e divulgando estudos referentes a vários aspectos desta indústria, tais como: meio ambiente; desenvolvimento de mercado; matérias-primas; tecnologia e segurança no trabalho (CARNEIRO & ARBACHE, 2003).

As principais entidades patronais da indústria siderúrgica mundial são: Instituto Brasileiro de Siderurgia - IBS (www.ibs.org.br); Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais- ABM (www.abmbrasil.com.br); Instituto Nacional dos Distribuidores de Aço – INDA (www.inda.com.br); Instituto Latino-americano del Fierro y el Acero - ILAFA (www.ilafa.org); International Iron and Steel Institute - IISI (www.worldsteel.org); European Confederation of Iron and Steel Industries - EUROFER (www.eurofer.org); American Iron and Steel Institute - AISI (www.steel.org); Iron and Steel Society (www.iss.org); Iron and Steel Statistics Bureau (www.issb.co.uk); Southeast Asia Iron and Steel Institute - SEAISI (www.seasi.org).

A siderurgia nacional tem grande importância econômica, principalmente no centro-sul do País. O setor siderúrgico constitui-se num dos principais setores industriais, gerando riquezas e milhares de empregos. No entanto, esta atividade industrial gera enormes quantidades de resíduos. Esses resíduos, geralmente são ricos em óxidos de ferro e compostos por partículas finas. O manuseio de pós-finos gera muita névoa e perda de material, dificultando sua reutilização diretamente no processo (OLIVEIRA & HOLANDA, 2004).

Nos últimos trinta anos, a produção global de aço bruto cresceu a uma taxa anual de 1,1%, caracterizando a siderurgia como uma atividade madura (OLIVEIRA & HOLANDA, 2004). A partir de 1995, a fabricação mundial de aços planos ultrapassou a produção de aços longos (menos nobres), confirmando a importância dos produtos de maior valor agregado no setor (CARNEIRO & ARBACHE, 2003).

Os principais fabricantes de aço vêm discutindo alternativas para a redução da capacidade produtiva ociosa existente no mundo. Estima-se que para um parque instalado com capacidade de 1,063 bilhão de toneladas exista de 60 a 216 milhões de toneladas em ociosidade. Espera-se que cerca de 100 milhões de toneladas sejam eliminadas até o ano 2010, principalmente em decorrência dos processos de fusão e aquisições (OLIVEIRA & HOLANDA, 2004).

Desde a Segunda Revolução Industrial, a siderurgia produz o material mais utilizado na indústria de transformação, em uma série bastante variada de produtos. Existe, no entanto, um esforço significativo de melhoria do desempenho do aço quanto a uma série de características demandadas em algumas de suas aplicações, como resistência a impactos e corrosão, facilidade e aderência de pintura, estampabilidade e soldabilidade (GONÇALVES & LANZA, 2000).

2.5.1 Matérias-primas utilizadas

As matérias-primas mais utilizadas no setor siderúrgico, considerando-se a atividade específica de produção de aço no Brasil, são a sucata de aço, o ferro-gusa ou ferro-esponja, o minério de ferro e as ligas metálicas. A importância relativa desses insumos varia de acordo com a rota tecnológica adotada em cada usina. Nas usinas integradas clássicas prevalecem o carvão mineral e o minério de ferro. Nas semi-integradas, o destaque cabe à sucata (ANDRADE et. al., 2000).

As usinas integradas promovem a transformação do minério de ferro em produtos siderúrgicos semi-acabados ou acabados (laminados), requerendo a utilização de coqueiras, alto-fornos, aciaria e laminadores (ANDRADE et. al., 2000).

O processo produtivo integrado compreende três fases distintas. A primeira denomina-se redução e tem como objetivo a transformação do minério de ferro (óxido de ferro) em ferro-gusa. A segunda fase (refino) processa a produção do aço propriamente dito e realiza sua solidificação, com finalidade de ajustar a quantidade de carbono, entre outros elementos de liga, na proporção necessária para a obtenção das propriedades desejadas e a adequação dos níveis aceitáveis de elementos residuais

(enxofre, nitrogênio e oxigênio). A laminação, que transforma produtos semi-acabados (placas, blocos e tarugos) em produtos acabados, constitui a terceira fase do processo produtivo integrado. O processo produtivo das usinas semi-integradas consiste apenas nas fases de refino e de laminação e utiliza a sucata ferrosa como insumo básico (GONÇALVES & LANZA, 2000).

A sucata pode ser classificada em sucata de obsolescência e sucata industrial. A primeira refere-se desde latas de refrigerante até carrocerias de automóveis e produtos de linha branca, representando aproximadamente 65% das compras de sucata para a produção do aço. Da sucata industrial participam aparas e estampagem de aço, representando, em média, 35% das compras de sucata para esta finalidade, sendo também gerada por perdas no processo produtivo dentro da empresa (JOHANSSON & HOLAPPA, 2004).

O ferro-gusa é utilizado devido à relativa escassez de sucata de aço de boa qualidade no mercado brasileiro, ao contrário do que ocorre nos Estados Unidos onde os produtores utilizam somente sucata de aço (JOHANSSON & HOLAPPA, 2004).

O minério de ferro é o principal componente do ferro-gusa e encontra-se amplamente disponível no Brasil. As ferro-ligas constituem ligas de ferro com outros metais que são empregadas na fabricação de aços especiais ou ligados. Especificações de produto diferentes requerem o uso de ferro-ligas diferenciadas. Outras matérias-primas representativas são: eletrodos, refratários, oxigênio, calcário, nitrogênio e outros gases industriais (JOHANSSON & HOLAPPA, 2004).

Os eletrodos constituem insumo importante para a operação das aciarias elétricas. Os refratários são materiais que funcionam como isolantes térmicos e são utilizados no revestimento de equipamentos críticos da siderurgia, como os alto-fornos, com a finalidade de minimizar o desgaste que as condições extremas de temperatura do processo normalmente impõem aos mesmos (GONÇALVES & LANZA, 2000).

2.5.2 Aspectos ambientais e legais

A consciência da importância da preservação do meio ambiente faz parte da cultura da maioria das empresas siderúrgicas. Os processos de fabricação são constantemente revisados e aprimorados para assegurar a preservação e reduzir os impactos ambientais, como, por exemplo, a contaminação atmosférica e a degradação do solo (FERREIRA, 1997).

Segundo Feitosa et. al. (2004), as principais exigências para o licenciamento das empresas deste setor são: análise ou caracterização dos efluentes; estação de tratamento de efluentes; existência de tanque séptico; certificado de esgotamento sanitário; comprovante de destinação de resíduos sólidos; manifesto de resíduos; inventário de resíduos; e plano de controle ambiental (PCA).

A Figura 12 apresenta a definição e a importância de cada uma das exigências mencionadas anteriormente, bem como os procedimentos para o cumprimento das mesmas.

Dependendo do tipo de conduta lesiva ao meio ambiente, responsabilidades e penalidades são impostas às empresas. As responsabilidades podem ser de três tipos: objetiva, subjetiva ou solidária (FEITOSA et. al., 2004).

Considera-se objetiva a responsabilidade que independe de culpa. Em caso de acidente, a empresa será obrigada a reparar os danos causados ao meio ambiente. Este tipo de responsabilidade aplica-se, preferencialmente, à esfera cível (FEITOSA et. al., 2004).

A responsabilidade subjetiva depende da existência de culpa ou dolo. A culpa é caracterizada por imperícia, imprudência ou negligência. E o dolo caracteriza-se pela intenção. Em caso de acidente, a apuração de culpa será necessária para a responsabilização na esfera criminal (FEITOSA et. al., 2004).

| Exigências | Definição | Importância | Procedimentos |
|--|---|---|--|
| Análise ou caracterização de efluentes | Análise laboratorial que determina as condições características dos efluentes gerados nos processos de produção da empresa. | Determina se há necessidade ou não de um tratamento mais eficaz do efluente a fim de adequá-lo aos padrões máximos estabelecidos para o lançamento de efluentes líquidos. | Contratação de um laboratório de análises físico-químicas devidamente credenciado pelo órgão público fiscalizador. |
| Estação de tratamento de efluentes (E.T.E) | Sistema composto por dispositivos que irão tratar os efluentes gerados. | Trata os efluentes industriais, adequando-os aos padrões estabelecidos pela legislação ambiental. | Contratação de empresa especializada, após constatada a necessidade de implantação da E.T.E |
| Tanque séptico | Conhecido como fossa séptica, consiste num compartimento que trata os esgotos de origem sanitária. | Evita a sobrecarga do sistema de esgotamento sanitário, tratando adequadamente o esgoto antes de ser lançado na rede pública. | Existem empresas especializadas, mas os tanques podem ser comprados em lojas de materiais de construção, dimensionado para o número de pessoas servidas. |
| Certificado de esgotamento sanitário | Documento atestando o destino do esgoto sanitário gerado na empresa. | A exigência da fossa está condicionada ao destino final desse esgoto. Se ele seguir para uma estação de tratamento de esgotos domésticos, dependendo do volume gerado, não haverá a necessidade da implantação de fossa séptica na empresa. | Efetuar o requerimento desse certificado no órgão ambiental do município. |
| Comprovante de destinação de resíduos sólidos | Nota fiscal da empresa responsável pelo recolhimento dos resíduos sólidos gerados. | Ao gerar um resíduo, a empresa será diretamente responsável por sua destinação final. | A empresa contratada para recolher o resíduo deve estar devidamente autorizada a exercer a atividade. |

| | | | |
|--|---|--|---|
| Manifesto de resíduos | Sistema de controle de resíduos que, mediante uso de formulário próprio, permite conhecer e controlar a forma de destinação dada pelo gerador e receptor de resíduos. | Controla os resíduos gerados, desde a sua origem até a destinação final, evitando seu encaminhamento para locais inadequados. | Obtenção dos formulários de vinculação ao Manifesto. |
| Inventário de resíduos | Sistema de controle e cadastramento de resíduos industriais perigosos. | Objetiva conhecer os tipos e os destinos dados aos resíduos industriais, para a elaboração em nível nacional de um plano de gerenciamento de resíduos industriais perigosos. | O órgão ambiental orientará quanto aos procedimentos necessários. |
| Plano de controle ambiental - PCA | Documento que contém as ações na operação do projeto, com o objetivo de minimizar o impacto ambiental da atividade. O PCA contém os projetos executivos de minimização dos impactos ambientais avaliados. | Após a identificação dos impactos causados pela atividade, o PCA definirá as medidas de controle e minimização visando solucionar os problemas detectados. | Segue-se a orientação do órgão ambiental responsável. |

(Fonte: Adaptado de FEITOSA et. al., 2004)

Figura 12: Exigências para o licenciamento ambiental

A responsabilidade solidária caracteriza-se pela necessidade de apuração da responsabilidade de todos os agentes envolvidos. Este é o tipo de responsabilidade no qual o poluidor e seus sucessores, bem como qualquer um que tenha contribuído para o dano, serão considerados responsáveis perante a lei. Nesse caso, os responsáveis responderão, individual ou conjuntamente pelo pagamento do total da indenização devida (FEITOSA et. al., 2004).

2.5.3 Estudos realizados

A siderurgia tem sido objeto de vários estudos de pesquisadores brasileiros e estrangeiros. No Brasil, há uma abrangente produção acadêmica descrevendo as mudanças sofridas pelo setor nas últimas décadas. Nestes estudos, encontra-se, dentre outros aspectos, os impactos das alterações no marco institucional sobre a estrutura industrial e o comportamento estratégico das empresas (ANDRADE et. al., 2000; CARNEIRO & ARBACHE, 2003; OLIVEIRA & HOLANDA, 2004).

Trabalhos acadêmicos de pesquisadores de instituições como: a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Engenharia de Materiais); a Universidade Federal de Ouro Preto (Departamentos de Engenharia Metalúrgica e de Engenharia de Produção) e a Universidade Federal de São Carlos (Departamento de Engenharia de Produção) apresentam importantes contribuições ao setor, especialmente no que se refere ao desenvolvimento tecnológico da siderurgia brasileira e à análise das mudanças institucionais ocorridas (FERREIRA, 1989; FERREIRA, 1997).

No cenário internacional, destacam-se estudos de pesquisadores da Carnegie Mellon University, da University of Pittsburg e demais instituições do Steel Industry Center (centro de pesquisa do Sloan Foundation Industry Center). As pesquisas destas instituições concentram-se na competitividade das indústrias norte-americanas do setor (FERREIRA, 1989; FERREIRA, 1997).

3 MÉTODO PROPOSTO

3.1 DESCRIÇÃO DO MÉTODO

Elaborou-se o método proposto neste capítulo a partir dos assuntos abordados na revisão bibliográfica. Seu principal objetivo é suprir a falta de avaliação de impactos ambientais na escolha entre processos industriais.

Para a elaboração deste método utilizou-se como base a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), adaptando e complementando os procedimentos quando necessário. Para auxiliar na tomada de decisão entre os processos, utilizou-se o método de análise multicriterial AHP (Processo Hierárquico Analítico).

3.1.1 Fases do método proposto

O método proposto é constituído nas seguintes fases:

1. Formação de um grupo de apoio na empresa;
2. Elaboração, distribuição e preenchimento de questionário, permitindo avaliar a situação atual da empresa com relação aos aspectos ambientais e aos processos avaliados;
3. Estabelecimento do ciclo de vida para o principal produto;
4. Realização da análise multicriterial;
5. Escolha entre os processos avaliados.

Para melhor compreensão do método proposto, a Figura 13 apresenta os objetivos de cada fase do mesmo.

| Fases da metodologia | Objetivo |
|-------------------------------|---|
| Formação do grupo de apoio | Auxiliar na realização do trabalho. |
| Preenchimento do questionário | Definir a situação ambiental da empresa. |
| Ciclo de vida do produto | Identificar o ciclo de vida do principal produto envolvido. |
| Análise multicriterial | Auxiliar na tomada de decisão. |
| Escolha entre os processos | Optar pelo processo que melhor atenda ao conjunto de critérios pré-estabelecidos. |

(Fonte: do autor)

Figura 13: Objetivos das fases do método proposto

A seguir apresenta-se em maior detalhe cada uma das fases do método.

3.1.1.1 Formação do grupo de apoio

A formação de um grupo de apoio dentro da empresa torna-se necessário para a realização do trabalho. Esse grupo deve ser formado por pessoas ligadas aos setores operacional e de meio ambiente.

3.1.1.2 Questionário para avaliação ambiental

Com a finalidade de obter as informações necessárias, elabora-se um questionário sobre a empresa, os produtos, os processos e a política ambiental. O questionário deve ser preenchido pelo grupo de apoio e os resultados permitirão verificar o panorama atual da empresa e dos processos, bem como realizar a análise multicriterial.

O Anexo A apresenta o Questionário A utilizado nesta fase.

3.1.1.3 Ciclo de vida do produto

A partir das informações obtidas junto ao grupo de apoio e na revisão bibliográfica determina-se o ciclo de vida para o principal produto, considerando-se os processos em estudo.

Durante esta fase, procura-se seguir os procedimentos tradicionais de Avaliação do Ciclo de Vida, conforme a norma NBR ISO 14040, adaptando e complementando, quando necessário, para uma maior precisão dos resultados.

As etapas para a determinação da ACV, segundo CHEHEBE (1998), são: definição do objetivo e do escopo; análise do inventário; avaliação dos impactos; e interpretação.

1. Definição do Objetivo e do Escopo: O escopo refere-se à aplicabilidade geográfica, técnica e histórica do estudo, com informações como: de onde vem os dados, como atualizar o estudo, como a informação será manipulada e onde os resultados serão aplicados.

A definição do objetivo deve incluir os propósitos pretendidos e conter todos os aspectos considerados relevantes para direcionar as ações que deverão ser realizadas. Com o desenvolvimento do estudo, pode-se reformular a definição do objetivo.

Além disso, nesse estágio deve-se especificar o nível de detalhe requerido, com relação ao espaço e ao tempo.

Na definição do objetivo e do escopo do estudo devem ser considerados: o sistema a ser estudado; a definição dos limites do sistema; a definição das unidades de processo; o estabelecimento da função e da unidade funcional do sistema; os procedimentos de alocação; os requisitos dos dados; as hipóteses e limitações; decisão sobre realização ou não da avaliação de impacto e da fase de interpretação; o tipo e o formato do

relatório necessário ao estudo; e a definição dos critérios para a revisão crítica, se necessária.

Segundo Chehebe (1998) um sistema relacionado ao produto é uma coleção de operações que representam uma ou mais funções definidas, e deve ser descrito com suficientes detalhes e clareza de forma a permitir que outro consultor possa reproduzir suas análises de inventário. A descrição física do sistema é uma descrição quantitativa dos fluxos elementares e de produtos que atravessam os limites do sistema (tanto para as entradas quanto para as saídas), das unidades de processo e dos fluxos intermediários de produtos dentro do próprio sistema.

Os sistemas relacionados devem ser subdivididos em um conjunto de unidades de processo tais que cada unidade de processo inclua as atividades de uma operação simples ou grupo de operações. Divide-se um sistema relacionado ao produto em unidades de processo para facilitar a identificação das entradas e saídas desse sistema.

Os limites de uma unidade de processo são determinados pelo grau de detalhamento necessário na modelagem para satisfazer os objetivos do estudo. Os limites do sistema determinam quais unidades de processo devem ser incluídas dentro da ACV. Torna-se muito útil descrever o sistema através de fluxogramas de processo que mostrem as unidades de processo e suas inter-relações.

2. Análise do inventário: Deve-se organizar esta fase de acordo com as atividades de preparação para a coleta de dados; coleta de dados; refinamento dos limites do sistema; determinação dos procedimentos de cálculo; e procedimentos de alocação.

A definição de quais dados serão necessários para a realização de uma ACV depende do objetivo e do escopo estabelecidos. Os critérios que podem ser utilizados para decidir quais variáveis devem ser utilizadas no

estudo baseiam-se na relevância da variável em termos do: balanço de massa, balanço energético, ou importância para o meio ambiente.

Para cada unidade de processo, fluxos de referência apropriados devem ser determinados. Baseado no fluxograma e nos limites definidos para o sistema, as unidades de processo são interconectadas de forma a permitir o cálculo completo de todo o sistema.

Após a execução das atividades anteriores, deve-se revisar todo o sistema relacionado ao produto analisando e reavaliando os limites e os critérios de corte estipulados na fase de definição do objetivo e do escopo do estudo.

Os sistemas de produto incluem múltiplos processos. Alguns desses podem gerar mais do que um produto. Tais produtos são chamados co-produtos. O co-produto que é utilizado na etapa seguinte da investigação em curso é chamado de produto principal. O co-produto que é utilizado para outros propósitos é denominado subproduto. Um estudo deve identificar, portanto, a rede de operações e processos ligados dentro do sistema e alocar as cargas ambientais relevantes de forma adequada.

Uma das formas mais conhecidas de alocação é o método por substituição, que se baseia no conhecimento de que alguns subprodutos são utilizados em substituição a outros produtos. O efeito ambiental a ser alocado ao produto principal pode ser calculado como o efeito ambiental acumulado no processo principal menos o efeito ambiental evitado pelo subproduto. Se o produto substituído tiver um efeito ambiental relativamente grande, o efeito ambiental alocado ao produto principal pode tornar-se negativo.

3. Avaliação de Impacto: O resultado da etapa anterior é uma tabela de inventário para o sistema estudado, ou seja, uma lista de dados com

intervenções ambientais que podem ser de difícil interpretação, especialmente quando se comparam produtos.

Algumas avaliações podem ser realizadas com base somente nos resultados obtidos na fase de inventário. No entanto, quando grandes diferenças nos vários parâmetros de impacto forem detectadas ou quando da necessidade de se relacionar as intervenções ambientais aos problemas ambientais, a metodologia de avaliação de impacto pode ser de grande utilidade.

O texto ISO CD 14042, aprovado em Kioto, no Japão, em Maio de 1997, propõe que o processo de avaliação de impacto seja composto, no mínimo, dos seguintes elementos: seleção e definição das categorias (estabelecidas com base no conhecimento científico); classificação (agrupados nas categorias selecionadas, por exemplo: aquecimento global, acidificação, exaustão dos recursos naturais e saúde humana); caracterização (resultados expressos na forma de um indicador numérico).

Algumas técnicas podem atribuir pesos aos resultados da avaliação de impacto. A avaliação do impacto pode não ser necessária em todas as aplicações da ACV, mas pode ser útil: na avaliação de oportunidades de melhoramentos do sistema; nos casos de necessidade de boa caracterização; na indicação da forma como outras técnicas ambientais podem fornecer dados complementares e informações para os tomadores de decisão.

4. Interpretação: As hipóteses estabelecidas durante a ACV de um produto afetam seu resultado final. Portanto, necessita-se realizar, ao término do trabalho, antes do relatório final, uma avaliação dos resultados alcançados e dos critérios adotados durante sua realização.

O objetivo desta etapa é, portanto, analisar os resultados, tirar conclusões, explicar as limitações e fornecer recomendações para um estudo de inventário do ciclo de vida ou uma análise completa do ciclo. Deve-se, nesse estágio, consultar os objetivos e o escopo definidos inicialmente para o estudo.

A interpretação dos resultados deve também evidenciar as limitações que podem tornar os objetivos iniciais inalcançáveis ou impraticáveis. A checagem da integridade objetiva assegurar que as entradas, saídas e impactos potenciais previamente identificados representam, de forma adequada, as informações mais importantes para o estudo, provenientes do inventário e da avaliação de impacto, de acordo com os objetivos e escopo definidos.

O relatório final deve ser elaborado de forma a possibilitar a utilização dos resultados e sua interpretação de acordo com os objetivos do estudo.

Após a construção do ciclo de vida para o principal produto, considerando os processos que estão sendo analisados, pode-se avaliar os resultados obtidos e compará-los quanto aos aspectos ambientais.

3.1.1.4 Análise Multicriterial

Para complementar a análise ambiental, deve-se definir, juntamente com o grupo de apoio, os critérios que serão considerados na comparação. Como trata-se de um complemento, os demais critérios devem, ter outras prioridades além da questão ambiental.

O método de análise multicriterial que melhor se aplica para decisões ambientais é o Processo Hierárquico Analítico (AHP). A descrição deste método está apresentada no Capítulo 2.

3.1.1.5 Escolha entre os processos avaliados

Realizada a Avaliação do Ciclo de Vida para o produto escolhido, aplicada para os processos de decapagem química e mecânica, podem-se concluir a respeito dos impactos ambientais gerados por ambos os processos e, indicar o que deve ser adotado pela empresa. Para auxiliar na escolha do processo, pode-se incluir uma análise multicriterial, considerando outros fatores importantes nesta escolha.

3.2 A EMPRESA E SEUS PRODUTOS

A empresa na qual o método proposto será aplicado é uma indústria siderúrgica, que está entre os maiores conglomerados industriais brasileiros, com presença marcante na América Latina, no Canadá e nos Estados Unidos.

Esta empresa possui um faturamento anual superior a 5 bilhões de reais e capacidade de produção atual de 14,4 milhões de toneladas de aço por ano, possuindo mais de 70 filiais espalhadas na América Latina.

Os produtos são fabricados através de um processo industrial, que consiste basicamente em reciclar a sucata metálica em aço, através de transformações que ocorrem nos fornos elétrico, panela e lingotamento contínuo. Após este processo, o aço encontra-se em forma de tarugo e terá sua área reduzida mediante um processo de laminação, adquirindo a forma de produto final, como vergalhões, barras, cantoneiras ou fio máquina. Este último pode ser utilizado em etapas seguintes para a fabricação de arames galvanizados, arames farpados, pregos e outros.

Os principais produtos da empresa são:

- Pregos: anelados, ardox, com cabeça, cabeça dupla, galvanizado, para taco, quadrado, sem cabeça e telheiro;
- Produtos agropecuários: seis tipos de arame farpado, arame galvanizado, arame ovalado, arame para cerca elétrica, arame para

culturas aéreas, cercafix, cordoalhas de aço, emendador e tensionador, grampos, mourão de aço e postes para cerca elétrica;

- Produtos para construção civil: alambrados, arame recozido, barras de transferência, colunas POP, estribos, telas para tubo, telas soldadas nervuradas, treliças e vergalhões (CA-60 e GG-50);
- Produtos para a indústria: onze tipos de arame, 6 tipos de barra, cantoneira, cordoalha galvanizada, eletrodo para solda, sete tipos de perfis e tribar;
- Aços especiais: autopeças, ferramentas, inoxidáveis, amarras, barras de moinho, forjarias, maquinários e implementos agrícolas/rodoviário, moleiros, parafuseiros, rolamenteiros e trefiladores;
- Produtos para exportação: tarugos, vergalhões, fio-máquina, barras, cantoneiras, perfis, arames (galvanizados, farpados, recozidos), pregos e aços especiais.

3.3 O PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO AÇO

O ferro é a principal matéria-prima do aço, encontrado na natureza sob a forma de minério. O minério de ferro é rico em oxigênio, o qual deve ser retirado junto com outras impurezas. Esse processo denomina-se Redução (ANDRADE, 2000).

Para sofrer redução, o minério de ferro na forma de rocha precisa ser fundido em um alto-forno, estrutura que aquece a rocha, já triturada, a mais de 1200 °C, produzindo o ferro na forma líquida chamado ferro-guza (ANDRADE, 2000).

O combustível dos maiores altos-fornos é o coque, forma especial de carvão mineral, e em altos-fornos menores, utiliza-se carvão vegetal. Em ambos os casos o alto-forno produz ferro-guza líquido (ANDRADE, 2000).

Alternativamente, existe o processo de redução direta, que ocorre em um reator. A uma temperatura de 950 °C, as pelotas de minério de ferro reagem com o monóxido de carbono e hidrogênio, transformando-se em pelotas sólidas e maleáveis de ferro-esponja. O combustível dessa reação é o gás natural, liberando água e dióxido de carbono (FERREIRA, 1989).

A cal é adicionada ao processo em ambos os casos para captar impurezas contidas no minério, como silício, alumínio, cálcio e outras substâncias, para formar uma escória. A escória é utilizada por outras indústrias, como por exemplo, na pavimentação de rodovias (FERREIRA, 1989).

Após o processo de redução, o alto-forno libera ferro-guza em uma panela de transporte. O misturador é uma estrutura intermediária cuja função é a de estocar e carregar o ferro-guza até o conversor, mantendo-o quente e em constante movimento (ENGHAG, 2002).

O conversor é o equipamento responsável pelo refino do metal, tratamento que transformará o ferro em aço. Nessa etapa, o ferro-guza líquido, misturado a ligas metálicas específicas, recebe uma injeção de oxigênio, que funciona como catalisador na elaboração do aço (ENGHAG, 2002).

O reator de redução direta, que havia recebido as pelotas de minério, produz o ferro esponja, que consiste em pelotas reduzidas de ferro. O ferro-esponja é um material leve e maleável, pois em função de ter perdido o oxigênio que formava o minério, fica com o aspecto de uma esponja. O mesmo é transportado até o forno elétrico a arco de fusão, onde ocorre processo similar ao do conversor, com a fusão do ferro com ligas metálicas, obtendo o aço (ENGHAG, 2002).

Quando necessário, o aço passa por uma etapa chamada refino secundário realizada no forno panela, com o objetivo de ajustar sua composição química e temperatura (FERREIRA, 1989).

O aço refinado é transportado ao lingotamento contínuo, onde é vazado em um distribuidor que o leva a diversos veios. Em cada veio, o aço líquido passa por

moldes de resfriamento para solidificar-se na forma de tarugos, que são cortados em pedaços convenientes para a laminação (ANDRADE, 2000; FERREIRA, 1989).

O forno de reaquecimento eleva a temperatura do tarugo até uma faixa de 1000 a 1200 °C, para permitir o processo da laminação. As gaiolas de desbaste proporcionam as primeiras deformações no tarugo, preparando-o para iniciar os passos nos cilindros intermediários (FERREIRA, 1989).

As gaiolas do intermediário consistem nos passes que visam preparar o tarugo laminado para a etapa final. As gaiolas do acabador têm a função de fornecer a forma de produto final e sua respectiva tolerância dimensional. O produto final pode ser rolos ou barras (RUDY, 2002).

No caso dos rolos, o bloco recebe o tarugo laminado diretamente das gaiolas do intermediário, produzindo o laminado em rolos (fio-máquina). O fio-máquina consiste no aço que se apresenta na forma de bobinas, as quais serão usadas no processo de trefilação (fabricação de arames) (RUDY, 2002).

Após passar pelas gaiolas do acabador, as barras laminadas são conduzidas até o leito de resfriamento. O produto é cortado em comprimento comercial e embalado, estando pronto para a entrega ao cliente (RUDY, 2002).

As bobinas de fio-máquina para trefilação são previamente decapadas, isto é, é retirada a camada de óxido da superfície. A trefilação é a transformação mecânica feita a frio com o objetivo de reduzir o diâmetro do produto de acordo com a especificação do cliente. O produto é acumulado na forma de bobina e será então matéria-prima na produção de produtos comerciais (ENGHAG, 2002).

Para aumentar a ductilidade (deformabilidade) do aço que durante a trefilação a frio endureceu e aumentou sua resistência, é preciso reaquecê-lo. O recozimento é o processo de aquecimento e resfriamento controlado do produto (ENGHAG, 2002).

A galvanização consiste na deposição de uma camada superficial de zinco a quente. O arame galvanizado é produzido na forma de bobinas que se destinam a outros produtos comerciais galvanizados, como arames farpados e arames ovalados (RUDY, 2002).

A decapagem realizada previamente à trefilação pode ser de dois tipos: química ou mecânica (RUDY, 2002).

A Figura 14 apresenta um fluxograma simplificado da produção do aço, desde o recebimento da matéria-prima até a fabricação dos produtos derivados.

3.3.1 Processo de decapagem

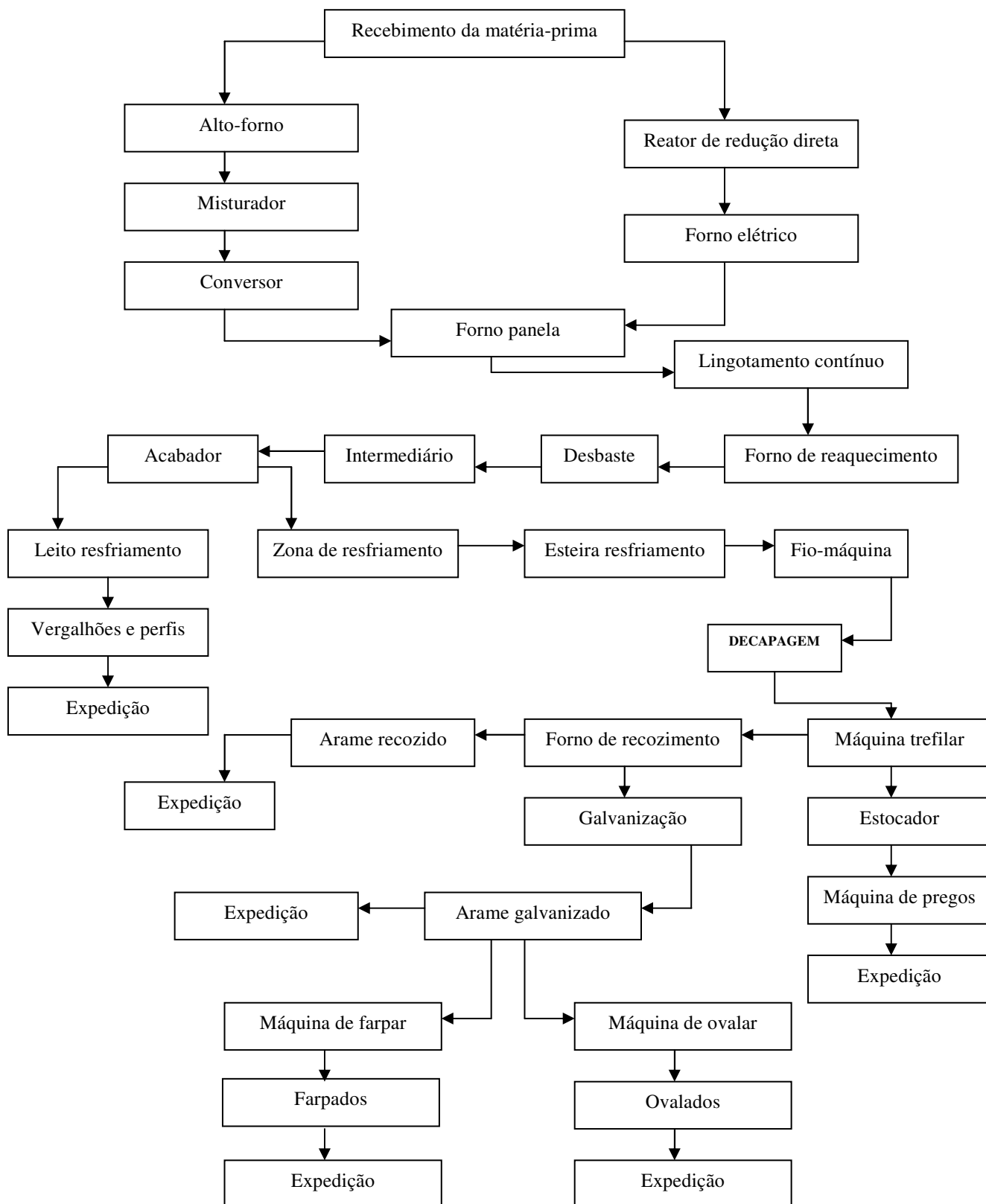
Decapagem é todo o processo destinado à remoção de óxidos e impurezas inorgânicas, incluindo-se nestas categorias: a carepa de recozimento e de laminação, as camadas de ferrugem, a casca de fundição e as incrustações superficiais (RUDY, 2002).

Os processos de decapagem podem ser químicos, mecânicos, térmicos ou eletrolíticos (RUDY, 2002).

A seguir, serão descritos os processos de decapagem química e mecânica, utilizados na aplicação do método proposto.

3.3.1.1 Decapagem química

Os processos químicos de decapagem empregam sempre reagentes químicos com composições específicas para cada tipo ou família de produto que se deseja processar. O objetivo desta decapagem é produzir superfícies puras, requisito essencial para a aplicação posterior de revestimentos (ENGHAG, 2003).



(Fonte: do autor)

Figura 14: Fluxograma da produção de aço

Materiais metálicos normalmente são atacados por ácidos e bases fortes. Neste caso, apenas a camada superficial não metálica deve ser removida, evitando o ataque do metal de base, mantendo assim as propriedades do metal inalteradas pelo efeito da difusão do hidrogênio atômico (ENGHAG, 2003).

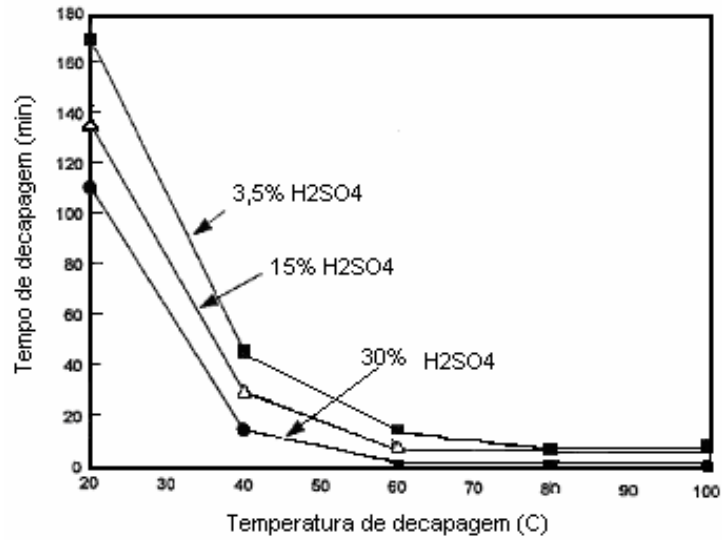
Os resíduos da decapagem favorecem a corrosão, portanto uma lavagem final cuidadosa é indispensável, seguida de uma neutralização alcalina fraca (RUDY, 2002).

Na decapagem química utiliza-se aditivos e ácidos. Os aditivos têm como finalidade a inibição do ataque excessivo das substâncias ácidas. O ácido sulfúrico é o mais utilizado, pois além de ter o menor custo, é vendido no mercado a concentrações mais elevadas (96% ácido sulfúrico contra 33% do ácido clorídrico), requerendo menor espaço de armazenamento. No entanto, o ácido clorídrico permite tempos menores de decapagem quando aquecido (ENGHAG, 2003).

O processo de retirada do óxido ocorre, pois o gás hidrogênio, oriundo do ácido, penetra nas trincas existentes na carepa, formando bolhas deste gás que “estouram”, expelindo a carepa. A eficiência e a velocidade da decapagem química dependerá do quanto as espiras do material estarão em contato com o ácido, ou seja, elas devem estar sendo expostas de maneira homogênea ao mesmo e não coladas umas outras dentro da bobina (ENGHAG, 2003).

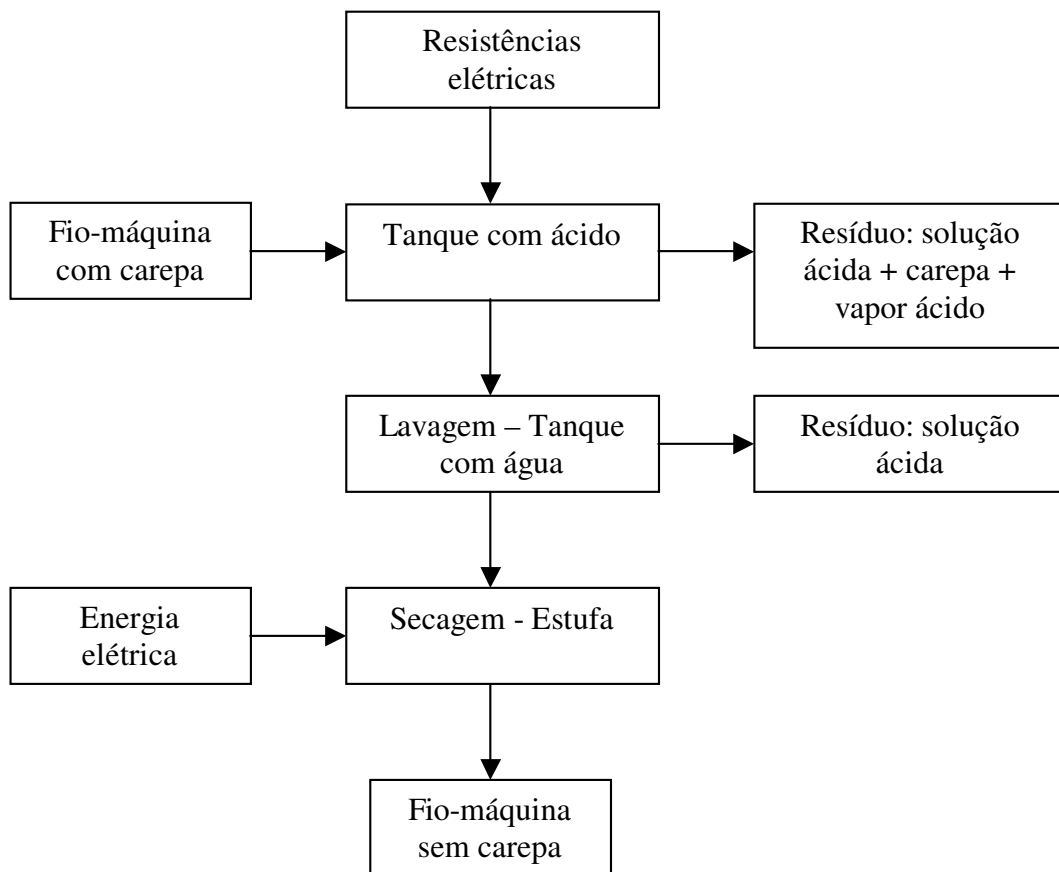
A temperatura, conforme se pode verificar na Figura 15, é a variável mais importante para uma decapagem mais rápida e eficaz. O tempo de decapagem depende ainda do tipo de carepa contida no material e da espessura da mesma (ENGHAG, 2003).

A Figura 16 apresenta um fluxograma simplificado do processo de decapagem química.



(Fonte: ENGHAG, 2003)

Figura 15: Influência da temperatura e da concentração de ácido no tempo de decapagem.



(Fonte: do autor)

Figura 16: Fluxograma do processo de decapagem química.

3.3.1.2 Decapagem mecânica

Em indústrias de pequeno porte, ou para peças avulsas, os métodos de remoção de sujeira ou camadas de óxidos ainda são a escovação, o martelamento e a raspagem com ferramentas manuais (ENGHAG, 2003).

A raspagem é o tratamento obtido com escovas rotativas de arame de aço ou bronze, de crina de cavalo ou de substâncias sintéticas. O processo pode ser acompanhado do uso de abrasivo misturado com óleo. Para camadas mais espessas de óxidos faz-se necessário um tratamento químico preliminar (RUDY, 2002).

Metodologias alternativas são o esmerilhamento (para juntas soldadas e fundidas) e o uso de martelos pneumáticos (remoção de incrustações em caldeiras). O tamboreamento é um método de esmerilhamento onde as peças são colocadas dentro de um tambor fechado ou aberto que gira provocando a limpeza das peças pelo atrito com material abrasivo contido no mesmo. Para tambores abertos, o ângulo de inclinação pode ser controlado, alterando a altura de queda das peças (ENGHAG, 2003).

Dentre os componentes abrasivos utilizados destacam-se a areia, o pó de esmeril, peças de aço pequenas e médias, óxido de alumínio e, eventualmente, granito e quartzo. O processo pode ser feito a seco, com agentes alcalinos ou com ácido sulfúrico diluído (ENGHAG, 2003).

O processo de jato abrasivo remove a carepa, óxidos e cascas de fundição por efeito do impacto de areia ou esferas de aço sobre a peça. A areia é impulsionada por ar comprimido e o efeito de impacto também pode ser conseguido por centrifugação e jato turbulento (RUDY, 2002).

A limpeza úmida utiliza jato de água a alta pressão para a remoção das cascas de fundição, ferrugens e revestimentos. É um processo relativamente novo que é efetuado em câmaras especiais. Este processo é indicado para peças de médias e grandes dimensões, provenientes de fundição ou para acondicionamento de estruturas em operação, como tanques de armazenamento (RUDY, 2002).

A remoção da carepa por flexionamento consiste em romper as carepas frágeis através da imposição de deformação. O método exige uma decapagem posterior e tem sido empregado somente em casos especiais. A carepa também pode ser desprendida mediante o enrolamento das tiras ou arames, em forma de hélice. Alguns estudos têm pesquisado a ruptura da carepa através do alongamento do arame, mas sem resultados conclusivos (ENGHAG, 2003).

Na Figura 17 observa-se um exemplo de decapador mecânico. Trata-se de um decapador por flexão, onde o material passa através de roletes dispostos angularmente entre si, de maneira que todo seu perímetro seja flexionado e sua carepa expulsa da superfície. Após esta etapa, o material passará por escovas que tem a função de remover a carepa fina que possa ter restado.



(Fonte: visita à empresa)

Figura 17: Decapador mecânico

A Figura 18 apresenta o fluxograma simplificado do processo de decapagem mecânica.

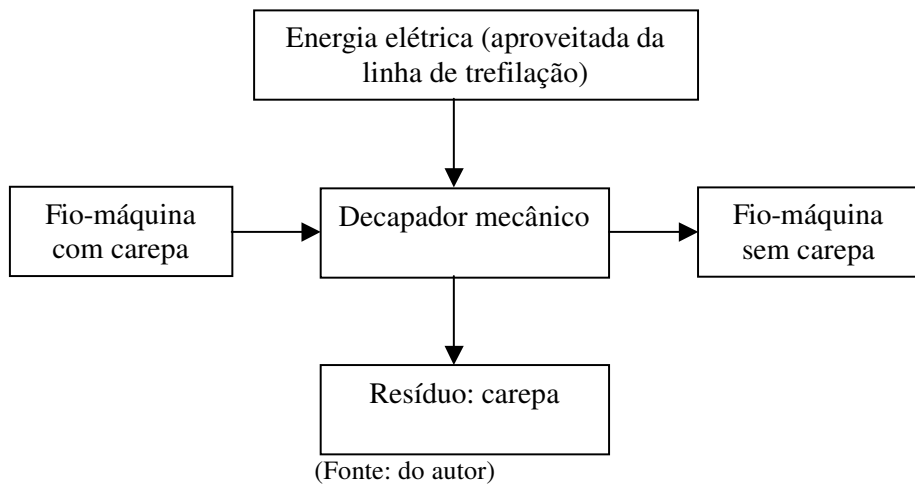


Figura 18: Fluxograma do processo de decapagem mecânica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo apresentam-se a aplicação da abordagem proposta, os resultados obtidos em cada etapa da metodologia e a discussão dos mesmos.

4.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO

4.1.1 Formação do grupo de apoio

A aplicação do método desenvolvido iniciou-se com a definição do grupo de apoio dentro da empresa. Através de uma reunião com os responsáveis pelos setores de produção e meio ambiente, dois assessores técnicos foram escolhidos para compor o grupo: um que trabalha no processo e outro na área de qualidade.

4.1.2 Questionário para avaliação ambiental

Após a definição do grupo de apoio, a equipe formada respondeu ao Questionário A, apresentado no Anexo A, que contempla os assuntos que serão utilizados para classificar a empresa quanto aos aspectos ambientais e conhecer os procedimentos utilizados atualmente. O Anexo B apresenta o Questionário A preenchido pelo grupo de apoio. O Questionário A foi elaborado pela autora desta dissertação.

A partir das respostas obtidas no Questionário A, pode-se classificar a empresa como grande porte, com mais de uma filial e pertencente ao setor siderúrgico. A empresa realiza as atividades de processamento de matérias-primas, manufatura de produtos intermediários e finais, bem como a reutilização de produtos, na forma de sucata. Nenhum dos produtos fabricados pela empresa é perigoso ao meio ambiente, todos são recicláveis. Os processos são realizados de forma contínua e em linha.

Os resultados obtidos no Questionário A permitiram verificar que a empresa possui Sistema de Gestão Ambiental implantado desde 2001 e, atualmente está em processo final de certificação ISO 14001. Além disso, a empresa realiza treinamento ambiental para os funcionários e possui grupos capacitados para orientação e conscientização ambiental. A empresa realiza monitoramento das perdas: no caso da decapagem mecânica, a carepa gerada no processo é coletada e reutilizada como matéria-prima. Os resíduos líquidos provenientes da decapagem química são tratados na estação de tratamento de efluentes.

Nenhuma matéria-prima utilizada pela empresa passa por processos de tratamento antes de sua utilização, nem mesmo a água de processo. As matérias-primas utilizadas no processo de decapagem química são: fio-máquina, ácido clorídrico, cal e água; e a decapagem mecânica utiliza apenas o fio-máquina como matéria-prima. Toda a energia utilizada no processamento é proveniente de fonte termelétrica e nos processos de decapagem nenhuma outra fonte é utilizada.

Os resíduos gerados no processo de decapagem química são: solução ácida e carepa. O processo de decapagem mecânica gera somente a carepa como resíduo. A solução ácida é enviada para o tanque de efluente líquido e, após o processo de neutralização, é remetida para o Centro de Tratamento de Efluentes Líquidos, vinculado à CORSAN. A carepa limpa é vendida para a indústria de cimento e a carepa contaminada é enviada para aterro externo.

4.1.3 Ciclo de vida do produto

A determinação do ciclo de vida do produto iniciou-se com a definição do objetivo e do escopo, como foi proposto nas etapas da Avaliação do Ciclo de Vida, descritas no Capítulo 3. Os resultados foram utilizados para avaliar os impactos ambientais, como requisito na escolha entre processos. Nesta fase consideraram-se apenas as etapas principais do ciclo de vida do produto.

4.1.3.1 Definição do objetivo e do escopo

O objetivo da determinação do Ciclo de Vida é verificar os aspectos ambientais relevantes para direcionar ações. Consideraram-se como sistemas os processos de decapagem química e mecânica.

O escopo refere-se à aplicabilidade do estudo: este método foi aplicado numa empresa do setor siderúrgico, com a finalidade de escolher entre dois processos de decapagem, considerando como critério a avaliação ambiental.

Este estudo baseia-se nas informações obtidas no Questionário A e nas visitas realizadas à empresa (pesquisa de campo).

4.1.3.2 Análise do inventário do ciclo de vida

Os dados obtidos no questionário, mencionados no objetivo e no escopo, foram melhor definidos na etapa de análise do inventário.

Nesta etapa, definiram-se quais os dados que seriam necessários para a realização da Avaliação do Ciclo de Vida: resíduos gerados nas principais etapas do processo de decapagem.

4.1.3.3 Avaliação de impacto

Para a realização da avaliação de impacto observaram-se os elementos apresentados abaixo.

- Seleção e definição das categorias: os grandes focos de preocupação ambiental são os resíduos (solução ácida, vapor ácido e carepa). Para agrupar os resíduos, definiram-se as categorias de problemas ambientais. São elas: exaustão de recursos não renováveis, aquecimento global, redução da camada de ozônio, toxicidade

humana, ecotoxicidade, acidificação, oxidantes fotoquímicos, nutrição, exaustão dos recursos hídricos, redução de espaço.

- Classificação: de acordo com o efeito ou impacto ambiental, os resíduos foram agrupados nas categorias abaixo.

- **Acidificação**: a deposição ácida, resultante da emissão de soluções ou vapores ácidos na atmosfera, para o solo ou para a água pode conduzir a mudanças na acidez da água e do solo, com efeito tanto sobre a fauna quanto sobre a flora. Os resíduos solução e vapor ácidos fazem parte desta categoria.
- **Aquecimento global**: quantidades crescentes de gases e vapores ácidos na atmosfera terrestre estão conduzindo a uma absorção cada vez maior das radiações emitidas pela Terra e, conseqüentemente, a um aquecimento global.
- **Redução do espaço**: a ocupação de terrenos para a destinação de resíduos sólidos tem reduzido o espaço disponível que poderia estar sendo utilizado com outra finalidade. A utilização de aterros para a destinação de carepas contaminadas classifica este resíduo nesta categoria.

Após a realização destas etapas, traçou-se o ciclo de vida para o produto utilizado nos processos de decapagem: o fio-máquina.

A Figura 19 apresenta o ciclo de vida para o processo de decapagem química e a Figura 20 apresenta o ciclo de vida do produto para o processo de decapagem mecânica.

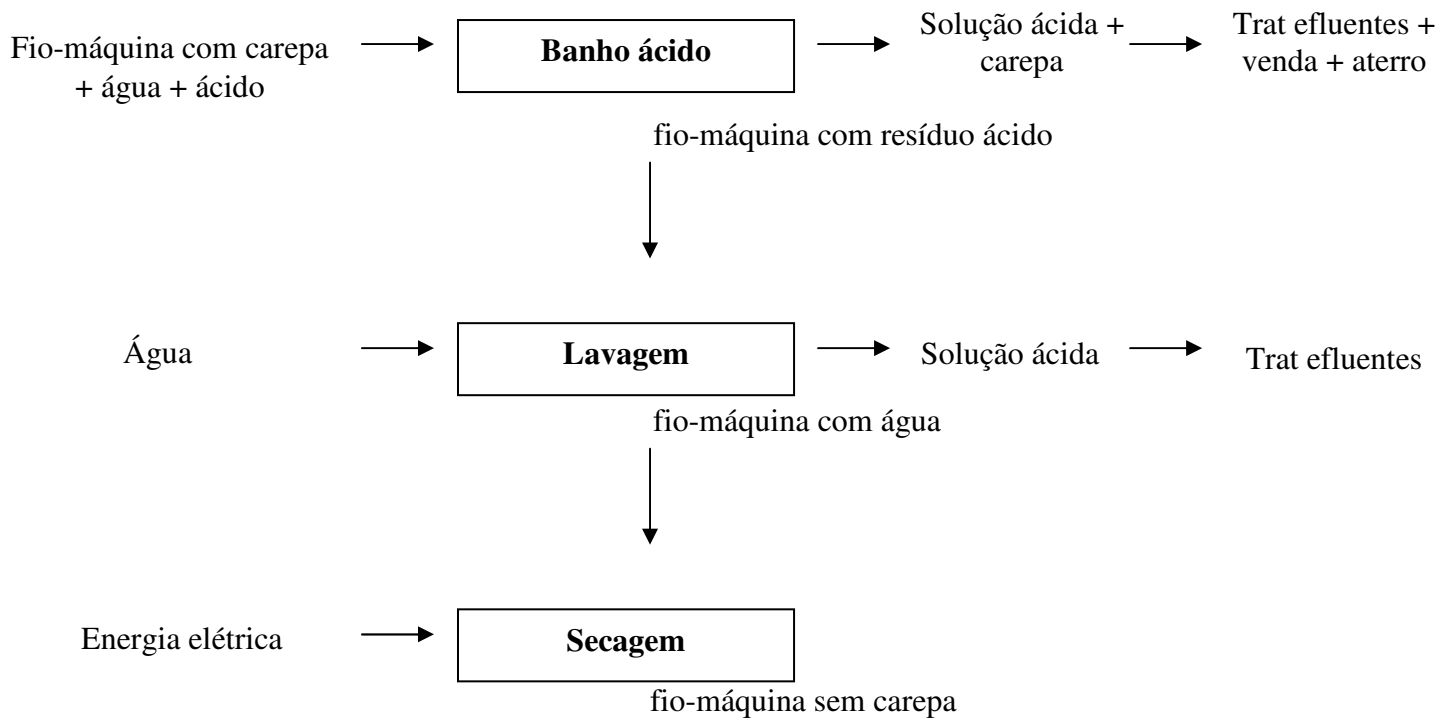


Figura 19: Ciclo de vida do produto – decapagem química
(Fonte: do autor - Pesquisa de campo)

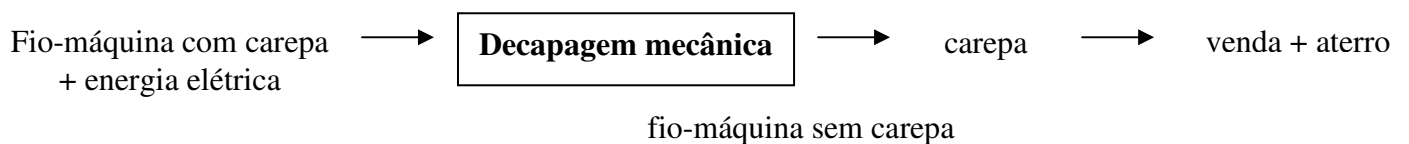


Figura 20: Ciclo de vida do produto – decapagem mecânica
(Fonte: do autor - Pesquisa de campo)

4.1.3.4 Interpretação dos resultados

Com base na construção do ciclo de vida para o principal produto, avaliaram-se os resultados obtidos e realizou-se uma comparação quanto aos aspectos ambientais.

Inicialmente, percebe-se que se trata de uma empresa de grande porte, com Sistema de Gestão Ambiental implantado desde 2001 e em processo final de certificação ISO 14.001. A empresa também realiza treinamento ambiental para todos os funcionários, o que demonstra grande empenho na conscientização ambiental dos mesmos e uma grande preocupação com relação aos aspectos ambientais.

Na avaliação dos resíduos identificaram-se três categorias de problemas ambientais: acidificação, causada por soluções e vapores ácidos; aquecimento global, devido aos vapores ácidos; e redução do espaço, pela utilização de aterro externo. Nenhum destes problemas é gerado em condições anormais de processamento.

Apenas as categorias acidificação e redução do espaço apresentam efeito crítico sobre o meio ambiente. O aquecimento global é monitorado pela empresa através de controle de emissões atmosféricas, tendo efeito desprezível sobre o meio ambiente. Com base nesta informação, constatou-se que os problemas ambientais apresentados provocam um aumento na quantidade de resíduos, exigindo um espaço adequado para tratamento local (efeito local) e um maior espaço disponível nos aterros (efeito regional).

Em nível global, o principal efeito causado ao meio ambiente é o uso inadequado do solo e da água.

De acordo com categorias ambientais e os efeitos gerados, pode-se classificar os problemas e os resíduos quanto a sua significância e criticidade. A Figura 21 apresenta um resumo da avaliação ambiental para os processos de decapagem química e mecânica.

Com base na avaliação apresentada na Figura 21, pode-se concluir que o processo de decapagem química é mais prejudicial ao meio ambiente, pois gera três vezes mais fatores de problemas e resíduos ambientais, em relação ao processo de decapagem mecânica, bem como duas vezes mais fatores de efeitos nocivos dos problemas e dos resíduos ambientais.

| Processo | Problema Ambiental | Efeito dos Problemas | Resíduos | Efeito dos Resíduos |
|---------------------------|--------------------|----------------------|----------------|---------------------|
| Decapagem Química | Acidificação | Significativo | Solução Ácida | Crítico |
| | | | Vapores Ácidos | Não crítico |
| | Aquecimento global | Desprezível | Vapores Ácidos | Não crítico |
| | Redução do Espaço | Significativo | Carepa | Crítico |
| Decapagem Mecânica | Redução do Espaço | Significativo | Carepa | Crítico |

Figura 21: Avaliação ambiental dos processos de decapagem

Desta forma, quanto aos aspectos ambientais, o processo de decapagem mecânica é o mais recomendado.

4.1.4 Análise multicriterial

Para complementar a análise ambiental, elaborou-se um comparativo entre os dois processos, como pode se observar na Figura 22. Definiram-se juntamente com o grupo de apoio os critérios que serão considerados na comparação: problema ambiental, custo, produtividade e qualidade final.

| Processo | Problema Ambiental | Custo | Produtividade | Qualidade Final |
|---------------------------|--------------------|-------|-----------------|-----------------|
| Decapagem Química | Acidificação | Alto | Ótimo resultado | Ótimo resultado |
| | Aquecimento global | | | |
| | Redução do Espaço | | | |
| Decapagem Mecânica | Redução do Espaço | Baixo | Bom resultado | Bom resultado |

Figura 22: Comparação entre os processos de decapagem considerando problemas ambientais, custo, produtividade e qualidade final do produto

Para a realização da comparação entre os processos de decapagem, considerando como critérios os problemas ambientais gerados, os custos de cada processo, a produtividade e a qualidade do produto final, foi utilizado o método de análise multicriterial AHP. Este método inicia com a comparação entre os critérios pré-estabelecidos.

Consideraram-se como problemas ambientais as categorias em que os resíduos gerados foram classificados neste mesmo capítulo: acidificação (devido aos vapores e à solução ácida), aquecimento global (devido aos vapores ácidos) e redução do espaço (decorrente da geração de carepa). O critério problema ambiental é do tipo menor-é-melhor.

O critério custo consiste na análise econômica dos processos de decapagem. O custo é um critério do tipo menor-é-melhor.

Para a análise da produtividade, considerou-se o número de peças produzidas por cada processo para um mesmo intervalo de tempo. A produtividade é um critério do tipo maior-é-melhor.

Considerou-se qualidade final do produto o aspecto visual do fio-máquina após o processo de decapagem. A qualidade do produto final é um critério do tipo maior-é-melhor.

Após a definição dos critérios, construiu-se a Matriz de Prioridades de Critérios, como pode ser observado na Figura 23, utilizando como base a regra sugerida por Saaty (1980), descrita no Capítulo 2.

Para a atribuição da pontuação considerou-se a importância de cada critério em relação aos outros, sendo atribuído peso 1 para critérios de mesma importância e pesos maiores que 1 e até 9 para critérios com maior importância em relação aos outros. Quanto maior a pontuação, maior a relação de importância.

| Crêterios | C1 | C2 | C3 | C4 |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| C1 = Problemas ambientais | 1 | 5 | 7 | 9 |
| C2 = Custo | 1/5 | 1 | 5 | 4 |
| C3 = Produtividade | 1/7 | 1/5 | 1 | 2 |
| C4 = Qualidade final | 1/9 | 1/4 | 1/2 | 1 |
| Soma | 1,45 | 6,45 | 13,33 | 17,00 |

Figura 23: Matriz de Prioridades de Critérios

A determina o dos pesos de cada critério foi realizada dividindo-se os elementos de cada coluna pela soma daquela coluna (normaliza o), e posteriormente somando-se os elementos em cada linha resultante e dividindo-se esta soma pelo número de elementos na linha (SAATY, 1998).

A Figura 24 apresenta o resultado deste cálculo.

| Normaliza o | C1 | C2 | C3 | C4 | Vetor Peso |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------|
| C1 = Problemas ambientais | 0,688 | 0,775 | 0,519 | 0,563 | 0,636 |
| C2 = Custo | 0,138 | 0,155 | 0,370 | 0,250 | 0,228 |
| C3 = Produtividade | 0,098 | 0,031 | 0,074 | 0,125 | 0,082 |
| C4 = Qualidade final | 0,076 | 0,039 | 0,037 | 0,063 | 0,054 |

Figura 24: Determina o de pesos dos critérios

Por exemplo, para a obten o dos valores (C1,C1) e (C1,C2) tem-se:

$$(C1, C1) = \frac{1}{1,45} = 0,688 \quad (\text{Equa o 4})$$

$$(C1, C2) = \frac{5}{6,45} = 0,775 \quad (\text{Equa o 5})$$

E, por exemplo, para a obten o do vetor peso tem-se:

$$\text{Vetor peso (C1)} = \frac{\text{somada cada linha}}{\text{número de elementos}} = \frac{0,688 + 0,775 + 0,519 + 0,563}{4} = 0,636$$

(Equa o 6)

$$\text{Vetor peso (C2)} = \frac{\text{somadecadalinha}}{\text{númerodeelementos}} = \frac{0,138 + 0,155 + 0,370 + 0,250}{4} = 0,228$$

(Equação 7)

Para verificar a consistência da Matriz de Prioridades, multiplicou-se a mesma pelo vetor peso e obteve-se a Matriz de Consistência (SAATY, 1998), com os elementos w1, w2, w3 e w4.

A Matriz de Consistência está apresentada na Figura 25.

Matriz de Prioridades x Vetor Peso = Matriz de Consistência

$$\begin{bmatrix} 1,000 & 5,000 & 7,000 & 9,000 \\ 0,200 & 1,000 & 5,000 & 4,000 \\ 0,143 & 0,200 & 1,000 & 2,000 \\ 0,111 & 0,250 & 0,500 & 1,000 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,636 \\ 0,228 \\ 0,082 \\ 0,054 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w1 = 2,835 \\ w2 = 0,981 \\ w3 = 0,326 \\ w4 = 0,222 \end{bmatrix}$$

Figura 25: Matriz de Consistência

Após a multiplicação das matrizes, obteve-se como resultado w1 = 2,835; w2 = 0,981; w3 = 0,326 e w4 = 0,222.

O Resultado da Consistência (RC) foi determinado através da divisão do índice de consistência (CI) pelo índice RI, conforme a Equação 8. Onde RI é um índice tabelado em função de n (número de critérios), conforme Tabela 1 – Capítulo 2 e CI é calculado conforme a Equação 9.

$$RC = \frac{CI}{RI} \quad (\text{Equação 8})$$

$$CI = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \quad (\text{Equação 9})$$

Para este estudo, RI = 0,9, pois utilizaram-se quatro critérios (n = 4).

O índice $\lambda_{\text{máx}}$ relaciona os critérios da Matriz de Consistência e os pesos dos critérios. O índice $\lambda_{\text{máx}}$ foi calculado conforme a equação 10.

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{1}{n} \times \sum \frac{\text{critérioMatrizConsistência}(w_i)}{\text{pesodocritério}} \quad (\text{Equação 10})$$

A seguir apresentam-se os cálculos realizados para os valores estipulados pela equipe de apoio.

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{1}{4} \times \left(\frac{2,835}{0,636} + \frac{0,981}{0,228} + \frac{0,326}{0,082} + \frac{0,222}{0,054} \right) = 4,217 \quad (\text{Equação 11})$$

$$CI = \frac{4,217 - 4}{4 - 1} = 0,072 \quad (\text{Equação 12})$$

$$RC = \frac{0,072}{0,9} = 0,080 \quad (\text{Equação 13})$$

Verificou-se que o grau de consistência é satisfatório ($RC = 0,080 < 0,1$) e o método AHP pode ser utilizado com confiabilidade.

Da mesma forma que se determinou a Matriz de Prioridades de Critérios (Figura 23), determinaram-se as Matrizes de Prioridades para os Processos, considerando separadamente a importância de cada processo em relação a cada critério.

A avaliação das prioridades considerou a importância dos processos em relação a cada critério. Processos com mesmo desempenho em relação a um determinado critério receberam pontuação igual a 1, processos com melhor desempenho

em relação a determinado critério receberam pontuação proporcional. Quanto mais alto for o escore para um determinado processo, melhor será o processo.

Para o critério Problemas Ambientais, do tipo menor-é-melhor, utilizaram-se as informações obtidas durante a elaboração do Ciclo de Vida do produto. Atribuiu-se a pontuação 3 para o processo de decapagem mecânica, pois possui melhor desempenho em comparação ao processo de decapagem química, ou seja, é menos agressivo ao meio ambiente.

O critério Custo, do tipo menor-é-melhor, considerou os dados do Simpósio Brasileiro sobre Tecnologia de Decapagem Mecânica em Trefilarias de Arame, ocorrido na cidade de São Paulo, em 1990. O custo médio por tonelada de arame produzido pelo processo de decapagem mecânica é aproximadamente 9 vezes menor do que o produzido pelo processo de decapagem química. Desta forma, o processo de decapagem mecânica recebeu pontuação 9 em relação ao processo de decapagem química.

Quanto ao critério produtividade, do tipo maior-é-melhor, os membros do grupo de apoio atribuíram pontuação 1,3 para o processo de decapagem química, pois este apresenta maior desempenho em relação ao processo de decapagem mecânica.

Para o critério de qualidade final, o grupo de apoio informou que as peças produzidas pelo processo de decapagem química apresentam melhor aspecto quando comparadas às peças produzidas pelo processo de decapagem mecânica. Sendo o critério de qualidade final do tipo maior-é-melhor, o processo de decapagem química recebeu a pontuação 1,5 em relação ao processo de decapagem mecânica.

A Figura 26 apresenta as Matrizes de Prioridades para os Processos.

| | | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Critérios do tipo menor-é-melhor | Critério: Problemas ambientais | P1 = Dec. Química | P2 = Dec. Mecânica |
| | P1 = Decapagem Química | 1,00 | 0,33 |
| | P2 = Decapagem Mecânica | 3,00 | 1,00 |
| | Soma | 4,00 | 1,33 |
| | | | |
| Critérios do tipo maior-é-melhor | Critério: Custo | P1 = Dec. Química | P2 = Dec. Mecânica |
| | P1 = Decapagem Química | 1,00 | 0,11 |
| | P2 = Decapagem Mecânica | 9,00 | 1,00 |
| | Soma | 10,00 | 1,11 |
| | | | |
| Critérios do tipo maior-é-melhor | Critério: Produtividade | P1 = Dec. Química | P2 = Dec. Mecânica |
| | P1 = Decapagem Química | 1,00 | 1,30 |
| | P2 = Decapagem Mecânica | 0,77 | 1,00 |
| | Soma | 1,77 | 2,30 |
| | | | |
| Critérios do tipo maior-é-melhor | Critério: Qualidade final | P1 = Dec. Química | P2 = Dec. Mecânica |
| | P1 = Decapagem Química | 1,00 | 1,50 |
| | P2 = Decapagem Mecânica | 0,67 | 1,00 |
| | Soma | 1,67 | 2,50 |
| | | | |

Figura 26: Matrizes de Prioridades para os Processos

Após a construção das Matrizes de Prioridades para os Processos, determinaram-se os escores dos critérios para cada processo, dividindo-se os elementos de cada coluna pela soma daquela coluna (normalização).

Por exemplo:

$$\text{Escore Problema Ambiental (P1, P1)} = \frac{\text{Prioridade Problema Ambiental (P1, P1)}}{\text{Soma Prioridade Problema Ambiental}} \quad (\text{Equação 14})$$

$$\text{Escore Problema Ambiental (P1, P1)} = \frac{1}{4} = 0,250 \quad (\text{Equação 15})$$

$$\text{Escore Problema Ambiental (P1, P2)} = \frac{0,33}{1,33} = 0,250 \quad (\text{Equação 16})$$

$$\text{Escore Problema Ambiental (P2, P1)} = \frac{3}{4} = 0,750 \quad (\text{Equação 17})$$

$$\text{Escore Problema Ambiental (P2, P2)} = \frac{1}{1,33} = 0,750 \quad (\text{Equação 18})$$

Para os demais critérios, realizaram-se os mesmos cálculos.

A Figura 27 apresenta os escores calculados para cada critério em relação a cada processo, onde P1 representa o processo de decapagem química e P2 representa o processo de decapagem mecânica.

| Escore - Problemas ambientais | P1 | P2 | Média dos Escores |
|--------------------------------------|-----------|-----------|--------------------------|
| P1 | 0,250 | 0,250 | 0,250 |
| P2 | 0,750 | 0,750 | 0,750 |
| Escore - Custo | | | |
| Escore - Custo | P1 | P2 | Média dos Escores |
| P1 | 0,100 | 0,100 | 0,100 |
| P2 | 0,900 | 0,900 | 0,900 |
| Escore - Produtividade | | | |
| Escore - Produtividade | P1 | P2 | Média dos Escores |
| P1 | 0,565 | 0,565 | 0,565 |
| P2 | 0,435 | 0,435 | 0,435 |
| Escore - Qualidade final | | | |
| Escore - Qualidade final | P1 | P2 | Média dos Escores |
| P1 | 0,600 | 0,600 | 0,600 |
| P2 | 0,400 | 0,400 | 0,400 |

Figura 27: Escores dos critérios em função dos processos de decapagem química (P1) e mecânica (P2)

Com os escores médios para cada critério, determina-se o escore total dos processos, multiplicando o escore médio obtido pelo peso de cada critério.

A Figura 28 apresenta os escores totais dos processos, em função dos escores médios e do peso de cada critério.

| | | Escore médio critério | Peso critério | Escore total processo |
|---------------------|---------------------------|-----------------------|---------------|-----------------------|
| P1=Dec. Química | C1 = Problemas ambientais | 0,250 | 0,636 | 0,2604 |
| | C2 = Custo | 0,100 | 0,228 | |
| | C3 = Produtividade | 0,565 | 0,082 | |
| | C4 = Qualidade final | 0,600 | 0,054 | |
| <hr/> | | | | |
| P2=Dec. Mecânica | C1 = Problemas ambientais | 0,750 | 0,636 | 0,7396 |
| | C2 = Custo | 0,900 | 0,228 | |
| | C3 = Produtividade | 0,435 | 0,082 | |
| | C4 = Qualidade final | 0,400 | 0,054 | |

Figura 28: Escores totais dos processos

Onde:

Escore total $P1 = (0,25 \times 0,636) + (0,1 \times 0,228) + (0,565 \times 0,082) + (0,6 \times 0,054) = 0,2604$
(Equação 19)

Escore total $P2 = (0,75 \times 0,636) + (0,9 \times 0,228) + (0,435 \times 0,082) + (0,4 \times 0,054) = 0,7396$
(Equação 20)

Verifica-se que o processo de decapagem química (P1) apresenta um escore de 26,04 % em quanto o processo de decapagem mecânica (P2) apresenta um escore de 73,96%.

Como o processo de decapagem mecânica (P2) apresentou maior escore pelos critérios considerados (problemas ambientais, custo, produtividade e qualidade final), este deve ser o processo escolhido, já que consideramos como melhor desempenho os escores mais elevados.

4.1.5 Escolha entre os processos avaliados

Após a Avaliação do Ciclo de Vida, pode-se verificar que o processo de decapagem química é mais prejudicial ao meio ambiente, gerando três vezes mais fatores de problemas e resíduos ambientais e duas vezes mais fatores de efeitos nocivos dos problemas e dos resíduos, em relação ao processo de decapagem mecânica. Desta

forma, quanto aos aspectos ambientais, o processo de decapagem mecânica é o mais recomendado.

Após a aplicação do método de Análise Multicriterial, verificou-se que o processo de decapagem que melhor atende ao conjunto de critérios pré-definidos é o processo de decapagem mecânica, com 73,96%.

Os resultados obtidos foram apresentados para a equipe de apoio da empresa, com a finalidade de propor ações de melhoria para os problemas encontrados e, com base nesses resultados, estabeleceram-se as metas a serem alcançadas com as ações de melhoria, conforme está apresentado na Figura 29.

Juntamente com o grupo de apoio, determinou-se que o processo de decapagem química poderá ser totalmente substituído pelo processo de decapagem mecânica. Pretende-se diminuir o uso do processo de decapagem química até sua total extinção, aumentando proporcionalmente a utilização do processo de decapagem mecânica e exigindo maior controle do resíduo gerado.

| Processo | Resíduo | Problema Ambiental | Ações de Melhoria | Meta | Prazo para Realização | Responsável |
|--------------------|---------------|--------------------|---|--|-----------------------|----------------|
| Decapagem Química | Solução Ácida | Acidificação | Reduzir a quantidade de resíduo produzido | 100% em relação à situação inicial, até a extinção deste processo. | 1 ano | Grupo de apoio |
| | Carepa | Redução do Espaço | Reduzir a quantidade de resíduo gerado nessa operação | 100% em relação à situação inicial, até a extinção deste processo. | 1 ano | Grupo de apoio |
| Decapagem Mecânica | Carepa | Redução do Espaço | Reduzir a quantidade de resíduo gerado nessa operação | 20% em relação à situação inicial | 6 meses | Grupo de apoio |

Figura 29: Metas e ações de melhoria para os problemas ambientais

O grupo de apoio iniciará um trabalho de redução da quantidade de carepa gerada no processo de decapagem mecânica, com o objetivo inicial de 20% em relação à quantidade gerada atualmente. O prazo de realização foi estabelecido pela

equipe de apoio, de acordo com metas internas a serem cumpridas e com o tempo disponível para este projeto. Cabe salientar que paralelamente a este estudo, o grupo de apoio realizou análises detalhadas de custos e investimentos para a realização do plano de ação.

Neste caso, não é viável uma nova análise após a implantação das metas, já que o processo de decaagem química não será mais utilizado. Em casos em que haja necessidade de verificar a eficiência do plano proposto e que seja possível comparar dois processos após modificações, o método de avaliação de impactos ambientais deverá ser reutilizado. Além disso, uma vez que as informações necessárias para a utilização deste método já estão organizadas, verificações subseqüentes ou mesmo adaptações deste serão mais facilmente aplicadas e a busca pela melhoria contínua tornar-se-á uma rotina da empresa.

4.2 ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS

O desenvolvimento deste método foi motivado pelo fato de que poucos estudos consideram os impactos ambientais na escolha de processos. Desta forma, esta proposta foi elaborada para suprir esta necessidade.

Esta abordagem baseou-se na Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do produto, bem como no método de análise multicriterial AHP (Processo Hierárquico Analítico ou *Analytic Hierarchy Process*) para complementar o método proposto. A norma NBR ISO 14.040 foi amplamente utilizada, porém, as etapas da ACV foram adaptadas para uma maior precisão dos resultados.

O método para a tomada de decisão AHP foi escolhido, pois se julgou ser o método de análise multicriterial mais adequado para critérios avaliados de forma qualitativa.

Para complementar a abordagem proposta, outras ferramentas poderiam ser utilizadas, como o FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) e o 5W1H, para auxiliar na escolha dos processos.

A partir da aplicação deste método e da análise crítica dos resultados, é possível discutir de forma mais detalhada as dificuldades, como será visto a seguir.

4.2.1 Dificuldades encontradas

Durante a aplicação do método proposto, observaram-se algumas dificuldades que são relatadas a seguir.

A formação do grupo de apoio dentro da empresa é uma tarefa difícil, pois as pessoas que estarão envolvidas devem ter o máximo conhecimento do processo e também conhecimento ambiental. A escolha de uma pessoa da área operacional e outra da área de qualidade foi essencial para o acompanhamento do processo, preenchimento do questionário, definição dos critérios e prioridades, e discussão dos resultados.

A elaboração do questionário exigiu que houvesse várias modificações ao longo do estudo, pois todas as informações que não seriam obtidas durante as visitas à empresa deveriam estar disponíveis no preenchimento do mesmo.

Na Avaliação do Ciclo de Vida do produto consideraram-se apenas as etapas principais e os dados relevantes para o controle ambiental. A seleção destas etapas e dados foi realizada com muito cuidado para não comprometer o resultado final do estudo.

Na aplicação do método para tomada de decisão AHP, a maior dificuldade encontrada foi na atribuição dos pesos para a priorização dos critérios e dos processos. Uma atribuição errada pode gerar inconsistências na avaliação das alternativas. No entanto, o grupo de apoio foi essencial para a escolha dos critérios e a priorização dos mesmos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo geral propor um método para escolha de processos industriais, levando em consideração também os impactos ambientais. Este método foi aplicado em uma indústria do setor siderúrgico, com a finalidade de escolher entre dois processos de decapagem: química e mecânica. Para alcançar o objetivo geral, foram estabelecidos três objetivos específicos.

Em relação ao primeiro objetivo específico pode-se dizer que a revisão bibliográfica e o estudo sobre a empresa e os processos de decapagem foram realizados de forma adequada para a proposta do método. Isto foi contemplado nos capítulos 2 e 3.

Quanto ao segundo objetivo específico, a avaliação da empresa e dos processos possibilitou a verificação da adequação da empresa quanto às exigências ambientais, a elaboração do Ciclo de Vida do produto e a realização da análise multicriterial. As informações utilizadas constam no Questionário A (Anexo B) e os resultados das análises estão apresentados no capítulo 4.

Os resultados obtidos na Avaliação do Ciclo de Vida evidenciaram que o processo de decapagem química é mais agressivo ao meio ambiente, contribuindo para os problemas de acidificação, aquecimento global e redução do espaço, aumentando a geração de resíduos e exigindo um espaço adequado para tratamento local e um maior espaço nos aterros externos. Em nível global, o principal efeito deve-se ao mau uso do solo e da água. Desta forma, pode-se afirmar que o processo de decapagem química é mais prejudicial ao meio ambiente, gerando três vezes mais fatores de problemas e resíduos ambientais e duas vezes mais fatores de efeitos nocivos dos problemas e dos resíduos, em relação ao processo de decapagem mecânica.

Apesar de o processo de decapagem mecânica apresentar menor desempenho quando comparado ao processo de decapagem química para dois dos critérios (produtividade e qualidade final), os resultados do método de Análise

Multicriterial possibilitaram verificar que o processo de decapagem que melhor atende ao conjunto de critérios pré-estabelecidos é o processo de decapagem mecânica, com 73,96%. Este resultado não compromete a produtividade e a qualidade do produto final, uma vez que o processo de decapagem mecânica atende sem restrições a estes critérios.

O terceiro objetivo específico, aplicação prática do método proposto, possibilitou verificar suas potencialidades e restrições. A aplicação do método foi verificada no capítulo 4.

A partir das necessidades que motivaram este estudo e dos resultados obtidos, pode-se afirmar que esse trabalho alcançou o objetivo geral inicialmente estabelecido: a proposta do método para escolha de processos industriais. Consideram-se adequadas as adaptações feitas na metodologia original da Avaliação do Ciclo de Vida do produto e a aplicação do método AHP, pois permitiram desenvolver um método capaz de auxiliar na escolha de processos, incluindo o aspecto ambiental.

Juntamente com o grupo de apoio, determinaram-se ações de melhoria e metas com a finalidade de reduzir os problemas ambientais observados. A empresa pretende, no prazo máximo de um ano, extinguir o processo de decapagem química. O trabalho de melhoria para alcançar as metas será realizado pelo grupo de apoio.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao finalizar este trabalho, observaram-se algumas limitações do estudo e sugeriram-se melhorias que podem ser consideradas em trabalhos futuros.

- a) aplicação deste método a outros segmentos e processos industriais, a fim de verificar sua restrição,
- b) inclusão de outras etapas na Avaliação do Ciclo de Vida, visando complementar a análise ambiental desse método,

- c) inclusão de outras ferramentas que possibilitem avaliar outros fatores ambientais e de segurança.

Com a consideração destas melhorias, este método tornar-se-á mais confiável e capaz de atender outras exigências e necessidades das empresas.

REFERÊNCIAS

AMACHER, G. S.; KOSKELA, E.; OLLIKAINEN, M. Environmental quality competition and eco-labeling. **Journal of Environmental Economics and Management**. Vol. 47, N° 2, p. 284-306, Mar 2004.

ANDERSSON, K.; EIDE, M. H.; LUNDQVIST, U.; MATTSSON, B. The feasibility of including sustainability in LCA for product development. **Journal of Cleaner Production**. Vol. 6, N° 3-4 , p. 289-298, Sep 1998.

ANDRADE M. M. **Introdução à Metodologia do Trabalho Científico**. 2 a . edição. São Paulo: Editora Atlas, 1997.

ANDRADE, M. L. A.; CUNHA, L. M. S.; GANDRA, G. T.; RIBEIRO, C. C. Minério de Ferro no Mundo: Retomada de Crescimento. **Mineração e Metalurgia**. Área de operações industriais 2, N° 36, Set 2000.

ANDRADE, R. O. B.; CARVALHO, A. B.; TACHIZAWA, T. **Gestão ambiental: enfoque estratégico aplicado ao desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2003.

ASHFORD, P.; CLODIC, D.; MCCULLOCH, A.; KUIJPERS, L. Emission profiles from the foam and refrigeration sectors comparison with atmospheric concentrations. Part 2: results and discussion. **International Journal of Refrigeration**. Vol. 27, N° 7, p. 701-716, Nov 2004.

BARBIERI, J. C. **Desenvolvimento e meio ambiente: as estratégias de mudanças da agenda 21**. Petrópolis: Vozes, 1997.

BARBOSA, A.C. **Responsabilidade Social Corporativa do Pólo Industrial de Camaçari: a Influência do Conselho Comunitário Consultivo**. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2003.

BELLIA, V.; BIDONE, E. D. **Rodovias, recursos naturais e meio ambiente**. Niterói: Editora da Universidade Federal Fluminense, 1993, 288 p.

BENNETT, G. F. Handbook of Environmental Management and Technology, 2nd edition. **Journal of Hazardous Materials**. Vol. 89, N° 2-3, p. 322-323, Jan 2002.

BENZAOU, A.; BOUABDALLAH, A. Desalination and biological wastewater treatment process. **Desalination**. Vol. 165, N° 15, p. 105-110, Aug 2004.

BITENCOURT, A. C. P. **Desenvolvimento de uma metodologia de reprojeto de produto para o meio ambiente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2001.

BITTKAU, A.; GEYER, R.; BHATT, M.; SCHLOSSER, D. Enhancement of the biodegradability of aromatic groundwater contaminants. **Toxicology**. Vol. 205, n° 3, p. 201-210, 2004.

BOVEA, M. D.; VIDAL, R. Materials selection for sustainable product design: a case study of wood based furniture eco-design. **Materials & Design**. Vol. 25, N° 2, p. 111-116, Apr 2004.

BRAVO, H. A.; TORRES, R. J. The usefulness of air quality monitoring and air quality impact studies before the introduction of reformulated gasolines in developing countries. Mexico City, a real case study. **Atmospheric Environment**, Vol. 34, N° 3, p. 499-506, Feb 2000.

BREDARIOL, C. S.; MAGRINI, A. Conflicts in developing countries: a case study from Rio de Janeiro. **Environmental Impact Assessment Review**. Vol. 23, N° 4, p. 489-513, Jul 2003.

BRUNEKREEF, B.; HOLGATE, S.T. Air pollution and health. **The Lancet**. Vol. 360, N° 9341, p. 1233-1242, Oct 2002.

CALMET, D.; LEVY, F.; ROBE, M. C.; GRYVAUD, L.; DIAKONOFF, P.; BOURLARD, P. Status report on standard-setting work in the area of environmental radioactivity measurement. **Journal of Environmental Radioactivity**. Vol. 72, N° 1-2, p. 109-120, Jan 2004.

CALUWE, N. Ecotools manual: A comprehensive review of Design for Environment tools. United Kingdom: Manchester Metropolitan University. Design for the environment research group, 1997. Disponível no site: <<http://sun1.mpce.stu.mmu.ac.uk/pages/projects/dfe/pubs/dfe33/frame.htm>>. Acessado em 23/11/2004.

CAMARGO, Ana Luiza de Brasil. **Desenvolvimento sustentável: dimensões e desafios**. São Paulo: Papirus, 2003.

CANTER, L. W. **Environmental impact assessment**. New York: McGraw-Hill, 331 p., 1977.

CARNEIRO, F. G.; ARBACHE, J. S. The Impacts of Trade on the Brazilian Labor Market: A CGE Model Approach. **World Development**. Vol. 31, N° 9, p. 1581-1595, Sep 2003.

CARVALHO, D. A. Introdução ao ambientalismo - Laboratório de Assessoria Administrativa e Jurídica - Universidade de Franca, 1998. Disponível no site: <http://www.unifran.br/daltro/site/juridico/textos/AMBIENTE.doc>. Acessado em 04/01/2005.

CASHMORE, M. The role of science in environmental impact assessment: process and procedure versus purpose in the development of theory. **Environmental Impact Assessment Review**. Vol. 24, p. 403-426, 2004.

CASTANHEIRA, E. G.; PEREIRA, C. J. D.; LOPES, M.; FERREIRA, A. J. D.; GOMES, D.; ELOY, S. Estudo comparativo da viabilidade ambiental de distintos processos produtivos de queijo curado. Disponível no site: <http://www.esac.pt>

/emas@school/ Publicacoes/Comunicacoes/CNA04/ECastanheira_com.pdf. Acessado em 31/01/05.

CAVALCANTI, M. Livres das amarras. **Odisséia dos negócios** (revista *online*). Dezembro, 2004.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos**: Ferramenta Gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

CHEN, Y.; CAI, O.; TANG, H. Dust storm as an environmental problem in north China. **Environ Manage.** Vol. 32, N° 4, p. 413-417, Oct 2003.

CHENG, C. L. A physical study of plumbing life cycle in apartment houses. **Building and Environment.** Vol. 36, N° 9, p. 1049-1056, Nov 2001.

CLAYTON, J. W. The biology of the River Tweed. **The Science of the Total Environment.** Vol. 194-195, p. 155-162, Feb 1997.

COWEN, B. D.; BRAITHWAITE, K. R. O verde a favor da economia. **HSM Management.** Maio-Junho, 1998.

CRABTREE, B.; HICKMAN, M.; MARTIN, D. Integrated water quality and environmental cost-benefit modelling for the management of the River Tame. **Water Science and Technology.** Vol. 39, N° 4, p. 213-220, Jan 1999.

CZAPLICKA, K. Eco-design of non-metallic layer composites with respect to conveyor belts. **Materials and Design.** Vol. 24, N° 2, p. 111-120, Apr 2003.

DANIEL, S. E.; TSOULFAS, G. T.; PAPPIS, C. P.; RACHANIOTIS, N. P. Aggregating and evaluating the results of different Environmental Impact Assessment methods. **Ecological Indicators.**

D'ARCY, B.; FROST, A. The role of best management practices in alleviating water quality problems associated with diffuse pollution. **The Science of the Total Environment**. Vol. 265, N°1-3, p. 359-367, Jan 2001.

DONAIRE, D. **Gestão ambiental na empresa**. São Paulo: Atlas, 2003.

ELIASSON, I. The use of climate knowledge in urban planning. **Landscape and Urban Planning**. Vol. 48, N° 1-2, p. 31-44, Apr 2000.

ENGHAG, P. **Steel wire technology**. Applied Materials Technology. Repro Örebro University, Jun 2002.

FAIREY, R.; TABERSKI, K.; LAMERDIN, S.; JOHNSON, E.; CLARK, R. P.; DOWNING, J.W.; NEWMAN, J.; PETREAS, M. Organochlorines and Other Environmental Contaminants in Muscle Tissues of Sportfish Collected from San Francisco Bay. **Marine Pollution Bulletin**. Vol. 32, N°12, p. 3581-3592, Dec 1998.

FEITOSA, I. R.; LIMA, L. S.; FAGUNDES, R. L. **Manual de licenciamento ambiental**: guia de procedimentos passo a passo. Rio de Janeiro: GMA, 2004.

FERRARI, K. F. **Aspectos ambientais do processo de fabricação de placas de revestimentos cerâmicos (via úmida), com ênfase nos efluentes líquidos**. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear/Materiais). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

FERREIRA, C. G. **Os traços principais da evolução das normas técnicas de produção na siderurgia**. Texto para discussão N° 54. Belo Horizonte: CEDEPLAR/UFMG, 1989.

FERREIRA, J. A. S. **Transferência de Tecnologia na Produção de Aços Especiais: o caso ACESITA**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

FINNVEDEN, G.; JOHANSSON, J.; LIND, P.; MOBERG, A. Life cycle assessment of energy from solid waste-part 1: general methodology and results. **Journal of Cleaner Production**. Vol.13, N° 3, p. 213-229, Feb 2005.

FONE, C. International seal standards - do they affect us? **Sealing Technology**. Vol. 2003, N° 8, p. 8-10, Aug 2003.

FRANCO, M. A. R. **Planejamento ambiental:** para a cidade sustentável. São Paulo: Annablume, Edifurb, 2001, 296 p.

FRESNER, J. Small and medium sized enterprises and experiences with environmental management. **Journal of Cleaner Production**. Vol. 12, N° 6, p. 545-547, Aug 2004.

FULLER, D. A.; OTTMAN, J. A. Moderating unintended pollution: the role of sustainable product design. **Journal of Business Research**. Vol. 57, N° 11, p. 1231-1238, Nov 2004.

FULLWOOD, R.R.; ERDMANN, R.C. Risks associated with nuclear material recovery and waste preparation. **Progress in Nuclear Energy**. Vol. 11, N° 1, p. 55-105, 1983.

GIANNETTI, B. F.; BONILLA, S. H.; ALMEIDA, C. M.V.B. Developing eco-technologies: A possibility to minimize environmental impact in Southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**. Vol. 12, N° 4, p. 361-368, May 2004.

GONÇALVES, M. T.; LANZA, I. C. Análise dos Impactos Ambientais dos setores siderúrgico, agropecuário e mineração no município de Sete Lagoas: 1995-2000. **Revista de Iniciação Científica**. p.123 – 141, 2000.

GUÉRON, A. L. **Rotulagem e certificação ambiental:** uma base para subsidiar a análise da certificação florestal no Brasil. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

HARPHAM, T.; WERNA, E. Sustainable Urban Health in Developing Countries. **Habitat International**. Vol. 20, N° 3, p. 421-429, Sep 1996.

HISCHIER, R.; HILTY, L. Environmental impacts of an international conference. **Environmental Impact Assessment Review**. Vol. 22, N° 5, p. 543-557, Oct 2002.

IRVING, P.; MONCRIEFF, I. Managing the environmental impacts of land transport: integrating environmental analysis with urban planning. **Science of The Total Environment**. Vol. 334-335, N° 1, p. 47-59, Dec 2004.

JASCH, C. Environmental performance evaluation and indicators. **Journal of Cleaner Production**. Vol. 8, N° 1, p. 79-88, Feb 2000.

JOHANSSON, A.; HOLAPPA, L. From megaplants to mini-mills-a trend in steelmaking-a prospect for papermaking. **Resources, Conservation and Recycling**. Vol. 40, N° 2, p. 173-183, Jan 2004.

KEMM, J. What is health impact assessment and what can it learn from EIA? **Environmental Impact Assessment Review**. Vol. 24, N° 2, p. 131-134, Feb 2004.

KHAN, F. I.; SADIQ, R.; VEITCH, B. Life cycle index (LinX): a new indexing procedure for process and product design and decision-making. **Journal of Cleaner Production**. Vol. 12, p. 59-76, 2004.

KINLAW, D. C. **Empresa competitiva e ecológica: desempenho sustentado na era ambiental**. São Paulo: Makron Books, 1998.

KORHONEN, J. Industrial ecology in the strategic sustainable development model: strategic applications of industrial ecology. **Journal of Cleaner Production**. Vol. 12, N° 8-10, p. 809-823, Oct 2004.

KOZULJ, R. People, cities, growth and technological change - From the golden age to globalization. **Technological Forecasting and Social Change**. Vol. 70, N° 3, p. 199-230, Mar 2003.

KRIVTISOV, V. Investigations of indirect relationships in ecology and environmental sciences: a review and the implications for comparative theoretical ecosystem analysis. **Ecological Modelling**. Vol. 174, N° 1-2, p. 37-54, May 2004.

KURTZ, F. C.; ROCHA, J. S. M.; MADRUGA, P. R. A.; ROBAINA, A. D.; KURTZ, S. M. J. M.; GARCIA, S. M.; SANTOS, A. H. O.; DILL, P. R. J.; DECIAN, V. S.; COSTA, S. V.; MARTINS, F. B.; PADILHA, D. L. Avaliação de impactos ambientais na ilha das flores. Anais - I Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto- Aracaju/SE. 17 e 18 de Outubro de 2002.

KURTZ, S. B. Greening the corporation: management strategy and the environmental challenge. **Futures**. Vol. 36, N° 5, p. 626-628, Jun 2004.

LAFARIE-FRENOT, M.C.; ROUQUIE, S. Influence of oxidative environments on damage in c/epoxy laminates subjected to thermal cycling. **Composites Science and Technology**. Vol. 64, N° 10-11, p. 1725-1735, Aug 2004.

LEE, N. Environmental impact assessment: a review. **Applied Geography**. Vol. 3, N° 1, p. 5-27, Jan 1983.

LOBO, Y. R. O.; LIMA, P. C. Avaliação do ciclo de vida. **Revista Produto e Produção**. Vol. 2, N° 2, p. 42-32, 1998.

LOISELLE, S.; CARPANETO, G. M.; HULL, V.; WALLER, T.; ROSSI, C. Feedback analysis in reserve management: studying local myths using qualitative models. **Ecological Modelling**. Vol. 129, N°1, p. 25-37, May 2000.

LUNDIN, M.; OLOFSSON, M.; PETTERSSON, G. J.; ZETTERLUND, H. Environmental and economic assessment of sewage sludge handling options. **Resources, Conservation and Recycling**. Vol. 41, N° 4, p. 255-278, Jul 2004.

MACDONALD, J. P. Strategic sustainable development using the ISO 14001 Standard. **Journal of Cleaner Production**. Vol. 13, N° 6, p. 631-643, May 2004.

MADRUGA, C. R. **Produção mais limpa na indústria automotiva**: um estudo de fornecedores no estado do Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado em Administração). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

MCCULLOCH, A.; MIDGLEY, P.M.; ASHFORD, P. Releases of refrigerant gases (CFC-12, HCFC-22 and HFC-134a) to the atmosphere. **Atmospheric Environment**. Vol. 37, N° 7, p. 889-902, Mar 2003.

MOREL, J. C.; MESBAH, A.; OGGERO, M.; WALKER, P. Building houses with local materials: means to drastically reduce the environmental impact of construction. **Building and Environment**. Vol. 36, N° 10, p. 1119-1126, Dec 2001.

MORRIS, P.; THERIVEL, R. **Methods of Environmental Impact Assessment**. London: UCL Press, 378 p., 1996.

MOURA, L. A. B. **Qualidade e gestão ambiental**: sugestões para implantação das normas ISO 14.000 nas empresas. São Paulo: Editora Juarez de Oliveira, 2000.

NAIME, R.; GARCIA, A. C. Propostas para o gerenciamento dos resíduos de lâmpadas fluorescentes. **Revista Espaço para a Saúde**. Vol. 6, N°1, p. 1-6, 2004.

OLIVEIRA, G. E.; HOLANDA, J. N. F. Environmental impact analysis caused by the use of siderurgy solid waste in red ceramics. **Cerâmica**. Vol. 50, p. 185-189, 2004.

ORR, P.S. Federal environmental impact statements as an important source of information. **Government Information Quarterly**. Vol. 12, N° 2, p. 199-212, Jan 1995.

OZERNOY, V. M. **Some fundamental problems in the selection and justification of discrete alternative MCDM methods.** Coimbra: Springer, 1994.

PENNINGTON, D. W.; POTTING, J.; FINNVEDEN, G.; LINDEIJER, E.; JOLLIET, O.; RYDBERG, T.; REBITZER, G. Life cycle assessment Part 2: Current impact assessment practice. **Environment International.** Vol. 30, N° 5, p. 721-739, Jul 2004.

PIRIE, R. L.; LOË, R. C.; KREUTZWISER, J. Drought planning and water allocation: an assessment of local capacity in Minnesota. **J Environ Manage.** Vol. 73, N° 1, p. 25-38, Oct 2004.

POETHKE, H. J.; HOVESTADT, T.; MITESSER, O. Local extinction and the evolution of dispersal rates: causes and correlations. **Am Nat.** Vol. 161, N°4, p.631-640, Apr 2003.

POMERANZ, L. **Avaliação de projetos públicos: metodologia alternativa.** São Paulo: IPE/USP, 1992.

PRATES, G. A. **Ecodesign utilizando QFD, Métodos Taguchi e DFE.** Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 1998.

PREK, M. Environmental impact and life cycle assessment of heating and air conditioning systems, a simplified case study. **Energy and Buildings.** Vol. 36, N° 10, p. 1021-1027, Oct 2004.

PUJARI, D.; PEATTIE, K.; WRIGHT, G. Organizational antecedents of environmental responsiveness in industrial new product development. **Industrial Marketing Management.** Vol. 33, N° 5, p. 381-391, Jul 2004.

RAMANATHAN, R. A note on the use of the analytic hierarchy process for environmental impact assessment. **Journal of environmental management.** Vol. 63, p. 24-35, 2001.

RUDY, S. F. Pickling and acid dipping. **Metal Finishing**. Vol.100, N° 1, p. 173-179, Jan 2002.

SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process**: planning, priority setting, resource allocation. New York, London: McGraw-Hill, 1980.

SANCHEZ-TRIANA, E.; ORTOLANO, L. Organizational learning and environmental impact assessment at Colombia's Cauca Valley Corporation. **Environmental Impact Assessment Review**. Vol. 21, N° 3, p. 223-239, May 2001.

SILVA, P. R. S. **Avaliação de impactos e custos ambientais em processos industriais**: uma abordagem metodológica. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SLOOTWEG, R.; KOLHOFF, A. A generic approach to integrate biodiversity considerations in screening and scoping for EIA. **Environmental Impact Assessment Review**. Vol. 23, N° 6, p. 657-681, Oct 2003.

SOLNES, J. Environmental quality indexing of large industrial development alternatives using AHP. **Environmental Impact Assessment Review**. Vol. 23, N° 3, p. 283-303, May 2003.

SOMMARIVA, C.; HOGG, H.; CALLISTER, K. Environmental impact of seawater desalination: relations between improvement in efficiency and environmental impact. **Desalination**. Vol. 167, N° 15, p. 439-444, Aug 2004.

STEVENSON, T. H.; BARNES, F.C. What industrial marketers need to know now about ISO 9000 certification - A review, update, and integration with... **Industrial Marketing Management**. Vol. 31, N° 8, p. 695-703, Nov 2002.

TAN, R. B. H.; KHOO, H. H. An LCA study of a primary aluminum supply chain. **Journal of Cleaner Production**. Vol. 13, N° 6, p. 607-618, May 2004.

TSILINGIRIDIS, G.; MARTINOPOULOS, G.; KYRIAKIS, N. Life cycle environmental impact of a thermosyphonic domestic solar hot water system in comparison with electrical and gas water heating. **Renewable Energy**. Vol. 29, p. 1277–1288, 2004.

VEGA, M.; PARDO, R.; BARRADO, E.; DEBAN, L. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. **Water Research**. Vol. 32, N° 12, p. 3581-3592, Dec 1998.

VINCKE, P. **Multicriteria decision-aid**. 2° Ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1992.

VOGTLANDER, J. G.; LINDEIJER, E.; WITTE, J. P. M.; HENDRIKS, C. Characterizing the change of land-use based on flora: application for EIA and LCA. **Journal of Cleaner Production**. Vol. 12, N° 1, p. 47-57, Feb 2004.

WILKINS, H. The need for subjectivity in EIA: discourse as a tool for sustainable development. **Environmental Impact Assessment Review**. Vol. 23, N° 4, p. 401-414, Jul 2003.

WU, X.; ZHANG, Z.; CHEN, Y. Study of the environmental impacts based on the "green tax"- applied to several types of building materials. **Building and Environment**. Vol. 40, N° 2, p. 227-237, Feb 2005.

ZUTSHI, A.; SOHAL, A. Environmental management system adoption by Australasian organizations: part 1: reasons, benefits and impediments. **Technovation**. Vol. 24, N° 4, p. 335-357, Apr 2004.

ANEXO A

QUESTIONÁRIO A

1. Qual é o ramo de atuação predominante da empresa?
 - Químico/Petroquímico
 - Farmacêutico
 - Metal-mecânico
 - Siderúrgico/Metalúrgico
 - Alimentício/Derivados do couro
 - Outro: _____

2. A empresa possui:
 - somente a matriz
 - uma filial
 - mais de uma filial

3. Quanto ao faturamento anual e o número de funcionários, qual é o porte da empresa?
 - Pequeno
 - Médio
 - Grande

4. Quanto às suas atividades, a empresa se enquadra:
 - Extração de matérias-primas
 - Processamento de matérias-primas
 - Manufatura de produtos intermediários
 - Manufatura de produtos finais
 - Reutilização ou reciclagem
 - Disposição de resíduos

5. A empresa possui Sistema de Gestão Ambiental?

Sim

Não

6. A empresa possui certificação ambiental?

Sim. Qual? _____

Não

7. A empresa oferece treinamento ambiental para os funcionários?

Sim. Comente: _____

Não

8. Os processos produtivos (que serão avaliados) podem ser classificados como:

batelada

contínuo

linha

customizado

9. Existe algum monitoramento das perdas ou rejeitos?

Sim. Qual? _____

Não

10. Quanto aos produtos fabricados pela empresa, algum é perigoso ao meio ambiente?

Sim. Explicar: _____

Não. Explicar: _____

11. Alguma matéria-prima, utilizada pela empresa, passa por processo de tratamento antes de ser utilizada?

Sim. Qual matéria-prima? Qual tratamento? _____

Não

12. Tratando especificamente dos processos de decapagem, quais são as matérias-primas utilizadas? _____

13. A água utilizada no processamento sofre algum tipo de tratamento? Explicar:

14. A energia utilizada no processamento é de fonte:

Hidrelétrica

Termelétrica

Outra: _____

15. As demais utilidades necessárias ao processo (vapor, ar comprimido, etc.) são geradas pela empresa?

Sim. Quais? _____

Não

16. Há geração de resíduos nos processos produtivos?

Sim. Quais? São classificados quanto à periculosidade, pela empresa?

Não

17. Qual o destino dos resíduos gerados? _____

18. Além do critério ambiental, quais outros seriam interessante considerar na escolha dos processos de decapagem? _____

19. Para cada critério citado na questão anterior, diga qual a relação existente entre os processos de decapagem química e mecânica: _____

ANEXO B

QUESTIONÁRIO A - PREENCHIDO PELO GRUPO DE APOIO

1. Qual é o ramo de atuação predominante da empresa?
 - Químico/Petroquímico
 - Farmacêutico
 - Metal-mecânico
 - Siderúrgico/Metalúrgico
 - Alimentício/Derivados do couro
 - Outro: _____

2. A empresa possui:
 - somente a matriz
 - uma filial
 - mais de uma filial

3. Quanto ao faturamento anual e o número de funcionários, qual é o porte da empresa?
 - Pequeno
 - Médio
 - Grande

4. Quanto às suas atividades, a empresa se enquadra:
 - Extração de matérias-primas
 - Processamento de matérias-primas
 - Manufatura de produtos intermediários
 - Manufatura de produtos finais
 - Reutilização ou reciclagem
 - Disposição de resíduos

5. A empresa possui Sistema de Gestão Ambiental?
 - Sim

Não

6. A empresa possui certificação ambiental?

Sim. Qual? Está recebendo certificação ISO 14001.

Não

7. A empresa oferece treinamento ambiental para os funcionários?

Sim. Comente: Grupos capacitados para orientação e conscientização ambiental.

Não

8. Os processos produtivos (que serão avaliados) podem ser classificados como:

batelada

contínuo

linha

customizado

9. Existe algum monitoramento das perdas ou rejeitos?

Sim. Qual? No caso da decapagem mecânica, há um controle da carepa (resíduo). A mesma é coletada e reutilizada. Os resíduos provenientes do processo de decapagem química são tratados na estação de tratamento de efluentes.

Não

10. Quanto aos produtos fabricados pela empresa, algum é perigoso ao meio ambiente?

Sim. Explicar: _____

Não. Explicar: Todos os produtos são recicláveis.

11. Alguma matéria-prima, utilizada pela empresa, passa por processo de tratamento antes de ser utilizada?

Sim. Qual matéria-prima? Qual tratamento? _____

Não

12. Tratando especificamente dos processos de decapagem, quais são as matérias-primas utilizadas? Decapagem química: fio-máquina, ácido clorídrico, cal e água. Decapagem mecânica: fio-máquina.

13. A água utilizada no processamento sofre algum tipo de tratamento? Explicar: Não.

14. A energia utilizada no processamento é de fonte:

Hidrelétrica

Termelétrica

Outra: _____

15. As demais utilidades necessárias ao processo (vapor, ar comprimido, etc.) são geradas pela empresa?

Sim. Quais? _____

Não. Nos processos de decapagem não utiliza-se outras utilidades.

16. Há geração de resíduos nos processos produtivos?

Sim. Quais? São classificados quanto à periculosidade, pela empresa? Decapagem química: solução ácida e carepa. Decapagem mecânica: carepa. Não são classificados.

Não

17. Qual o destino dos resíduos gerados? A solução ácida é enviada para o tanque de efluente líquido e, após o processo de neutralização, é remetida para o Centro de Tratamento de Efluentes Líquidos, vinculado à CORSAN. A carepa limpa é vendida para a indústria de cimento e a carepa contaminada é enviada para aterro externo.

18. Além do critério ambiental, quais outros seriam interessante considerar na escolha dos processos de decapagem? Para a escolha de qualquer processo é importante considerar os fatores custo, produtividade e qualidade do produto final.

19. Para cada critério citado na questão anterior, diga qual a relação existente entre os processos de decapagem química e mecânica: Pode-se afirmar que o custo de produção utilizando-se o processo de decapagem química é superior ao custo de utilização do processo de decapagem mecânica. Porém, não permite-se informar valores de custo de produção.

Para o critério produtividade, pode-se afirmar que para o processo de decapagem química é aproximadamente 1,3 vezes maior do que para o processo de

decapagem mecânica. Os valores de produtividade também não podem ser apresentados pela empresa.

As peças produzidas pelo processo de decapagem química apresentam melhor acabamento quando comparadas às peças produzidas pelo processo de decapagem mecânica. Pode-se avaliar esta diferença em uma escala de 1,5:1,0 o que significa que para cada peça produzida pelo processo de decapagem mecânica, com aspecto visual adequado, produz-se 1,5 peças com o mesmo aspecto pelo processo de decapagem química.