

QUÍMICA INDUSTRIAL

Caderno Didático



Profa. Dra. Marta Regina Lopes Tocchetto
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
Departamento de Química – CCNE
Curso de Química Industrial

Santa Maria - RS
- 2005 -

PARTE I GESTÃO AMBIENTAL

Elaboração

Profa. Dra. Marta Regina Lopes Tocchetto
marta@tocchetto.com
www.marta.tocchetto.com

Dr. Lauro Charlet Pereira
lauro@cnpma.embrapa.br

*Quando te decidires, segue. Não espere que o vento cubra de flores o teu caminho. Cria-o.
Faze-o tu mesmo e parte... sem lembrar que outras pessoas pararam, que outros olhos ficaram
te olhando seguir. Prado Veppo*

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xi
LISTA DE QUADROS.....	xii
LISTA DE FIGURAS	xiv
I MEIO AMBIENTE	1
1 Introdução	1
2 Ações Antrópicas e Conseqüências Ambientais	2
2.1 Poluição Atmosférica	3
2.1.1 Efeito Estufa	3
2.1.2 Camada de Ozônio	4
2.2 Poluição da Água	4
2.3 Poluição do Solo	6
II GESTÃO AMBIENTAL	7
1 Introdução.....	7
2 Sistema de Produção	7
2.1 Modelo Fim de Tubo	7
2.1.1 Tratamento Físico-Químico de Efluentes.....	8
2.2 Sistema Ambientalmente Correto ou Pró-Ativo	9
2.2.1. Estratégias de Redução e Tecnologias Alternativas.....	10
3 Estratégias de Gestão Ambiental	13
3.1 Prevenção e Ecoeficiência	17
4 Planejamento Ambiental	21
5 Avaliação Ambiental	22
III SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL – SGA	25
1 Princípios Gerais do SGA	26
2 Etapas de Implantação do SGA	26
3 Elementos do SGA	27
3.1 Análise dos Elementos do SGA	28
4 Vantagens do SGA	30
5 SGA e as Normas ISO 14000	29
.....	31
IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Análise do Ciclo de Vida Completo
BAT	Best Available Techniques
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento
BSTSA	British Surface Treatment Suppliers Association
CEBDS	Comitê Empresarial Brasileiro pelo Desenvolvimento Sustentável
CEPIS/OPS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitária e Ciências del Ambiente
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – SP
CNI	Confederação Nacional da Indústria
EPA	Agência de Proteção Ambiental Americana
ER	Recuperação Eletrolítica
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
ISO	International Organization for Standardization
NCDENR	North Carolina Department of Environment and Natural Recourse
PGA	Práticas de Gestão Ambiental
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
RO	Osiose Reversa
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio à Pequena e Média Empresa
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
UV	Raios Ultra Violeta
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development

LISTA DE QUADRO

QUADRO 1 – Medidas para Fechamento de Ciclos de Água	11
--	----

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Representação do Efeito Estufa	3
FIGURA 2 – Representação do Sistema de Produção Fim de Tubo	7
FIGURA 3 – Representação do Sistema de Produção Pró-Ativo	9
FIGURA 4 – Pirâmide do Consumo Sustentável – Prática dos 3 Rs	14
FIGURA 5 – Ciclo de Vida de Produtos	19
FIGURA 6 – Representação de um Sistema de Gestão Ambiental	22
FIGURA 7 – Sistema de Gestão Ambiental – Modelo ISO 14000	25
FIGURA 8 – Representação das Etapas para a Identificação das Fontes de Poluição	28
FIGURA 9 – Representação do Processo de Análise das Causas de Poluição	29
FIGURA 10 – Representação do Processo de Análise de Opções para Mudança de Processo	29

GESTÃO AMBIENTAL: Estratégias para a Melhoria da Produção

I MEIO AMBIENTE

1 Introdução

Inúmeras atividades humanas provocam alterações no meio ambiente, a este processo chamamos de poluição. Estas mudanças nas características se refletem de formas diferentes no meio, podendo ser mais ou menos prejudiciais dependendo do conjunto de condições favoráveis para tal. Estas modificações levam ao desequilíbrio ecológico, que dependendo da intensidade pode ser assimilado ou ter conseqüências catastróficas.

O uso de substâncias químicas na produção de bens de consumo para facilitar a nossa vida diária pode ocasionar este tipo de desequilíbrio. Muitos destes produtos originam resíduos perigosos, por isso é preciso avaliar os riscos à saúde, diretos ou indiretos, decorrentes do processo de fabricação, do uso e do descarte no meio ambiente, pois podem causar sérias conseqüências.

Conciliar a produção, o desenvolvimento com a conservação e a qualidade ambiental é um desafio que deve ser buscado a partir de esforços conjuntos, governo e sociedade. A busca pela sustentabilidade¹ tem levado as empresas a refletir sobre a sua interação com o meio ambiente (Hjeresen *et al*, 2002). Assim, medidas para reduzir a geração de resíduos necessitam ser tomadas, pois muitos países não terão condições tecnológicas, e provavelmente econômicas, para tratá-los ou para recuperar as áreas degradadas.

A crescente preocupação com a qualidade ambiental tem levado às indústrias brasileiras a buscarem alternativas tecnológicas mais limpas e matérias primas menos tóxicas, a fim de reduzir o impacto e a degradação ambiental. A conscientização da sociedade e a legislação ambiental têm induzido as empresas a uma relação mais sustentável com o meio ambiente. Não há mais lugar para a exacerbação do lucro obtido às custas do comprometimento do meio ambiente. Diante disso, a indústria tem sido forçada a investir em modificações de processo, aperfeiçoamento de mão-de-obra, substituição de insumos, redução de geração de resíduos e racionalização de consumo de recursos naturais (Tocchetto e Pereira, 2004b).

O meio ambiente é um bom negócio, e não são apenas ambientalistas e idealistas que fazem esta afirmação. Reduzir os custos com eliminação de desperdícios, desenvolver alternativas tecnológicas limpas e baratas, reciclar insumos não são apenas princípios de gestão ambiental, mas condição de sobrevivência. Mais do que economia e vantagem competitiva, a preservação

¹ Relativa ao consumo Sustentável quer dizer saber usar os recursos naturais para satisfazer as nossas necessidades, sem comprometer as necessidades e aspirações das gerações futuras (IDEC, 2003).

ambiental é um desafio à manutenção das condições de sobrevivência para uma sociedade sustentável.

2 Ações Antrópicas e Conseqüências Ambientais

Diversos acidentes ambientais são relatados na literatura, destacam-se alguns que provocaram catástrofes, cujos efeitos até hoje são sentidos pelas populações atingidas são

- 1956 - São registrados casos de disfunções neurológicas em famílias de pescadores, em gatos e aves que se alimentavam de peixes da baía de Minamata, no Japão. A contaminação aconteceu desde 1939, quando uma indústria química se instalou nas margens da Baía e, por diversos anos, despejou, nas margens da baía, catalisadores esgotados. Foram constatadas altas concentrações de mercúrio em peixes e em moradores, que morreram devido à chamada "Doença de Minamata". Desastres similares foram observados em vários outros locais, como, por exemplo, Mitsui, Niigata e Yokkaichi. Como resultado desses incidentes, mais de 450 campanhas anti-poluição foram lançadas no Japão até 1971.
- 1984 - No dia 2 de dezembro, um vazamento de 25 toneladas de Isocianato de Metila, ocorrida em Bhopal (Índia), causou a morte de 3000 pessoas e a intoxicação de mais de 200.000. O acidente foi causado pelo vazamento de gás da Fábrica Union Carbide.
- 1989 - No dia 23 de março, o Navio Exxon Valdez, depois de uma colisão em rochas submersas que causou o rasgo no fundo do petroleiro, derramou, na Baía do Príncipe Willian, Alasca, 40.000 m³ de óleo. No acidente morreram milhares de animais. Até hoje são estudadas as conseqüências deste acidente sobre a fauna e a flora marinha da região. Até março de 1990, as indenizações e os gastos com a limpeza acumulavam mais de 2 bilhões de dólares com várias outras ações judiciais ainda não julgadas.
- 1993 - Em janeiro, o petroleiro Braer, durante uma tempestade com fortes ventos, se chocou contra rochas na Costa das Ilhas de Shetland, no Reino Unido. Na época, o Primeiro Ministro do Reino Unido, John Major, definiu o derramamento de óleo como "o pior desastre ambiental britânico". Quando o petroleiro Braer se quebrou em dois foram derramados aproximadamente 80.000.000 galões de óleo, duas vezes mais que o derramado pelo Exxon Valdez.
- 2003 – Em 27 de março, o vazamento de um reservatório de produtos tóxicos da Fábrica Cataguases de Papel, em Cataguases (MG), causou uma poluição sem precedentes no Rio Pomba, num trecho de 100 quilômetros até a foz. O acidente ecológico deixou sem água centenas de milhares de moradores das cidades próximas, além dos efeitos catastróficos para os demais ecossistemas e meio ambiente, em geral.

Corbett e Pan (2002) salientam que os custos da poluição têm se elevado dramaticamente nas últimas décadas, como mostrados nos grandes acidentes, cujos custos totais ultrapassam vários bilhões de dólares. Os mesmos autores enfatizam ainda que pequenos acidentes também afetam a comunidade, principalmente a local, e claramente ocasionam custos para as empresas, sobretudo se estes ocorrem freqüentemente. Mesmo emissões relativamente pequenas, em excesso, podem ter custos bastante grandes para as empresas, decorrentes de taxas e multas aplicadas.

2.1 Poluição atmosférica

A poluição atmosférica caracteriza-se basicamente pela presença de gases tóxicos e partículas sólidas no ar. As principais causas desse fenômeno são os despejos aéreos gerados por certos tipos de indústrias (siderúrgicas, petroquímicas, de cimento, etc.), queima de combustíveis, automóveis e sistemas de aquecimento doméstico.

2.1.1 Efeito Estufa

Alguns gases da atmosfera, principalmente o dióxido de carbono (CO_2), funcionam como uma camada protetora que impede que o calor absorvido da irradiação solar seja refletido para o espaço exterior, mantendo assim o equilíbrio térmico no planeta, tanto durante o dia como à noite. Sem o carbono na atmosfera, a superfície da Terra seria coberta de gelo. A essa particularidade benéfica se dá o nome de "efeito estufa" (Figura 1).

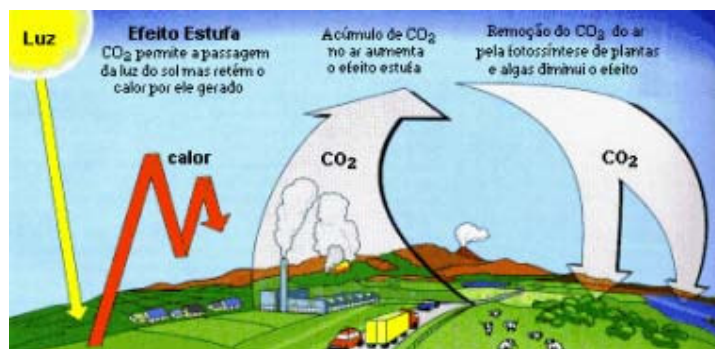


Figura 1 – Representação do Efeito Estufa
Fonte: Efeito Estufa (2004)

Devido ao aumento da concentração do CO_2 na atmosfera, o efeito estufa tem se tornado mais intenso, ocasionando o aquecimento e a elevação do nível dos oceanos. Na costa brasileira e em outros países litorâneos, por exemplo, o

avanço do mar assusta a população. A causa é, entre outros fatores, o efeito estufa. No Brasil, várias praias estão ameaçadas de sumir do mapa. Ano após ano elas perdem grandes faixas de areia e são tomadas pelo mar. Na cidade litorânea de Caiçara do Norte, Estado do Rio Grande do Norte, o mar avançou 50 metros nos últimos dez anos. O aquecimento da Terra também afeta a flora e a fauna. Na Antártida estão sendo vistas atualmente espécies de plantas que não existiam há dez ou quinze anos, estima-se ser o efeito do aumento de 15 graus na temperatura do continente ao longo dos últimos 40 anos.

2.1.2 Camada de Ozônio

A atmosfera terrestre é composta principalmente por 78% de nitrogênio molecular, 21% oxigênio molecular, 1% de argônio e 0.9% de vapor d'água, monóxido de carbono, metano, ozônio e outros gases. Alterações na concentração de alguns destes compostos podem causar grandes mudanças nas condições de vida no planeta.

O ozônio está concentrado fundamentalmente na estratosfera, uma região situada entre aproximadamente 12 e 50 km de altitude, formando a camada de ozônio. Esta camada atua como escudo protetor reduzindo a incidência de radiação ultravioleta (UV) do sol à superfície da terra. O ozônio também pode ser encontrado em concentrações menores na superfície da terrestre, como resultado da poluição. Esta situação é indesejável porque o ozônio é um gás tóxico e fortemente oxidante.

A descoberta do buraco de ozônio na Antártida, em meados dos anos 80, causou surpresa à comunidade científica. O buraco, na realidade é um estreitamento da camada de ozônio que envolve a Terra, sendo que a maior intensidade ocorre sobre o extremo sul. A redução da concentração de ozônio provoca danos à saúde humana e animal, aos ecossistemas aquáticos e terrestres, e inclusive a alguns tipos de materiais como a borracha. A radiação UV causa efeitos negativos ao sistema imunológico, aos olhos, e à pele causando envelhecimento prematuro, ainda podendo provocar fotoalergias e câncer de pele.

2.2 Poluição da água

Despejos de materiais contendo como resíduos biológicos, microorganismos, produtos químicos, resíduos industriais ou esgoto doméstico deterioram a qualidade da água dificultando muitos usos pretendidos. A alteração da qualidade requer a implantação de sistemas de tratamento que poderão ser mais ou menos sofisticados dependendo da contaminação e do uso pretendido. O calor também pode ser considerado um contaminante proveniente de águas de refrigeração ou trocadores de calor e têm, igualmente, efeitos nocivos sobre a fauna e a flora aquáticas.

A poluição de águas é resultado da maneira como a sociedade se relaciona com este recurso natural. A educação ambiental vem justamente resgatar a cidadania para que aja o desenvolvimento da consciência da importância da proteção do meio ambiente, que influi diretamente na manutenção da sua qualidade de vida. Dentro desse contexto, a questão da "saúde das águas" fala muito de perto a nós brasileiros.

O Brasil detém 13% das reservas de água doce do Planeta, que são de apenas 3%. Esta visão de abundância, aliada à grande dimensão continental do País, favoreceu o desenvolvimento de uma consciência de inesgotabilidade, isto é, um consumo distante dos princípios de sustentabilidade e sem preocupação com a escassez. A elevada taxa de desperdício de água no Brasil, 70%, comprova essa despreocupação. A oferta gratuita de recursos naturais e a crença na capacidade ilimitada de recuperação da natureza frente às ações exploratórias, contribuiu para essa postura descomprometida com a proteção e o equilíbrio ecológico.

Estima-se que atualmente, no mundo, 1,7 milhão de pessoas sofrem com a escassez de água. Esta dificuldade também pode estar associada a fatores qualitativos, ocasionados, por exemplo, pela disposição inadequada de resíduos sólidos, comumente chamado lixo. O comprometimento da qualidade da água pode inviabilizar o uso ou tornar impraticável o tratamento, tanto em termos técnicos quanto financeiros. Diversas são as substâncias tóxicas geradas nas diferentes atividades humanas. Nas práticas agrícolas, por exemplo, o uso sem controle de defensivos químicos pode representar um grande perigo ao meio ambiente, aos ecossistemas e à saúde humana.

No nosso dia-a-dia geramos toneladas de resíduos tóxicos, a partir de diversos produtos comprados livremente e descartados sem controle, como, por exemplo, lâmpadas, pilhas, medicamentos, inseticidas, tintas, produtos de limpeza, combustíveis, equipamentos eletrônicos, dentre outros. Muitas vezes estes produtos vão parar em lixões nos arredores das grandes cidades, sem a menor preocupação com os efeitos dessa poluição nos mananciais de água, solo e atmosfera. A contaminação das águas além de causar problemas estéticos, provoca alterações das propriedades físicas e químicas, devido ao acúmulo de algas e a acumulação de sedimentos no fundo que leva à redução ou ao *déficit* de oxigênio destes mananciais. A poluição da água afeta a saúde humana e os ecossistemas aquáticos, enfim causa desequilíbrio no meio ambiente, de uma forma geral.

O meio ambiente é formado, dentro de uma visão simplificada, pelo solo, água e ar. Estes meios interagem sinergicamente entre si, significando que o resíduo descartado no solo, por exemplo, mais dia menos dia irá contaminar as reservas de água e o ar. Assim como, a decomposição dos resíduos descartados nos rios, originam substâncias tóxicas, podem atingir outros locais distantes da fonte poluidora, ampliando assim os danos da contaminação para o meio ambiente.

A relação do homem com o meio ambiente, baseada no indesejável tripé do descomprometimento, inesgotabilidade e irresponsabilidade, poderá consumir as previsões mais catastróficas quanto a escassez dos recursos naturais, sobretudo da água, inviabilizando dentro de poucos anos, a vida na Terra. Portanto, é fundamental a substituição por uma visão fundamentada nos princípios da sustentabilidade, racionalização e responsabilidade, dentro da qual, somos parte integrante do meio ambiente e, responsáveis pela proteção e pela elevação da qualidade de vida no Planeta (Tocchetto e Pereira, 2004c).

2.3 Poluição do Solo

A poluição do solo e do subsolo consiste na deposição, disposição, descarga, infiltração, acumulação, injeção ou aterramento de substâncias ou produtos poluentes, em estado sólido, líquido e gasoso. Diversos fatores causam degradação do solo, cita-se, por exemplo

- Desertificação;
- Utilização de tecnologias inadequadas;
- Destruição da cobertura vegetal.

Na agricultura, os defensivos químicos usados no combate às pragas prejudicam o solo, a flora e a fauna. O manejo inadequado, especialmente, a prática de queimadas, causa perda de nutrientes favorecendo a erosão. A disposição clandestina de resíduos no solo provoca graves efeitos de degradação, chegando a contaminar os lençóis de águas subterrâneas. Cerca de 80% das cidades brasileiras não dispõem de aterros sanitários, tornando a situação ainda mais grave, pois as disposições ocorrem em lixões ou em terrenos baldios.

Os inseticidas quando usados de forma indevida, acumulam-se no solo e na vegetação que serve de alimento para os animais, desencadeando, assim, um ciclo de contaminação. Com as chuvas, os produtos químicos presentes na composição dos pesticidas se infiltram no solo atingindo o lençol freático e por fim, por dispersão, chegam aos rios contaminando as águas superficiais.

O uso indiscriminado do solo traz sérios efeitos como a erosão e o aumento da desertificação. O desmatamento do solo torna-o mais exposto ao sol. Como conseqüência, ocorre uma contínua evaporação, até mesmo da água presente nas regiões mais profundas. Essa água, ao evaporar-se carrega sais de ferro e outros minerais que se depositam na superfície do solo trazendo, como conseqüência, dificuldades de uso e de manejo.

II GESTÃO AMBIENTAL

1 Introdução

No mundo moderno, a preocupação com o meio ambiente alcança hoje papel de destaque nas relações internacionais (Adede y Castro, 2001). Nas duas últimas décadas, as questões ambientais têm exercido uma maior influência nos custos econômicos e a proteção do meio ambiente têm se tornado um importante campo de atuação para governos, indústrias, grupos sociais e indivíduos (Staniskis e Stasiskiene, 2003). O desenvolvimento e a produção de produtos sustentáveis é um desafio das indústrias no século 21, à luz da crescente pressão ambiental (Maxwell e Vorst, 2003).

O setor industrial, estigmatizado como um dos principais responsáveis pela grave situação ambiental do planeta e também pelas crescentes exigências legais, com relação aos resíduos gerados, tem reagido, mesmo que timidamente, em alguns setores, de forma pró-ativa, a partir da implantação de estratégias de gestão como: produção limpa, certificação ambiental, redução de resíduos tóxicos, reciclagem e reuso, principalmente. Além disso, as indústrias necessitam tornar-se ecoeficientes e mais competitivas, pois resíduo significa perda de matéria prima, falta de eficiência e aumento de custos de produção. Diante disso, passaram a preocupar-se com a introdução do conceito de prevenção, ou seja, reduzir cada vez mais a geração na origem, abandonando a postura essencialmente reativa (Tocchetto e Pereira, 2004b).

2 Sistemas de Produção

2.1 Modelo Fim de Tubo ou Reativo

A preocupação no sistema fim de tubo está focada no processo, os resíduos gerados se constituem um problema para ser gerenciado posteriormente (Figura 2). Não há preocupação com reduzir a geração de resíduos, tampouco com a toxicidade dos mesmos. Muitas indústrias ainda hoje possuem seu sistema fundamentado em princípios fim de tubo. O tratamento físico químico para efluentes líquidos é um exemplo desta visão reativa de gerenciamento.

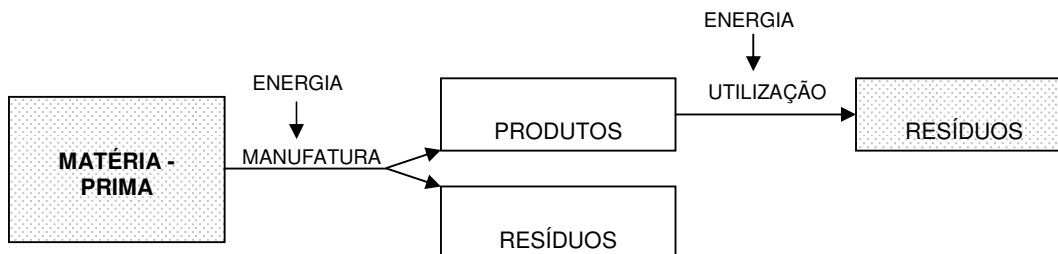


Figura 2 – Sistema de Produção Fim de Tubo

2.1.1 Tratamento Físico-Químico de Efluentes

O controle dos impactos do processo, a partir da implantação de sistemas de tratamento secundário, visa prevenir o descarte de resíduos e outros poluentes que possam comprometer a saúde e a qualidade ambiental. A implantação de estações de tratamento de efluentes líquidos é mais uma condição imposta na etapa de licenciamento dos empreendimentos industriais. Estas unidades representam custos às empresas e muitas vezes não oferecem segurança quanto ao cumprimento dos padrões definidos na legislação ambiental.

O tratamento físico-químico é o mais utilizado para tratar os efluentes líquidos. Neste processo, as substâncias poluidoras são transformadas em produtos pouco solúveis, os quais são separados por decantação e, posteriormente, filtrados (Freeman e Harris, 1998). Efluentes com baixa concentração de metais dificultam o tratamento físico-químico (BSTSA, 2004). No caso de efluentes com a presença de metais, a precipitação exige altas concentrações, 100 mg/L, e nem sempre os padrões são atingidos, devido à interferência de ânions presentes no efluente, como, por exemplo, Cl^- , CN^- , SO_4^{2-} (Costa *et al*, 2003a).

Os metais presentes na forma de cátions são precipitados como hidróxidos quando tratados com substâncias alcalinas como soda cáustica. Caso, hajam ânions cianeto e cromato estes são tratados por oxidação e redução. A precipitação dos metais pesados ocorre em pH 8,5 (Hartinger, 1994). Os sólidos são separados da fração líquida por sedimentação e posterior filtração (Foldes, 1995; Glayman e Farkas, 1980). O sólido gerado (lodo) é classificado como perigoso, segundo a NBR 10004 (ABNT, 1987).

O controle do sistema de tratamento garante a segurança no cumprimento da legislação, reduz os prejuízos financeiros e danos à imagem, decorrentes de possíveis multas e infrações. O controle ambiental é parte essencial para o desenvolvimento de medidas que assegurem a proteção ambiental (El-Fadel *et al*, 2001). O monitoramento das atividades subsidia a avaliação da qualidade ambiental, tanto pelas empresas quanto pelo Órgão Fiscalizador das atividades industriais. Uma base de dados precisos possibilita a construção e o aprimoramento de legislações direcionadas à proteção ambiental.

Nos procedimentos de licenciamento de indústrias de maior porte e grande potencial poluidor, a FEPAM controla a qualidade dos despejos líquidos lançados nos corpos hídricos do Estado. Esse controle é realizado pelo SISAUTO - Sistema de Automonitoramento (FEPAM, 2002). Os boletins de automonitoramento consistem nos resultados de análises efetuadas pela própria empresa. A periodicidade do envio ao Órgão Ambiental é determinada na etapa do licenciamento ambiental. Estas informações são checadas eventualmente, *in loco*, pelo Órgão Ambiental. A frequência da fiscalização

também se relaciona com o impacto causado pela atividade industrial e com o porte da empresa. Quanto maior for o impacto ambiental da atividade e o porte da empresa, maiores são as exigências feitas pelo Órgão Ambiental (Soares, 2003a; Soares, 2004).

2.2 Sistema Ambientalmente Correto ou Pró-Ativo

A figura 3 mostra a condução de um processo considerado ambientalmente correto, no qual evidencia-se a preocupação com o gerenciamento de forma a minimizar, tratar e dispor adequadamente os resíduos aumentando a eficiência no uso de matérias-primas e energia. As práticas limpas, consideradas adequadas ambientalmente exigem um repensar de rotinas, sob a ótica da prevenção da geração de resíduos, especialmente os perigosos.

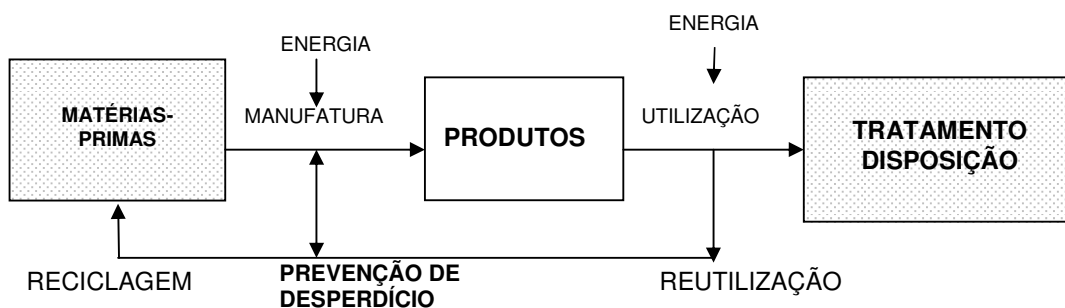


Figura 3 – Representação de Sistema de Produção Pró-ativo

O estabelecimento de estratégias preventivas² para redução dos efeitos da poluição exige que as empresas realizem o diagnóstico de sua situação ambiental. A identificação dos impactos ambientais significativos fornece informações que permitem modular a atividade produtiva, preservando a qualidade ambiental. Zobel e Burman (2003) enfatizam que as organizações devem considerar, para determinar os impactos ambientais, aspectos relativos a emissões aéreas, despejos líquidos, gestão de resíduos e contaminação do solo, além de aspectos relacionados diretamente com as suas atividades, produtos e serviços. A análise de todas as atividades decorre de um conhecimento profundo dos produtos, processos e serviços, podendo resultar em um aumento da eficiência da organização (Verschoor e Reijnders, 1999).

² Segundo Heck (2003), prevenção consiste em tomar medidas visando evitar um dano previsível.

2.2.1 Estratégias de Redução e Tecnologias Alternativas

O processo competitivo e econômico está cada vez mais fundamentado no emprego de medidas que permitam minimizar o consumo de matérias-primas e insumos. Assim, as indústrias estão buscando caminhos para diminuir o volume de resíduos gerados com a implantação de estratégias de recuperação e reuso (EPA, 2002). Há inúmeras vantagens diretas e indiretas com a implantação de estratégias de recuperação. Hart *apud* Carlos *et al* (2003) afirma que o alcance da sustentabilidade está associado à estabilização ou redução da carga ambiental. O desenvolvimento sustentável, a prevenção e controle integrados da poluição são as palavras-chave para uma nova abordagem para a proteção ambiental.

Atualmente se considera indissociável dos conceitos de produtividade a minimização de efluentes e a racionalização do consumo de matérias-primas (CEPIS/OPS, 2002; NCDENR, 2004). São diversos os benefícios advindos da implantação de programas de reuso e reaproveitamento:

- redução dos custos de implantação e operação de estações de tratamento;
- possibilidade de aumentar a produção sem ampliar as instalações para tratamento de efluentes;
- aumento de produtividade e redução de perdas decorrentes da otimização do processo, da conscientização e do envolvimento dos funcionários.

Projetos voltados à redução, ao reuso ou à reciclagem, por exemplo, de água e de produtos químicos exigem uma visão de produtividade, em que a substância a ser recuperada deve ser vista como matéria-prima. Contribuindo para o desenvolvimento da visão de produtividade, Staniskis e Stasiskiene (2003) apresentam os aspectos-chave para o entendimento do processo de integração entre meio ambiente e o crescimento econômico:

- compreender o meio ambiente e o processo que o afeta através da identificação na origem das prováveis fontes de degradação ambiental, suas conseqüências e os custos de redução, como um fundamento para políticas efetivas;
- desenvolver indicadores de *performance* ambiental a serem aplicados nas políticas locais, regionais e nacionais;
- usar informações ambientais para melhorar as regulamentações públicas e privadas nas decisões a tomar;
- gerenciar o meio ambiente através da compreensão para construção, acumulação e disseminação desse entendimento, melhorando o setor ambiental privado e ampliando os modelos de políticas públicas para incluir as variáveis ambientais.

A implantação de estratégias de reuso de água implica adaptações para a segregação das correntes de efluentes geradas, tratamento, e, se

necessário, armazenamento para, posteriormente, serem reutilizadas. Esta medida pode acarretar a necessidade de investimento econômico significativo.

O potencial de redução de consumo de água, através de medidas de recirculação e reutilização, é variável devido à multiplicidade de soluções que podem ser implementadas. Depende também do volume gerado nos processos e do respectivo grau de contaminação, pois a qualidade física, química e biológica deve ser compatível com a requerida para os novos fins a que a água tratada se destina. A implantação de estratégias de reuso requer informações precisas sobre as vazões e características dos pontos de entrada e saída de água e das diferentes correntes geradoras (Costanzi e Daniel, 2002) (Quadro 1).

Quadro 1 – Medidas para Fechamento de Ciclos de Água

MEDIDAS	CONTROLES IMPORTANTES
DETERMINAÇÃO DOS PONTOS DE ENTRADA D'ÁGUA	Vazões e características de qualidade
DETERMINAÇÃO DOS PONTOS DE DESCARTE	Vazões e características físico-químicas
SEGREGAÇÃO DAS CORRENTES DE EFLUENTES E ÁGUAS	Vazões e características de qualidade

Fonte: Costanzi e Daniel, 2002.

As duas primeiras ações apresentam grande dificuldade de implementação, porque a maioria das indústrias não possui controle de vazão nos pontos de entrada e saída de água (Costanzi e Daniel, 2002). Os autores complementam que a terceira etapa é fundamental nas mudanças de processo, pois a segregação das correntes evita a interferência dos subprodutos do tratamento na qualidade do produto final. Geralmente a implantação de estratégias de reuso é motivada pelos altos custos de tratamento e pela escassez de recursos naturais.

Manutenções regulares e operadores treinados ajudam a assegurar a eficiência e a otimização dos sistemas de recuperação. É importante operar os sistemas de recuperação com os mesmos cuidados que os banhos de recobrimento.

A mudança de tecnologia que possibilite recuperação de matérias-primas e reuso de água deve considerar o impacto ambiental referente a questões como substâncias incorporadas aos produtos, sistema de produção, emissões e efeitos à saúde relativos ao uso destes produtos, ciclo de vida, possibilidades de reuso, geração de resíduos, etc. (Ropke, 2001). A viabilidade técnica deve ser considerada antes da econômica para um melhor planejamento quanto à gestão ambiental da indústria (Costanzi e Daniel, 2002).

Diferentes tecnologias têm sido aplicadas para reuso de água e produtos químicos em processos galvânicos. As tecnologias de membranas têm se destacado para recuperação de águas e metais provenientes do processo galvânico e como tratamento alternativo para o tratamento de efluentes líquidos. Em especial, os processos de osmose reversa, eletrodialise e

microfiltração (Foldes, 1995; Glayman e Farkas, 1980; Metcalf e Eddy, 1991). A recuperação de metais por troca iônica também é bastante aplicada, eficiente e flexível.

O sistema de osmose reversa (RO) retém quase todos os sólidos dissolvidos presentes nas águas de lavagens. O sistema é constituído por uma coluna contendo a membrana semipermeável, sob pressão maior que a osmótica. A membrana permite a passagem das moléculas de água, restando os sais metálicos e aditivos.

As substâncias retidas podem ser recuperadas e retornar aos banhos para reuso, e a água pode ser usada para reposição. A osmose reversa apresenta melhor *performance* com soluções diluídas, com uma razão de recuperação em torno de 95% (EPA, 2002). A desvantagem dessa tecnologia é a obstrução dos poros da membrana devido à precipitação de sólidos presentes.

O sistema de troca iônica também proporciona o reuso da água tratada. É um processo em que os íons da solução são removidos a partir de uma reação de substituição com uma resina. Cada resina tem uma capacidade máxima para recuperação de íons. A possibilidade de regeneração da resina se constitui uma vantagem do processo, pois permite a recuperação da capacidade de troca.

Os contaminantes retidos na resina podem retornar aos banhos. O efluente resultante da regeneração, chamado eluato, deve ser encaminhado à estação de tratamento de efluentes, cujo volume é menor que o gerado nos processos convencionais, porém com maior concentração de metais (CETESB, 2002). A osmose reversa com pré-filtração e lavagem automática pode reciclar mais de 80% da água tratada. A recuperação de metal com troca iônica e osmose reversa combinadas, apesar do alto custo, é compensada pela eficiência do processo (Remco Engineering, 2002).

A eletrodialise é um processo alternativo para o tratamento de efluentes e recuperação de água e metais, no qual membranas íon-seletivas proporcionam a separação dos íons de uma solução aquosa, sob ação de um campo elétrico de corrente contínua. As membranas são formadas por uma delgada lâmina de material polimérico com características aniônicas ou catiônicas. Os sólidos dissolvidos movem-se através das membranas, não o solvente.

As unidades são similares aos filtros prensa, alternando lâminas de membranas aniônicas e catiônicas e colocadas entre dois eletrodos. As soluções a serem recuperadas circulam pela célula. São usadas na indústria para a remoção de metais pesados, por exemplo, Ni^{2+} , Sn^{2+} , CrO_4^{2-} (Jassen e Koene, 2002). O processo requer baixa quantidade de energia e pode recuperar soluções bastante concentradas. Similarmente ao processo de troca iônica, as membranas usadas para eletrodialise são suscetíveis à obstrução e devem ser regularmente substituídas. Os efluentes galvânicos, por possuírem

alto teor de sólidos dissolvidos e baixo teor de matéria orgânica, mostram-se com características adequadas para serem tratados por eletrodialise (Arsand, 2001).

Outro processo usado para o tratamento final de efluentes é o de sorção, porém o alto custo dos materiais, muitas vezes, inviabiliza a implantação. Estudos usando macrófitas aquáticas têm sido uma alternativa para viabilizar o uso desta tecnologia. As macrófitas aquáticas, mesmo secas, têm capacidade de acumular íons de metais pesados (Costa *et al*, 2003a). Estas plantas têm a capacidade de suportar vários ciclos de sorção e dessorção, semelhante ao carvão ativado e às resinas de troca iônica.

O estudo realizado, em escala piloto, com efluentes contendo Zn, Ni e Cu, demonstrou ser uma alternativa simples, eficiente e econômica para o tratamento de efluentes oriundos do setor galvânico (Costa *et al*, 2003b). Costa *et al* (2003b) também realizaram estudos para determinar a viabilidade do uso de subprodutos do beneficiamento do carvão, como material alternativo para o polimento de efluentes industriais oriundos de processo galvânico.

Técnicas eletroquímicas podem ser uma alternativa valiosa para a proteção do meio ambiente integrando o tratamento dos efluentes e a minimização da geração de resíduos contaminados com compostos químicos tóxicos (Jüttner *et al*, 2000; Janssen e Koene, 2002).

A recuperação eletrolítica (ER) é a mais antiga técnica para reaproveitar metais. Esta tecnologia ainda possibilita o estabelecimento de estratégias de reuso para a água tratada. Os sistemas de recuperação eletrolítica apresentam maior eficiência com soluções concentradas e podem operar de forma contínua. O produto, na forma metálica, é o mais adequado para reuso e revenda. Os metais recuperados podem ser considerados como matérias-primas (EPA, 2002). A maior desvantagem é o alto custo de energia, que pode variar com a eficiência do processo e com as taxas locais das utilidades.

A evaporação é uma técnica amplamente utilizada para recuperar sais metálicos e água das soluções. O uso de evaporadores a vácuo proporciona vantagens econômicas e ambientais. Nesse sistema, as águas são concentradas por meio de destilação. A água destilada pode ser reaproveitada no processo, e o concentrado retorna para o respectivo banho, a fim de manter a concentração ideal. Quando operados adequadamente, os evaporadores podem alcançar uma razão de recuperação de 99% dos metais presentes (EPA, 2002). Evaporadores à pressão atmosférica são os mais comuns e menos dispendiosos. São também bastante usados para recuperar águas de lavagem e de banhos de recobrimento.

3 Estratégias de Gestão Ambiental

Novas situações do ambiente institucional passaram a dirigir as estratégias ambientais das empresas, tais como investidores e acionistas, que estariam interessados em correlações positivas entre *performance* econômica

e ambiental; bancos, que estariam associando *performance* ambiental ruim a risco financeiro mais elevado e associações comerciais, educacionais e religiosas, que passaram a institucionalizar determinadas demandas ambientais. Os diferentes *stakeholders*³ perceberam que este novo cenário tem contribuído para a melhoria de uma vasta extensão de impactos ambientais (Corbett e Pan, 2002).

Estratégias ambientais ou ecoestratégias consistem em medidas implantadas para reduzir o consumo de matérias primas, água, energia e a geração de resíduos melhorando a produtividade, a lucratividade, a competitividade e a imagem perante os *stakeholders* com mais economia, satisfação do cliente e qualidade ambiental.

A gestão sustentável pressupõe uma abordagem que tenha como referência o princípio dos 3 Rs, apresentado na Agenda 21⁴. O princípio constitui-se de estratégias para diminuir a exploração de recursos naturais e o impacto ambiental das diversas atividades relacionadas com a vida em sociedade. Redução envolve atividades e medidas para evitar o descarte de resíduos. Reutilização consiste no reaproveitamento antes do descarte ou da reciclagem. Reciclagem é a forma de reaproveitar os resíduos gerados ou parte destes, no mesmo ou em outro processo produtivo.

A hierarquia dos Rs segue o princípio de evitar a geração, posteriormente a reutilização ou reuso, para e, por último, a reciclagem (Figura 4). Portanto, é preciso inverter a pirâmide, o que significa colocar em prática a desejável política dos “3 Rs” (Reduzir, Reusar e Reciclar) e não continuar produzindo e gerando mais resíduos, deixando que “alguém” assuma a responsabilidade de tratar e dispor adequadamente (Pereira e Tocchetto, 2004b). A geração de resíduos representa perdas no processo, ineficiência produtiva e custos ambientais de gerenciamento. Por esta razão o estabelecimento de estratégias de prevenção vai ao encontro dos princípios de proteção ambiental e de sustentabilidade.



Figura 4 – Pirâmide do Consumo Sustentável – Prática dos 3Rs

³*Stakeholders* são grupos de consumidores, fornecedores, empresas concorrentes, funcionários, meios de comunicação, judiciário, legisladores, público em geral, autoridades públicas, organizações não governamentais (ONGs) que influenciam no gerenciamento das corporações (Hibbit e Kamp-Roelands, 2002).

⁴A Agenda 21 é um programa de ações para o qual contribuíram governos e instituições da sociedade civil de 179 países, que constitui a mais ousada e abrangente tentativa já realizada de promover, em escala planetária, um novo padrão de desenvolvimento, conciliando métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica (Ambientebrasil, 2004).

A implantação de estratégias ambientais nas empresas é determinada por diversos fatores. Lau e Ragothaman *apud* Souza (2003) identificaram que os principais fatores, em ordem de importância, são regulamentações ambientais, reputação das organizações, iniciativas da alta administração e demanda dos consumidores. Ainda apontaram que a redução de custos e o aumento de lucros são fatores significativos para a implantação de estratégias ambientais. Outro estudo verificou que as ações ambientais concentram-se na modernização dos sistemas de controle da poluição e são frutos das crescentes exigências regulatórias (Neder *apud* Souza 2003).

No Brasil, o CNI/BNDES/SEBRAE, em 1998, realizou uma pesquisa que buscou avaliar a gestão ambiental na indústria brasileira (Souza, 2003). De acordo com os resultados, as exigências das legislações figuram entre as principais razões para a adoção de práticas ambientais. Outros fatores também são significativos para implantação de estratégias de gestão, como redução de custos e melhoria da imagem da empresa. Pesquisa realizada em grandes empresas com atividade galvânica do Rio Grande do Sul comprovou que a legislação ambiental é o principal fator motivador para a implantação de medidas de gestão ambiental, seguido dos custos ambientais (Tocchetto, 2004).

Meredith *apud* Passos e Câmara (2003) sugeriu uma escala de evolução das atitudes em relação ao meio ambiente. Esta escala começa com a estratégia reativa, passa por um estágio intermediário, denominado estratégia ofensiva, e termina com a estratégia inovativa. Na estratégia reativa, as empresas concentram suas ações no atendimento mínimo e relutante da legislação ambiental e no gerenciamento mínimo de seus riscos. Não há evidências de modificações nos processos e produtos, atendo-se apenas à incorporação de equipamentos de controle de poluição nas saídas dos seus efluentes para o meio ambiente (fim de tubo).

A percepção dessas empresas baseia-se na proposição de que não há oportunidade de mercado para compensar os aumentos de custos devido ao ingresso da dimensão ambiental. A dimensão ambiental é vista como uma ameaça, não havendo, portanto, integração entre o meio ambiente e as unidades estratégicas de negócio. As decisões quanto às soluções dos problemas ambientais só atingem o nível de estratégia funcional e são tomadas na base da determinação. Este é o mais baixo estágio da classificação das estratégias ambientais, no qual a gestão ambiental das organizações é orientada à conformidade.

Na estratégia ofensiva, segundo estágio da classificação, os princípios básicos adotados pelas empresas são a prevenção da poluição, a redução do uso de recursos ambientais e o cumprimento além das leis. Verificam-se mudanças nos processos, produtos e serviços, seleção de matérias-primas, alterações na embalagem e estabelecimento de padrões industriais, antes que os concorrentes o façam.

Na estratégia inovativa, as empresas se antecipam aos problemas ambientais e, pela sua capacidade de resolução dos problemas, fortalecem a posição de mercado. A excelência ambiental torna-se condição para o sucesso dessas empresas que buscam a integração entre a excelência ambiental e os negócios, a partir do desenvolvimento e da comercialização de novos produtos com a introdução de princípios de ciclo de vida.

O princípio básico adotado é o acoplamento total e sinérgico entre estratégias ambientais e de negócio, de tal forma que elas se tornam quase indiferenciáveis. A integração da variável ambiental ocorre ao nível do gerenciamento ambiental estratégico, considerado função da administração e questão de mercado, em um quadro de alta ameaça e oportunidade. A questão ambiental é incorporada às estratégias empresariais mais gerais e torna-se um elemento importante de construção de vantagens competitivas duradouras.

As estratégias ambientais podem ser direcionadas aos processos e aos produtos. O primeiro foco das estratégias geralmente ocorre direcionado ao processo. Um processo considerado equilibrado ambientalmente deve estar próximo dos seguintes objetivos:

- poluição zero;
- nenhuma produção de resíduo;
- nenhum risco para os trabalhadores;
- baixo consumo de energia;
- eficiente uso de recursos.

Para saber quanto a empresa está próxima ou longe desses objetivos ideais, é necessário que ela faça uma estimativa de seu balanço ambiental, levando em consideração todas as entradas e saídas do processo produtivo.

Uma empresa ambientalmente amigável é definida não só pelas características do processo, mas também pelos produtos que fabrica. Os produtos são obtidos a partir de matérias-primas renováveis ou recicláveis, que não agridem o meio ambiente e são obtidas com baixo consumo de energia. São empresas engajadas na causa ambiental.

As iniciativas ambientais dirigidas para processos visam à minimização dos impactos ambientais dos processos e podem ocorrer de vários modos, seja usando ações de reciclagem ou de baixo impacto ambiental, redesenhando o processo de produção e/ou sistemas de distribuição ou reduzindo os resíduos. Estas iniciativas, portanto, incluem mudanças em processos organizacionais, assim como nos materiais usados na produção.

Permite, ainda, a redução de custos na organização pelo uso mais eficiente dos recursos, a redução do uso de materiais perigosos, evitando, assim, o risco de acidentes e os decorrentes custos de medidas punitivas, mitigadoras e/ou de limpeza, e a eliminação de passos desnecessários na

produção. Brockhoff e Chakrabarti *apud* Souza (2003) afirmam que estratégias direcionadas ao processo buscam geralmente soluções fim de tubo. Segundo Timoney e Lee (2001), as ações ambientais não podem estar separadas das decisões dos processos.

Já as iniciativas ambientais dirigidas ao produto podem ocorrer de dois modos: pela criação de novos bens e serviços ambientalmente saudáveis, ou pela redução do impacto ambiental dos bens e produtos existentes. Estão vinculadas a estratégias de diferenciação de produtos e podem ter efeitos importantes na renda da empresa, por tornar os seus produtos únicos aos olhos do consumidor.

O potencial destas iniciativas na melhoria da reputação é mais alto do que as dirigidas para os processos, pois aumentam a visibilidade pública da empresa, atingem um número maior de *stakeholders* e permitem a demonstração de responsabilidade social empresarial. São medidas que se caracterizam, geralmente, pela lucratividade. Os investidores, em geral, reagem mais favoravelmente a iniciativas dirigidas para produtos, possivelmente pelo maior efeito sobre a reputação, pois capacitam as empresas a alcançar estratégias de diferenciação ambientalmente sustentáveis.

O cerne da questão ambiental fundamenta-se na sustentabilidade, conforme o conceito encontrado no Relatório de Brundtland, ou seja, “satisfazer as necessidades das gerações presentes sem, contudo comprometer a sobrevivência das gerações futuras” (Frankenberg *et al*, 2003, p.30). Assim, o ordenamento jurídico através de normas reguladoras é capaz de reunir as forças necessárias para a conscientização da sociedade em geral na busca da sustentabilidade (d’Ornellas, 1997).

3.1 Prevenção e Ecoeficiência

É melhor prevenir evitando a geração, do que remediar. A técnica de prevenção é de especial interesse para a indústria, pois permite eliminar ou reduzir a geração, reciclar e evitar tratamentos e disposições caríssimas que muitas vezes envolvem riscos. A prevenção exige planejamento criterioso, criatividade, mudança de atitude, investimentos em equipamentos e mão-de-obra, e o mais importante, desejo real de enfrentar e resolver o problema (Tocchetto, 2003).

Estratégias de reuso, de recuperação e de redução possibilitam a prevenção do impacto ambiental do processo, reduzindo a geração de resíduos e racionalizando o consumo de recursos naturais. A medida que a prevenção vai sendo priorizada no processo, a reciclagem externa vai diminuindo ou sendo eliminada. Tecnologias de prevenção da poluição têm sido defendidas por oferecerem um potencial seguro para modificar operações de manufatura

em direção ao desenvolvimento sustentável e à melhoria da *performance* ambiental (Lewis *apud* Corbett e Pan, 2002).

A busca por alternativas que minimizem os impactos negativos da atividade produtiva tem motivado o setor industrial em investir em soluções que também se refletem em economia e melhoria da competitividade. A adoção de estratégias de prevenção apresenta-se como a alternativa mais adequada, porém importantes padrões, modelos de comportamento, crenças e práticas institucionalizadas devem ser modificados. Muitos paradigmas consolidados na estrutura das empresas devem ser substituídos.

Uma menor geração na fonte pode ser conseguida através de técnicas de reciclagem, reaproveitamento interno ou atitudes organizacionais. A redução da geração de resíduos é uma metodologia que está intimamente relacionada com os conceitos de tecnologias limpas. A implantação destas tecnologias implica, quase sempre, em modificar o processo produtivo e/ou os produtos, por este motivo a simples implantação das tecnologias não assegura a prevenção e/ou a redução de resíduos. Não se considera minimização, no entanto, a concentração de resíduos apenas para reduzir seu volume, sem a correspondente redução de sua toxicidade ou alternativas de disposição no solo. Da mesma forma, como não é razoável diluir um resíduo somente para atingir concentrações inferiores aos limites legais.

A integração entre Qualidade e Meio Ambiente possibilita a ecoeficiência⁵ das instalações, ou seja, a substituição da antiga visão fim de tubo por procedimentos que levam a prevenção dos impactos à saúde e ao meio ambiente. Essa estratégia visa prevenir a geração de resíduos, em primeiro lugar, e ainda minimizar o uso de matérias-primas e energia. Os setores críticos das instalações são os alvos para a introdução destas modificações constituindo-se, quase sempre, em soluções suficientes para a maioria das indústrias. Essa maior eficiência resulta, naturalmente, em redução de desperdícios e, conseqüentemente, em menor geração de resíduos, racionalização dos recursos naturais, aumento da produtividade e desenvolvimento econômico e social.

Nesse contexto, considerando uma visão holística do sistema de produção, o desenho do produto tem grande importância, pois leva em conta que um dia este se tornará resíduo. O projeto deve prever a futura desmontagem facilitando a recuperação ou reciclagem. A adoção de medidas neste sentido, independe de regulamentações e acordos, reflete a responsabilidade do setor industrial. Para assegurar a Qualidade Ambiental devem-se prever o ciclo de vida do produto, já na fase de concepção, identificando as matérias-primas e o desenvolvimento do respectivo processo produtivo, as soluções para os resíduos gerados através do gerenciamento dos mesmos e da produção passando assim, a ser tratados de forma integrada, abandonando a antiga forma de gestão “fim de tubo”.

⁵ Ecoeficiência significa aplicar, de forma contínua, estratégias ambientais aos processos e produtos, a fim de reduzir riscos ao meio ambiente e ao ser humano (PNUMA, 1987).

O **ciclo de vida completo**, do “berço a cova”, é uma das ferramentas cuja incorporação no processo produtivo leva as empresas a compreender o sistema de produção de uma forma holística (Nagel, 2002). Consiste em compreender as três fases da produção: manufatura, uso e reciclagem (Figura 5). O conceito se implantou durante a década de 70 em consequência do impacto ambiental e social de outras metodologias. A análise do ciclo de vida completo – ACV - requer a quantificação de energia e dos resíduos que são gerados na concepção, produção, distribuição e utilização, bem como os impactos ambientais da sua reciclagem ou da sua gestão até o término da vida.



Figura 5 – Ciclo de Vida de Produtos
Fonte: Bristol, 2003

Os objetivos da análise do ciclo de vida são:

- Prevenção da poluição;
- Conservação dos recursos naturais;
- Sustentabilidade dos ecossistemas;
- Maior rentabilidade econômica.

A introdução do conceito de ciclo de vida no sistema de produção, além possibilitar a prevenção dos impactos de processos e produtos, oferece uma resposta efetiva para atingir a sustentabilidade. Outras metodologias também permitem a introdução de estratégias preventivas, como, por exemplo, *Waste Minimization*, *Best Available Techniques* – BAT, Descarte Zero, Produção Limpa, Produção Mais Limpa e Tecnologias Limpas.

Waste Minimization ou simplesmente, Minimização consiste na redução do uso de matérias primas, de energia e insumos em geral, além da geração de resíduos. Esta prática exige planejamento criterioso, criatividade, mudança de atitude, investimentos em equipamentos e mão-de-obra e o mais importante, desejo real de enfrentar e resolver o problema. Através da minimização é possível reduzir custos de tratamento e disposição dos resíduos,

economizar em transporte e armazenamento, reduzir prêmios de seguros e diminuir gastos com segurança e proteção a saúde.

Além destes fatores, as práticas de minimização têm se mostrado economicamente vantajosas já que oferecem uma possibilidade de redução de custos de destinação associada à alteração qualitativas e quantitativas dos resíduos e obtenção de receita pela comercialização dos produtos obtidos no tratamento e/ou separação dos resíduos. Os resíduos sem gerenciamento acarretam enormes passivos ambientais exigindo técnicas de remediação para recuperar estas áreas degradadas, acarretando gastos volumosos para resolver um problema de forma pontual.

Segundo o IPPC (2004), o termo “**Best Available Techniques**” – **BAT**, (Melhores Técnicas Disponíveis) corresponde ao mais avançado e eficiente estágio de uma atividade e procedimento. Indica a forma sustentada de uma determinada prática, a fim de promover os princípios básicos da prevenção, definindo limites de emissão e promovendo a redução de emissões e de impactos. “Técnicas” incluem a tecnologia usada e o caminho, no qual a instalação é definida, construída, mantida e operada. “Disponível” são técnicas desenvolvidas numa escala em que seja possível a implementação, de acordo com condições técnicas e economicamente viáveis, levando em consideração os custos e vantagens. “Melhor” significa mais eficiente, ou seja, alcançar com êxito um alto nível de proteção do meio ambiente.

Especificamente para o setor industrial é importante considerar os seguintes aspectos:

- o impacto ambiental da unidade desde o estágio de projeto até a desativação;
- desenvolvimento e uso de tecnologias limpas;
- aplicação de referenciais, buscando a eficiência de uso e a conservação de energia, escolha de matérias-primas menos tóxicas, e a redução de emissões gasosas, descartes para água, consumo de água e geração de resíduos.

Fechamento de ciclo ou descarte zero combina estratégias de otimização do processo e tecnologias para recuperação de perdas, como membranas, troca iônica e/ou técnicas de eletrólise. O fechamento de ciclo é recomendado especialmente para os processos de revestimento metálico tipo, cádmio cianeto, cobre ácido, níquel eletrolítico e cromo hexavalente (Cleaner Germany, 2004). As tecnologias “descarte zero” são importantes não somente na eliminação de conseqüências adversas ao meio ambiente, mas na questão prática ao estabelecer uma linha base de investimentos, relativa ao custo aproximado da poluição.

Produção Mais Limpa é reconhecida por possibilitar o uso de estratégias para o aproveitamento eficiente dos recursos naturais e para a minimização de resíduos, poluição e riscos a partir da fonte de origem (Staniskis e Stasiskiene, 2003). Significa perseguir o objetivo de causar o

menor impacto possível sobre o meio ambiente, com produtos e processos, desde a obtenção da matéria-prima até o descarte, incluindo, também, a reciclagem e o reaproveitamento de peças e outros materiais.

Segundo Furtado *et al* (1998), a Produção Mais Limpa introduz medidas de redução e minimização que previnem os efeitos adversos provocados pelos efluentes e resíduos gerados. A empresa que começa a se preocupar com questões ambientais e adota estratégias de Produção Mais Limpa começa a usufruir um processo de “melhoria contínua” que propicia o surgimento de inovação em todos os sentidos (processo, produto e gerencial). Estas inovações facilitam o alcance da competitividade (Lemos e Nascimento, 2002).

Tecnologias Limpas se constituem em ferramentas fundamentais para a implantação de um sistema de produção dentro das bases da Produção Limpa. Técnicas eletroquímicas, considerando o setor galvânico, podem ser uma alternativa valiosa para a proteção do meio ambiente, através do tratamento dos efluentes integrado ao processo de produção para a minimização de resíduos e compostos tóxicos, Jüttner *et al* (2000). Segundo os mesmos autores, a vantagem desta tecnologia está no fato do reagente principal ser o elétron que é um “reagente limpo”, cuja estratégia inclui o tratamento de efluentes, resíduos e o desenvolvimento de novos processos e produtos.

4 Planejamento Ambiental

Planejamento consiste num processo contínuo que envolve decisões ou escolhas acerca de um determinado sistema, atividade ou necessidade, determinando um conjunto de intervenções e outras ações a serem empreendidas para alcançar as metas definidas. As decisões no processo classificam-se de acordo com os critérios

- natureza das metas (água, resíduos, substâncias tóxicas, ETE, etc);
- âmbito (saúde, recursos naturais, industrial, etc);
- escala (processo, departamento, unidade, global);
- nível operacional (integrado, setorial, projeto, programa).

O planejamento ambiental é composto pelas seguintes etapas

- definição do âmbito e finalidade da decisão;
- definição de objetivos;
- organização;
 - estrutura organizacional (recursos, tempo, equipe de planejamento);
 - elaboração do plano de trabalho (estratégia metodológica, cronograma temporal, delimitação da área de estudo, escalas);
 - modelo geral (definição de fatores e parâmetros indicadores e suas interações).
- diagnóstico;

- levantamento de dados primários e secundários;
- análise e avaliação do *pool* de informações;
- diagnóstico integrado;
- proposição e avaliação de alternativas;
- seleção e escolha de alternativas (tomada de decisão);
- instrumentação da gestão;
 - sistema de gestão
 - definição da estratégia;
 - elaboração de planos, política, programas, projetos e cronograma.
- Implementação, monitoramento e controle (avaliação contínua).

A construção de um Sistema de Gestão consiste na integração dos processos de planejamento ambiental, de análise e de diagnóstico (Figura 6).

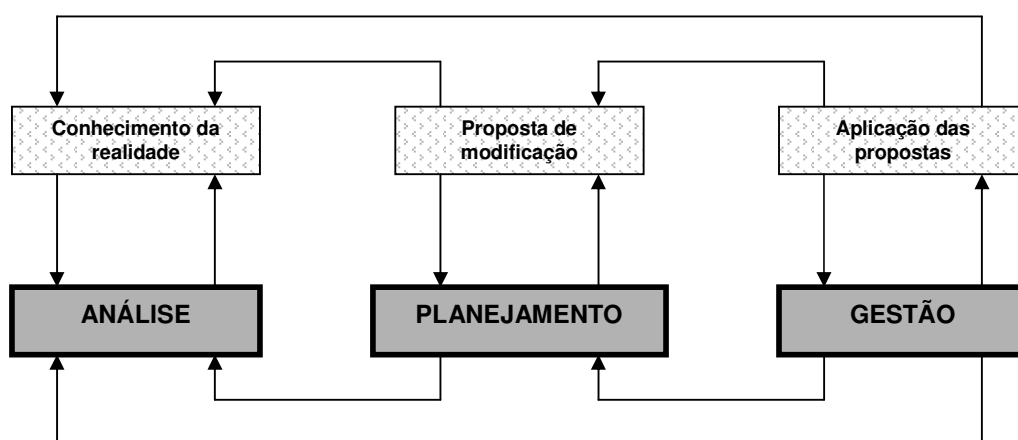


Figura 6 – Representação de um Sistema de Gestão

5 Avaliação Ambiental

A avaliação ambiental torna-se cada vez mais valiosa e importante, pois fornece bases para a formulação de políticas, planos e projetos que permitem o manejo dos riscos e impactos das atividades produtivas. O diagnóstico da situação ambiental consiste em uma análise profunda de todos os impactos dos processos, serviços e produtos. A identificação dos impactos significativos fornece informações que permitem modular a atividade produtiva, sem reduzir a qualidade ambiental, aumentando a ecoeficiência da organização.

A falta de registros, pela maioria das empresas, relativa a atividade desenvolvida, no que tange às entradas e saídas de insumos, de consumo de água, de matérias primas, de energia, de geração de efluentes e resíduos, por exemplo, também dificulta, a implantação de medidas que poderiam melhorar o desempenho ambiental das mesmas. A ausência de informações desta natureza contribui para que as empresas desconheçam seus custos ambientais e para a manutenção da visão de que investimentos em medidas de proteção

não significam ganhos, mas em aumento de custos operacionais e em redução da competitividade.

Um maior conhecimento a respeito da atividade produtiva desenvolvida, como do impacto ambiental permite o estabelecimento de indicadores que podem ser usados para modular as intervenções no processo, bem como para a efetivação de mudanças que possibilite a melhoria contínua de desempenho ambiental (Tocchetto e Pereira, 2004a). A dificuldade para o estabelecimento de indicadores de desempenho é um problema das indústrias a nível mundial. A subjetividade deste processo é aumentada pelas dificuldades existentes na determinação dos impactos significativos e devido ao monitoramento precário ou inexistente ocasionado pela falta de conhecimento do processo, produtos e serviços, como um todo.

Assim, uma escolha equivocada de indicadores irá refletir-se de igual forma, na avaliação do desempenho ambiental das empresas, podendo resultar na adoção de medidas inócuas, na implantação desnecessária de equipamentos ou em intervenções equivocadas no processo e no sistema de gestão. Acredita-se que as empresas ainda desconhecem os benefícios do uso dos indicadores de desempenho, como ferramenta de gestão para o planejamento ambiental, a fim de aumentar a produtividade, melhorar a competitividade e a qualidade ambiental, garantir a sustentabilidade da atividade produtiva.

Segundo Corbett e Pan (2002), há dificuldade, por parte das empresas, em trabalhar com os dados de monitoramento. Muitas vezes, mesmo tendo detalhado os dados de *performance* de processos, não sabem usá-los para o controle ou estabelecem metodologias inadequadas para a avaliação. O monitoramento da eficiência dos tratamentos implantados, sejam convencionais ou alternativos, permite o planejamento de ações que visa um melhor desempenho.

O processo de avaliação do desempenho ambiental é cercado de grande subjetividade, devido à ausência de padronização para a definição de parâmetros. A escolha dos indicadores de desempenho está relacionada com a percepção ambiental das empresas a respeito do impacto das atividades desenvolvidas, dos produtos e serviços. Whitelaw *apud* Zobel e Burman (2003) explica que esta dificuldade é devido à não existência de uma medida universal para avaliar comparativamente os diferentes aspectos ambientais.

Indicadores são medidas diretas ou indiretas de qualidade ambiental. Os indicadores servem tanto para medida de programas específicos de gestão quanto para subsidiar discussões na sociedade sobre uma dada situação do meio ambiente (Environmental indicators, 2003). Verschoor e Reijnders (2001) afirmam que a avaliação de desempenho deve compreender a medida da *performance* do processo e a qualidade dos produtos, além dos custos e também os riscos: de processo, de produto e resultantes das decisões de substituição.

Os indicadores ambientais são ferramentas de gerenciamento, monitoramento e de comunicação entre ambientes e pessoas. Eles devem refletir a respeito de alterações, no que se refere à produtividade, à resiliência, à estabilidade e à equidade (Marques *et al*, 2003). A escolha dos indicadores é importante para a elaboração de diagnósticos e também para o monitoramento de processo ao longo do tempo, auxiliando a tomada de decisão nas intervenções quando requeridas.

Não existem indicadores universais. Cada sistema, considerando seus elementos, terá seu conjunto específico que deve ser eficiente e não-exaustivo. Eficiente no sentido de cumprir as condições descritas, sensíveis e com boa base estatística, principalmente quando utilizados para monitoramento a longo prazo. Não exaustivo porque o número de indicadores deve ser o menor possível, porém que represente de forma mais completa o que se quer mensurar (Marques *et al*, 2003). Os mesmos autores, citando Toews, mencionam que os indicadores devem ser:

- aplicáveis a um maior número de sistemas;
- mensuráveis e de fácil medição;
- de fácil obtenção e baixo custo;
- concebidos de tal forma que os próprios operadores possam medir;
- sensíveis às mudanças do sistema e capazes de indicar tendências;
- representantes dos padrões de qualidade dentro dos princípios de sustentabilidade.

O WBCSD desenvolveu um conjunto com sete componentes a partir dos quais as empresas podem avaliar e melhorar a ecoeficiência (Lehni *apud* Daroit, 2001):

- reduzir uso de materiais em bens e serviços;
- reduzir uso de energia em bens e serviços;
- reduzir ou eliminar dispersão de substâncias tóxicas;
- elevar o índice de reciclabilidade de materiais;
- maximizar o uso de recursos naturais renováveis;
- aumentar durabilidade do produto;
- utilizar mais adequadamente bens e serviços.

A seleção de indicadores serve para verificar a eficiência das ações implementadas e ainda permitirá compará-las com as empresas concorrentes. A avaliação ambiental se tornou mais valiosa e importante do que nunca: esse instrumento oferece as bases para a formulação de políticas e planos que levam em consideração os potenciais e restrições naturais, permitindo o manejo dos riscos e impactos de atividades, e projetos de desenvolvimento (Rodrigues, 1998).

O uso de indicadores de desempenho em indústrias em atividade de alto impacto ambiental, como a galvânica, apesar de não existir um conjunto universalmente aceito para o setor, possibilita a identificação de oportunidades para reduzir a poluição e a implantação de estratégias preventivas conduzindo à melhoria contínua do sistema de gestão e da *performance* ambiental.

III SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL – SGA

Sistema de gestão ambiental representa uma mudança organizacional voluntária dentro da empresa, motivada pela internalização ambiental e externalização de práticas ambientais que integram o ambiente e a produção, as quais identificam oportunidades para reduzir a poluição e capacitam a empresa a estabelecer melhoria contínua do sistema de produção e da sua *performance* ambiental (Khanna e Anton, 2002).

Um SGA articula metas e objetivos em um conjunto de práticas ambientais (PGAs). Implementar estas metas é assumir responsabilidades, prover recursos, treinamento e incentivos aos funcionários (Khanna e Anton, 2002). A Figura 7 mostra a inter-relação entre os passos de implementação do SGA e a busca pela melhoria contínua.

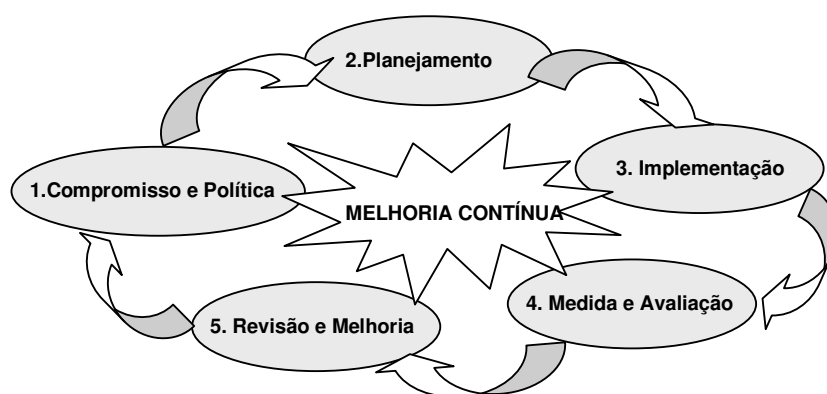


Figura 7 - Sistema de Gestão Ambiental - Modelo ISO 14000

Fonte: Adaptação de Nagel, 2002.

Os principais motivos para uma empresa implantar um sistema de gestão ambiental são (Moreira, 2001):

- barreiras à exportação;
- pressão por parte de um cliente significativo;
- pressão por parte da matriz;
- pressão da concorrência;
- percepção de riscos.

A mesma autora conclui que a maior motivação não está nos benefícios que podem ser obtidos com a implantação de um sistema de gestão, mas depende de exigências externas à empresa. Carrera e Iannuzzi *apud* Corbett e Pan (2002) destacam que muitas companhias não possuem registros ou sequer medem seus custos ambientais, portanto, desconhecem seus reais custos. Este desconhecimento contribui para a continuidade da visão de que investimentos em medidas ambientais aumentam custos das empresas e reduzem a produtividade (Porter e Linde, 1995).

1 Princípios Gerais do SGA

Os princípios de gestão ambiental incluem vários elementos comuns (Gilbert, 1995):

- Declaração de políticas que indiquem um comprometimento geral da organização com a melhoria do desempenho ambiental, incluindo a conservação e a proteção de recursos naturais, minimização de resíduos, controle da poluição e melhoria contínua;
- Conjunto de planos e programas para implementar as políticas em toda organização, incluindo a extensão do programa a fornecedores e clientes;
- Integração dos planos ambientais no dia-a-dia operacional da organização,
- desenvolvendo técnicas e tecnologias inovadoras para minimizar o impacto da organização sobre o meio ambiente;
- Medição do desempenho da gestão ambiental da organização, em relação aos planos e programas - auditorias, e análise do progresso em relação à adoção da política;
- Previsão de informações, educação e treinamento para melhorar a compreensão dos problemas ambientais, divulgando aspectos do desempenho ambiental da organização.

Todos esses princípios se combinam, para fornecer uma abordagem gerencial sistemática e estruturada ao desempenho ambiental.

2 Etapas de implantação do SGA

Primeira etapa: Definição da Política Ambiental
Segunda etapa: Elaboração do Plano de Ação
Terceira etapa: Implantação e Operacionalização
Quarta etapa: Avaliação Periódica
Quinta etapa: Revisão do SGA

Definição da Política Ambiental

- Constitui-se na declaração de princípios e intenções da empresa em relação ao seu desempenho ambiental, e que devem nortear o

planejamento de ações e o estabelecimento de seus objetivos e metas ambientais (ISO 14001)

Elaboração do Plano de Ação

- deve ser elaborado para que a empresa viabilize os seus objetivos e metas estabelecidos;
- cronograma de implantação;
- recursos necessários;
- atribuições e responsabilidades.
- deve ser integrado ao plano estratégico da empresa.

Implantação e Operacionalização

- disponibilize os recursos necessários;
- integre os elementos do SGA;
- defina as responsabilidades;
- conscientize e motive os empregados;
- realize treinamentos;
- comunique-se;
- documente o SGA;
- mantenha o controle operacional;
- assegure resposta às emergências.

Avaliação Periódica e Revisão do SGA

- Avaliação
 - realize medições e monitoramentos;
 - implemente ações corretivas e preventivas;
 - mantenha um sistema de registro;
 - realize auditorias periódicas.
- Revisão
 - revise o Sistema de Gestão Ambiental;
 - implemente melhorias.

3 Elementos do SGA

Os principais elementos são

- **Comprometimento** da cúpula da organização. Essencial para o sucesso da aplicação de um sistema de gestão ambiental. A alta administração tem que estar disposta a apoiar e assumir tal sistema;
- **Revisão preliminar** que estabelece os dados de base do desempenho ambiental, as principais áreas de efeito ambiental e as oportunidades de melhoria;
- **Métodos** para compreender as exigências: procedimentos de efeitos ambientais, inclusive ferramentas para análise dos impactos ambientais das

atividades da organização, a fim de garantir que o sistema enfoque as áreas críticas a serem consideradas:

- Análise das conclusões ambientais do ciclo do produto: da compra de matéria-prima, passando pelo processo de fabricação, ao uso e descarte;
 - Avaliação dos impactos ambientais de projetos e dos empreendimentos em âmbito decisório, isto é, do comprometimento com a sua execução;
 - Um processo de comunicação da gestão ambiental que identifique as questões principais deste tema na organização como um todo, envolvendo as atividades de negócios e de pessoal;
 - Um método para identificação das exigências de regulamentação que devem ser cumpridas pela organização, em suas atividades, levando à definição de seus objetivos e metas ambientais.
- **Sistema da Qualidade Ambiental** serve de apoio e garante o cumprimento dos objetivos e metas de desempenho ambiental, definidos como resultado da análise dos efeitos e exigências da regulamentação específica. O sistema deve incluir: uma auditoria; procedimentos de revisão, que garantam que o sistema da qualidade ambiental e desempenho ambiental atendam as exigências, e um método de relato que informe aos interessados da organização as realizações alcançadas (Gilbert, 1995). Esses elementos em vigor, adequadamente documentados e implantados de acordo com um padrão reconhecido, permitirão à organização ter certeza de que o desempenho ambiental exigido está sendo cumprido.

3.1 Análise dos Elementos do SGA

Identificação das Fontes

- Análise do Processo- identificar entradas e saídas dos materiais, energia e água;
- Análise de fontes de resíduos e emissões- identificação das perdas;
- Balanço de massa e energia.

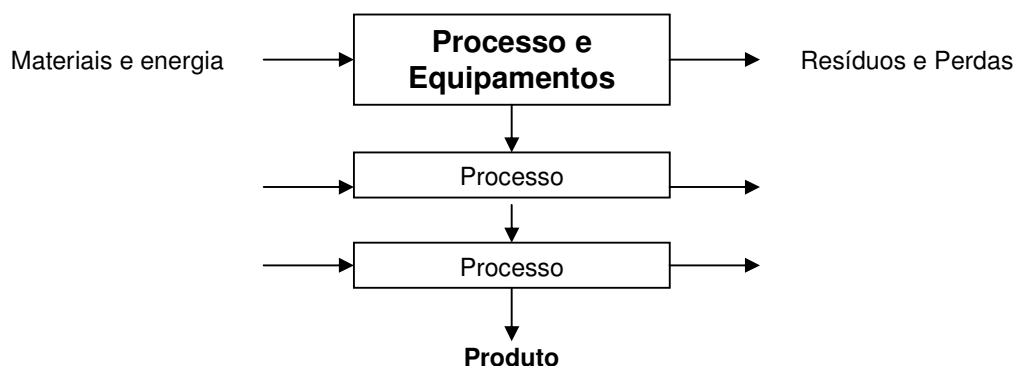


Figura 8 – Representação das Etapas para a Identificação das Fontes de Poluição

Análise das causas

- **Responder - Por que e Onde?**

- Resíduos Sólidos
- Efluentes Líquidos
- Emissões Gasosas

- **Impactos**

- Produtos
- Processos
- Matérias Primas
- Tecnologias e Equipamentos
- Operações

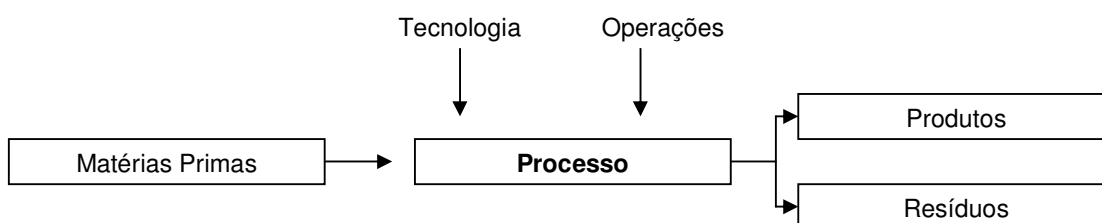


Figura 9 – Representação do Processo de Análise das Causas de Poluição

Análise de Opções

- Método – como encontrar as opções de mudança (Produção Mais Limpa, Melhores Técnicas Disponíveis, Boas Práticas Operacionais, etc.).
- Procedimento – como organizar as modificações (Tecnologias Limpas, estrutura organizacional, *layout*, etc.)
- Gerar indicadores de avaliação de desempenho – legislação, padrões internos, histórico;
- Priorizar Opções - viabilidade técnica e econômica;
- Orientação – como aprender e sustentar as modificações.

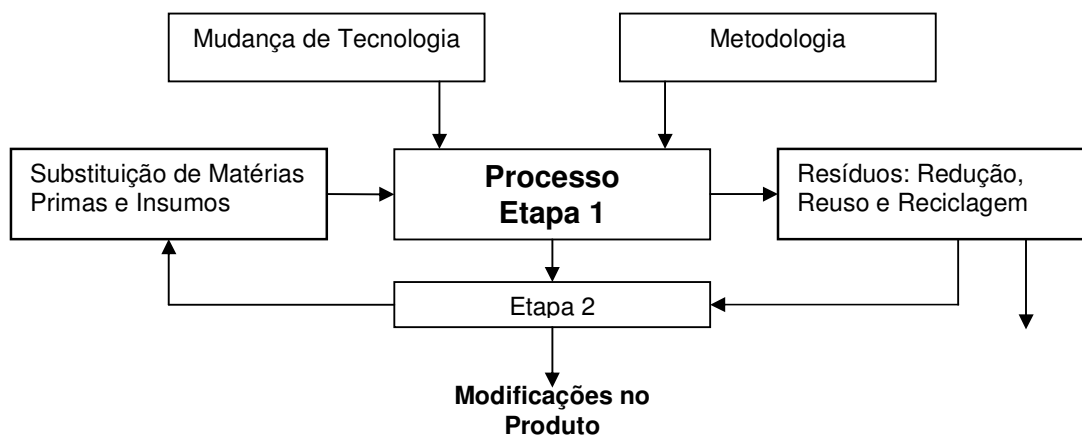


Figura 10 – Representação do Processo de Análise de Opções para Mudança no Processo

Planejamento e Organização

- Comprometimento da alta gerência
- Identificar as oportunidades, barreiras e soluções;
- Organização da equipe
- Preparar um plano de implantação – metas claras (a curto e a longo prazo), amplitude dos objetivos;
- Aplicar as opções selecionadas;
- Elaborar um plano de manutenções preventivas;
- Aplicar o plano de monitoramento e avaliação de indicadores.

Sensibilização e Comprometimento

- Apresentar o sistema como um desafio de e para todos;
- Envolver as gerências;
- Valorizar os benefícios econômicos, legais e ambientais;
- Tornar os benefícios visíveis a todos;
- Comprometer todos pelo sucesso do sistema;
- Realizar esforços para a melhoria contínua do sistema.

Avaliação e Aprimoramento

- Elaborar um plano de monitoramento;
- Avaliar a evolução dos indicadores de desempenho econômicos e ambientais;
- Elaborar um plano de melhoria contínua;
- Avaliar aspectos técnicos (desempenho dos equipamentos, manutenção);
- Realizar reuniões periódicas de avaliação;
- Apresentar os resultados a partir de um canal interno e externo com duas vias;
- Comparar o desempenho anterior e com empresas referenciais do setor;
- Estimular o desenvolvimento de visão crítica e criativa;
- Estabelecer um sistema de premiação para metas alcançadas.

4 Vantagens do SGA

Diferencial Competitivo

- Melhoria da imagem;
- Aumento da produtividade;
- Conquista de novos mercados.

Melhoria Organizacional

- Gestão ambiental sistematizada;
- Integração da qualidade ambiental à gestão dos negócios da empresa;
- Conscientização ambiental dos funcionários;
- Relacionamento de parceria com a comunidade.

Minimização de Custos

- Eliminação dos desperdícios;
- Conquista da conformidade ao menor custo;
- Racionalização da alocação dos recursos humanos, físicos e financeiros.

Minimização dos Riscos

- Segurança legal;
- Segurança das informações;
- Minimização dos acidentes e passivos ambientais;
- Minimização dos riscos dos produtos;
- Identificação das vulnerabilidades.

5 SGA e as Normas ISO 14000

Os procedimentos de gestão ambiental foram padronizados em nível mundial, com objetivo de definir critérios e exigências semelhantes. A garantia de que a empresa atende a esses critérios é a certificação ambiental, segundo as normas ISO 14.000. Essas normas foram definidas pela *International Organization for Standardization* (ISO), fundada em 1947, com sede em Genebra, na Suíça. Trata-se de uma organização não governamental que congrega mais de 100 países, representando 95% da produção industrial do mundo. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) representa a ISO no Brasil. As normas de certificação ambiental são

- ISO 14.001 – define os requisitos para certificação ambiental;
- ISO 14.004 – é uma norma orientadora, que exemplifica e detalha as informações necessárias à implementação de um SGA;
- ISO 14.010, 14.011 e 14.012 – referem-se ao processo de auditoria ambiental;
- ISO 14.032 – define a integração entre as normas de qualidade e de meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (1987). **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. Resíduos Sólidos – Classificação: NBR 10004. São Paulo, 1987.

ADEDE Y CASTRO, J. M. (2001) **Resíduos Perigosos no Direito Internacional e sua Internalização nos Países do Mercosul**, 2001. 185p. (Mestrado em Integração Latino-Americana) – Mestrado em Integração Latino-Americana, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

AMBIENTE BRASIL (2004). Disponível em:
<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./educacao/index.php3&conteudo=./educacao/programas.html>. Acesso em 10.09.2004.

ARSAND, D. R (2001). **Recuperação de Águas de Lavagem do Processo de Fosfatização por eletrodialise**, 2001. 143 p. (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Bristol (2003). Disponível em:
<http://www.bristol.com.br/empresa/ehs/meioambiente/projet.htm#ciclo>. Acesso em 23.09.2003.

CARLOS, M. G. O. *et al* (2003). Gestão Ambiental, Estratégia e Desempenho: o Caso da Indústria Têxtil. In: VII ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 7, 2003, São Paulo. Anais: **VII ENGEMA**, p. 41, São Paulo, 2003. 1 CD-ROM.

CETESB (2002). Manuais Ambientais: **Compilação de técnica de prevenção à poluição para a indústria de galvanoplastia**. São Paulo: 2002.

CLEANER GERMANY (2004). **Industries: Metals**. Disponível em www.cleaner-production.de. Acesso em: 10.06.2004.

CORBETT, C.J.; PAN, J. N. (2002). **Evaluating environmental performance using statistical process control techniques**. European Journal of Operational Research, 139, p. 68-83, 2002.

COSTA C. *et al* (2003a). **Plantas secas: uma alternativa moderna para remoção de metais pesados em efluentes industriais**. Disponível: www.lapes.ufrgs.br/laboratorios/ltn.pdf/Plantas-ABES.pdf. Acesso em: 13/01/2003.

_____ (2003b). **Remoção de metais pesados por sorção em subproduto do beneficiamento do carvão**. Disponível: www.lapes.ufrgs.br/laboratorios/ltn.pdf. Acesso 24/08/2003.

COSTANZI, R. C.; DANIEL L. (2002). Metodologia para implantação de programas de fechamento de circuito de água no processo industrial. In: Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, 3, 2002, Porto Alegre. **Anais ...** Porto Alegre, 2002. 1 CD-ROM.

DAROIT, D. (2001). **Melhores práticas ambientais em empresas do Rio Grande do Sul**, 2001. 136 p. (Mestrado em Administração) - Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

d'ORNELLAS M. C. G. da S.(1997). **Integração e Meio Ambiente: Os Desafios do Mercosul**, 1997, 168p. (Mestrado em Integração Latino-Americana) – Mestrado em Integração Latino-Americana, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

Efeito Estufa (2004). Disponível em:

http://www2.uol.com.br/joanaprado/joana_natureza/efeitoestufa01.jpg efeito estufa. Acesso 15.09.2004.

EL-FADEL, M. *et al.* (2001) **Industrial-waste management in developing countries: The case of Lebanon**. Journal of Environmental Management (2001) 61, 281-300.

ENVIRONMENTAL INDICATORS. (2003) Disponível em:
<http://www.gmied.org/indhome.html>. Acesso em: 28.06.2003.

EPA (2002). Fact Sheet: **Metal Recovery Technologies for the Metal Finishing Industry**. Disponível em:
<http://es.epa.gov/techinfo/facts/michigan/michfs20.html>. Acesso em: 09/12/2002.

FEPAM (2002). Disponível em <http://www.fepam.rs.gov.br>. Acesso em 23.12.2002.

FOLDES, A. (1995). **Apostila do Curso de Galvanoplastia** (ABTS – Associação Brasileira de Tratamento de Superfície). Ed. 9ª Cap 6, 1995.

FRANKENBERG C. L. C. *et al* (2003). **Gestão Ambiental Urbana e Industrial**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2003, 418 p., 1ª ed.

FREEMAN, M. H.; HARRIS, E. F. (1998). **Hazardous Waste Remediation, Innovative Treatment Technologies**. Pennsylvania, Technomic Publish Company, Inc. 1998, 342 p.

FURTADO J. *et al* (1998). **Manual de Prevenção de Resíduos na Fonte & Economia de água e Energia**. São Paulo: Fundação Vanzolini, 1998.

GILBERT, M. J. (1995) **ISO 14000/BS7750. Sistema de Gerenciamento Ambiental**. São Paulo: IMAM, 1995.

GLAYMAN, J.; FARKAS, G. (1980). **Galvanotecnia: Técnica y Procedimientos**. Euroles, Editeur, Paris. 2ª edição, 1980.

HARTINGER, L. (1994). **Handbook of effluent treatment and recycling for the metal finishing industry**. Finishing Publications LTD, 2a ed., São Paulo, 790p., 1994.

HECK, M. (2003). O Princípio da Precaução em Direito Internacional do Meio Ambiente. In: VII ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 7, 2003, São Paulo. Anais: **VII ENGEMA**, p. 19, São Paulo, 2003. 1 CD-ROM.

HJERESSEN D. L. *et al* (2002). **Green Chemistry: Environment, Economics, and Competitiveness**. Corporate Environmental Strategy, v.9, n.3, p. 259-266, 2002.

HIBBITT, C.; KAMP-ROELANDS N. (2002). **Europe's (Mild) Greening of Corporate Environmental Management**. Corporate Environmental Strategy v.9, n.2, p. 172-182, 2002.

IDEC (2003). Instituto de Defesa do Consumidor. Disponível em www.idec.org.br. Acesso em 30.08.2004.

IPPC (2004). Integrated Pollution Prevention and Control -.Draft Reference Document on the Best Available Techniques for the Surface Treatment of Metals and Plastics. 487p. European Commission, 2004.

JANSSEN, L.J.J.; KOENE, L. (2002) **The role of electrochemistry and electrochemical technology in environmental protection**. Chemical Engineering Journal, 85, p. 137-146, 2002.

JÜTTNER K. *et al* (2000). **Eletrochemical approaches to environmental problems in the process industry**. Electrochimica Acta, 45, p. 2575-2594, 2000.

KHANNA, M.; ANTON, W. R. Q. (2002) **What is Driving Corporate Environmentalism: Opportunity or Theat?** Corporate Environmental Strategy. v.9, n. 4, p. 409-417, 2002.

LE MOS, A. D.; NASCIMENTO, L. F. (2002). A Produção Limpa como geradora de Inovação e Competitividade. **Gestão Ambiental e Competitividade**. Disponível em: <http://www.portalsaiga.ea.ufrgs.br/Arquivo.asp#gestamb>. Acesso em: 17/05/2002.

MARQUES, J. F. *et al.* (2003). **Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas** Jaguariúna, SP: EMBRAPA-CNPMA, 2003. 281p.

MAXWELL, D.; van der VORST, R. (2003). **Developing sustainable products and services**. Journal of Cleaner Production 11 (2003) 435-442.

METCALF e EDDY (1991) **Wastewater Engineering**. New York: Ed. McGraw Hill, 1991, 1334p., 3 ed.

MOREIRA, M. S. (2001). O desafio da gestão ambiental. **Revista Banas Ambiental**. São Paulo: Ed. Epse, p. 22-25, fev. 2001.

NAGEL, M.H. (2002). **Managing the environmental performance of production facilities in the electronics industry: more than application of the concept of cleaner production**. Journal of Cleaner Production 10(2002) 541-552.

PASSOS, L. A. N.; CAMARA M. R. G. (2003). O Desempenho Ambiental das Empresas do Setor Químico Londrinense. In: VII ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 7, 2003, São Paulo. Anais: **VII ENGEMA**, p. 52, São Paulo, 2003. 1 CD-ROM.

PEREIRA, C. G (1997). **Análise Preliminar de Indústrias do Setor Coureiro do Vale do Rio dos Sinos em Relação ao Gerenciamento Ambiental: Estudo de Casos em Indústrias Exportadoras**, 1997. 164 p.(Mestrado em Administração) - Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PEREIRA L. C. e TOCCHETTO M. R. L. (2004). **Resíduos: “É Preciso Inverter a Pirâmide – Reduzir a Geração”**. Disponível em: <http://www.jornaldomeioambiente.com.br/JMA>. Acesso em 08.07.2004.

PORTER, M.; LINDE, C. (1995). Green and competitive: ending the stalemate. In **Harvard Business Review**, Sep./Oct. 1995.

REMCO ENGINEERING (2002). **Water recycling cost**. Disponível em: <http://www.remco.com/cost-cmp.htm>. Acesso em: 21.05.2002.

RODRIGUES, G. S. (1998) **Avaliação de impactos ambientais em projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico agropecuário**. Jaguariúna, SP: EMBRAPA-CNPMA, 1998.

ROPKE, I. (2001). **New technology in everyday life – social processes and environmental impact**. Ecological Economics, 38, p. 403-422, 2001.

SOARES, M. R. K. (2003a). **Minuta de Norma Técnica CONSEMA Nº xx/2003**. Porto Alegre: Câmara Técnica de Controle e Qualidade Ambiental, 2003. 11 p. Edição fac-similar.

_____. (2004). **Entrevista concedida pelo Ex Diretor da Divisão de Controle da Poluição Industrial da FEPAM**, Porto Alegre. Porto Alegre, 10 abr, 2004

SOUZA, R. R. (2003). **Fatores de formação e desenvolvimento das estratégias ambientais nas empresas**, 2003, p. (Doutorado em Administração). Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

STANISKIS, J.K.; STASISKIENE Z. (2003). **Promotion of cleaner production investments: internacional experience**. Journal of Cleaner Production, 11, p. 619-628, 2003.

TIMONEY K., LEE P. (2001). **Environmental management in resource-rich Alberta, Canada: first world jurisdiction, third world analogue?** Journal of Environmental Management, 63, p. 387-405, 2001.

TOCCHETTO, M. R. L (1999). **O gerenciamento dos resíduos sólidos no Rio Grande do Sul considerando a implantação do Pólo Automotivo de Gravataí**. Santa Maria, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Gerência de Produção, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria..

_____. (2004) **Implantação de Gestão Ambiental em Grandes Empresas com Atividade Galvânica no Rio Grande do Sul**. 2004. 176 p. Doutorado em Engenharia. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Engenharia Metalúrgica, dos Materiais e de Minas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

TOCCHETTO M. R. L e PEREIRA L. C. (2004a). **Desempenho Ambiental e Sustentabilidade**. Disponível em: http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./gestao/index.html&conteudo=./gestao/artigos/desempenho_ambiental.html. Acesso em 20.08.2004

_____. (2004b). **Qualidade Ambiental e Ecoeficiência: nova postura para indústrias de alto impacto**. Disponível em http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./gestao/index.html&conteudo=./gestao/artigos/qualidade_amb.html. Acesso em 19.8.2004

_____. _____. (2004c). **Água: Esgotabilidade, Responsabilidade e Sustentabilidade**. Disponível em: <http://www.tratamentodeesgoto.com.br/informativos/acervo.php?chave=166&cp=est> Acesso em 16.09.2004.

VERSCHOOR, A.; REIJENDERS, L (1999). **The use of life cycle methods by seven major companies**. Journal of Cleaner Production, 7, p. 375-382, 1999.

_____, (2001). **Toxics reduction in process. Some practical examples**. Journal of Cleaner Production 9(2001) 277-286.

ZOBEL, T.; BURMAN, J. O. (2003). **Factors of importance in identification and assessment of environmental aspects in an EMS context: experience in Swedish organizations**. Journal of Cleaner Production, 11 p. 311-323, 2003.