

JOÃO CARLOS DE ALMEIDA MIELI

**SISTEMAS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL NA INDÚSTRIA DE
CELULOSE E PAPEL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2007

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

M631s
2007

Mieli, João Carlos de Almeida, 1954-2007

Sistemas de avaliação ambiental na indústria de celulose e papel / João Carlos de Almeida Mieli. – Viçosa, MG, 2007. x, 99f. : il. ; 29cm.

Orientador: Cláudio Mudado Silva.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Indústria de celulose - Aspectos ambientais. 2. Papel - Indústria - Aspectos ambientais. 3. Proteção ambiental. 4. Poluição industrial. 5. Impacto ambiental - Avaliação. 6. Polpação alcalina por sulfato. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDO adapt CDD 22.ed. 634.983

**SISTEMAS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL NA INDÚSTRIA DE CELULOSE E
PAPEL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

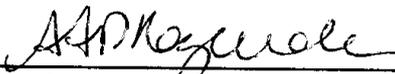
APROVADA: 25 de Setembro de 2007.



Prof. Rubens Chaves de Oliveira
(Co-orientador)



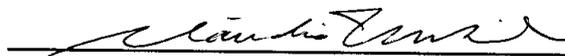
Prof. Elias Silva
(Co-orientador)



Profª. Ana Augusta Passos Rezende



Profª. Ana Márcia Macedo Ladeira
Carvalho



Prof. Cláudio Mudado Silva

(Orientador)

*À minha esposa, Margarida, e aos meus
filhos, Alexandre, Marcelo e Marina, que
me apoiaram em todos os momentos.*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Florestal, por terem me proporcionado esta oportunidade.

Aos professores Cláudio Mudado Silva, Elias Silva, Rubens Chaves, Ana Augusta, Ana Márcia e Victor Hugo, pela amizade e por todos os conselhos e sugestões.

Agradeço a todos que, de forma direta ou indireta, me ajudaram a concluir este trabalho.

BIOGRAFIA

JOÃO CARLOS DE ALMEIDA MIELI possui graduação em Engenharia Civil, pela Universidade Veiga de Almeida (1981), graduação em Engenharia Operacional Eletrônica, pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (1978), graduação em Educação Artística - Habilitação Desenho, pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1986), especialização em Geometria Aplicada à Representação Gráfica, pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1987) e mestrado em Engenharia Civil, pela Universidade Federal Fluminense (2001). Atualmente é Professor Adjunto IV da Universidade Federal Fluminense. Em agosto de 2005, iniciou o Programa de Doutorado em Ciência Florestal, com ênfase em Tecnologia em Celulose e Papel, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em setembro de 2007.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	ix
CAPÍTULO 1	1
A INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL E O MEIO AMBIENTE	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS INDUSTRIAIS E A GERAÇÃO DE POLUENTES	5
2.1. Processo kraft de produção de celulose.....	5
2.1.1. Preparo da madeira.....	5
2.1.2. Cozimento kraft dos cavacos	7
2.1.3. Recuperação do licor negro	8
2.1.4. Branqueamento da celulose	11
2.1.3. Secagem	13
2.2. Caracterização e controle dos efluentes líquidos de fábricas kraft de celulose e papel	14
2.2.1. Caracterização dos efluentes	15
2.2.2. Controle preventivo dos efluentes líquidos.....	18
2.2.2.1. Polpação	18
2.2.2.2. Outras práticas preventivas para o controle dos efluentes líquidos.....	20

	Página
2.2.2.3. Branqueamento	22
2.2.3. Controle dos efluentes líquidos	23
2.2.3.1. Tratamento preliminar	24
2.2.3.2. Tratamento primário.....	25
2.2.3.3. Tratamento secundário	26
2.3. Caracterização e controle das emissões atmosféricas de fábricas kraft de celulose e papel	27
2.3.1. Caracterização dos principais poluentes e fontes de emissão..	28
2.3.2. Equipamentos de controle	30
2.4. Caracterização e controle dos resíduos sólidos de fábricas kraft de celulose e papel	32
2.4.1. Caracterização e fontes de geração	32
2.4.1.1. Lodo primário	33
2.4.1.2. Lodo biológico secundário	33
2.4.1.3 Cinzas da caldeira de biomassa	34
2.4.1.4 <i>Dregs</i>	34
2.4.1.5. <i>Grits</i>	34
2.4.1.6. Cascas	34
2.4.1.7. Outros.....	35
2.4.2. Controle e disposição final	35
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
CAPÍTULO 2	39
SISTEMA DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL	39
1. INTRODUÇÃO.....	39
2. QUALIDADE AMBIENTAL E DESEMPENHO DAS EMPRESAS.....	42
3. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	44
4. FILOSOFIAS SUSTENTÁVEIS DE PRODUÇÃO.....	47
4.1. Produção limpa e produção mais limpa.....	48
4.2. Emissão zero (zeri)	49
4.3. Desempenho sustentável (DS)	50
4.4. Gerenciamento de processos (GP)	51
4.5. Sistemas de gestão ambiental	52
4.5.1. Análise de riscos ambientais.....	53
4.5.2. Estudo de impacto ambiental (EIA)	54

	Página
4.5.3. Auditoria ambiental.....	54
4.5.4. Avaliação do comportamento ambiental.....	55
4.5.4. Análise de fluxo de substância	55
4.5.5. Análise de material e energia	56
4.5.7. Gestão integrada de substância.....	56
4.5.8. Análise de linha de produto	56
4.5.7. Análise do ciclo de vida	57
5. AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL	60
5.1. A avaliação de impacto ambiental nos países desenvolvidos	60
5.2. A avaliação de impacto ambiental no Brasil	61
5.3. Aspectos e impactos ambientais.....	62
5.4. Métodos de avaliação de impacto ambiental (AIA).....	64
5.4.1. Método <i>ad hoc</i>	66
5.4.2. Listas de controle (<i>checklist</i>).....	66
5.4.3. Matrizes	67
5.4.4. Superposição de mapas	68
5.4.5. Redes de interação.....	68
5.4.6. Diagramas de sistemas	69
5.4.7. Modelos de simulação	70
5.4.8. Sistemas especialistas em computador	70
5.5. Classificação qualitativa dos impactos ambientais	72
5.6. Classificação quantitativa de impactos ambientais.....	74
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
CAPÍTULO 3	80
ANÁLISE DO CICLO DE VIDA	80
1. INTRODUÇÃO.....	80
2. CICLO DE VIDA DE UM PRODUTO	82
3. FASES DA ACV.....	85
3.1. Definição do objetivo e do escopo.....	86
3.2. Análise do inventário do ciclo de vida	88
3.3. Avaliação de impacto	90
3.4. Seleção e definição das categorias de impactos	91
3.5. Classificação dos resultados da análise de inventário.....	92
3.6. Cálculo dos indicadores de categoria	93
3.7. Elementos opcionais e informações.....	94
3.8. Interpretação dos resultados	94
4. CONCLUSÕES.....	96
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98

RESUMO

MIELI, João Carlos de Almeida, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2007. **Sistemas de avaliação ambiental na indústria de celulose e papel.** Orientador: Cláudio Mudado Silva. Co-orientadores: Elias Silva e Rubens Chaves de Oliveira.

A avaliação de impactos ambientais é um importante tema na atualidade, sobretudo, para a indústria. Há uma crescente preocupação da sociedade em relação aos impactos ambientais e sociais provocados pela indústria, originando um reflexo no mercado consumidor que prefere produtos que foram concebidos de forma ambientalmente correta. O setor de celulose e papel sofre algumas críticas quanto aos aspectos e impactos ambientais que provoca. Além de usar intensivamente recursos florestais, o processo produtivo demanda grandes quantidades de água e gera altos volumes de efluentes líquidos, resíduos sólidos e emissões atmosféricas. A análise do ciclo de vida é uma ferramenta que tem por objetivo avaliar as inter-relações entre os sistemas de produção, produtos ou atividades e o meio ambiente, identificando, avaliando e quantificando os fluxos do sistema – entradas (a energia, os materiais utilizados) e saídas (produtos, co-produtos, emissões), visando avaliar o impacto dessa “utilização/liberação” no meio ambiente. Seus resultados servem como apoio à implementação de oportunidades de melhorias ambientais. O primeiro capítulo desta tese apresenta uma avaliação atual dos aspectos ambientais da indústria de celulose e papel. Os principais

sistemas de avaliação ambiental utilizados pela indústria são apresentados e discutidos no Capítulo 2. A análise do ciclo de vida aplicado à produção de celulose kraft é apresentada no Capítulo 3.

ABSTRACT

MIELI, João Carlos de Almeida, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, September, 2007. **Environmental evaluation systems in the pulp and paper industry**. Adviser: Cláudio Mudado Silva. Co-advisers: Elias Silva and Rubens Chaves de Oliveira.

Evaluation of environmental impacts is an important issue nowadays, especially in industry. There is an increase concern by modern society in relation to the industry environmental and social impacts, which reflect on the product market. People prefer environmentally sound products. The pulp and paper sector is often criticized for its environmental performance. The intensive use of wood, the large demand for water use and generation of effluents and solid wastes in addition to the air emissions makes this industry a potential polluter. Life cycle analysis (LCA) is a powerful tool to evaluate the relation among production systems, products or activities and the environment. It identifies and quantifies system fluxes – input (energy, material) and output (products, emissions) in order to evaluate the impacts of the utilization/release in the environment. The results of the LCA help the implementation of opportunities to enhance environmental performance. The first chapter of this thesis presents an evaluation of the current environmental aspects of the pulp and paper industry. The main environmental management systems used by industry is discussed in Chapter 2. Life cycle analysis in the production of kraft pulp is presented in Chapter 3.

CAPÍTULO 1

A INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL E O MEIO AMBIENTE

1. INTRODUÇÃO

O ambiente produtivo vem evoluindo de forma acentuada nos últimos anos, para dar conta das exigências impostas pela própria transformação dos mercados, os quais globalizaram-se, pois tal como observam Ostrenga *et al.* (1997) “em praticamente todas as indústrias os mercados tornaram-se globais, com concorrentes em escala mundial oferecendo bens e serviços de alta qualidade e de baixos custos”.

O novo ambiente, fruto das mudanças ocorridas nos negócios desde meados da década de 1970, tem exigido informações relevantes relacionadas a custos e desempenho de atividades, processos, serviços e clientes (KAPLAN e COOPER, 1998). Diante disto, as indústrias, para continuarem competitivas, têm sido levadas a buscarem a máxima eficiência em seus processos produtivos e de negócios.

As últimas décadas têm sido marcadas por uma evolução nas discussões sobre as questões ambientais, alterando o panorama mundial em relação ao meio ambiente. As empresas têm sido diretamente afetadas por estas mudanças, tendo em vista que o mercado consumidor começa a valorizar

produtos que interfiram minimamente no meio ambiente, tornando-se tão temido quanto os próprios órgãos de meio ambiente.

Por outro lado, a eficácia de processos produtivos e de negócios depende essencialmente das informações que lhe dão suporte, auxiliando na tomada de decisões.

As atividades de produção de bens e serviços sempre acarretarão algum impacto sobre o meio ambiente, seja ele impacto positivo ou negativo. A redução dos impactos negativos e, ou, otimização das alterações positivas, leva as empresas a custos com prevenção, controle ou, eventualmente, com falhas em suas ações que afetem o meio ambiente (CAMPOS, 1996).

Produzir bens e serviços, de uma maneira geral, gera impactos no meio ambiente, mas é na produção de bens que estes impactos tornam-se mais nítidos e estão normalmente associados a algum aspecto negativo, seja por meio da exploração de matérias-primas, seja pelo descarte de resíduos provenientes da produção, entre outros.

O setor de celulose e papel sofre algumas críticas quanto aos aspectos e impactos ambientais que provoca. Segundo Castilho *apud* Bacha (1998), além de usar intensivamente recursos florestais, ao seu processo produtivo associam-se exigências do uso de material reciclado e controle da poluição atmosférica e hídrica.

Após o final da Segunda Guerra Mundial, o Brasil apresentou um aquecimento na produção de celulose e papel, devido ao apoio institucional do Governo Federal, o próprio crescimento da demanda internacional e também devido à existência, na época, de uma grande disponibilidade de madeira proveniente de matas nativas, principalmente das matas de araucária (BACHA, 1998). Porém, no início da década de 1990, as matas nativas sofreram um acelerado processo de destruição, levando as indústrias de papel e celulose a iniciarem um programa de reflorestamento em terras próprias e fomentadas (BACHA *apud* BACHA, 1998).

É necessário ressaltar que setor florestal é importante para a economia brasileira, contribuindo com cerca de 5% na formação do PIB (Produto Interno Bruto Brasileiro), e está implementando a Política Nacional de Florestas, que conta com os programas de Florestas Sustentáveis; Expansão de Base Florestal – Florestar; e Prevenção e Combate a Desmatamentos, Queimadas e

Incêndios Florestais. A premissa básica destes programas é o desenvolvimento sustentável e as parcerias (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2001).

A produção de papel e celulose no Brasil experimentou considerável incremento. Na década de 1950 a produção de celulose era de aproximadamente 150.000 toneladas por ano e a de papel, 300.000 toneladas anuais. Já no início da década de 90, o Brasil produzia por volta de 5 milhões de toneladas de papel e 5 milhões de toneladas de celulose por ano. O que impulsionou este crescimento foi o próprio incentivo fiscal dado pelo governo federal, como os incentivos fiscais e cambiais, os créditos subsidiados e a participação acionária nas empresas de celulose e papel. Além disso, houve um aumento na demanda internacional por papel e celulose (BACHA, 1998).

Porém, como dito anteriormente, as matas nativas, ao longo das últimas décadas, sofreram um intenso processo de degradação, levando as empresas de papel e celulose a realizarem além do reflorestamento, a utilização de espécies híbridas dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* (BACHA, 1998). Este autor destaca, ainda, que toda madeira utilizada na produção de papel e celulose no Brasil provém de árvores de florestas plantadas de reflorestamento. O rápido ciclo de crescimento das espécies mencionadas anteriormente, provocou um grande crescimento das empresas do setor, preenchendo a lacuna deixada pelas espécies nativas. Porém, o setor enfrenta várias críticas quanto ao reflorestamento com espécies exóticas, provocando os chamados maciços de monoculturas o que causa uma perda da diversidade vegetal e animal nas áreas reflorestadas.

A estimativa do Ministério das Relações Exteriores (2001) para a geração de empregos do setor, não restritos às atividades de produção somente, é de aproximadamente um milhão de trabalhadores em suas atividades. Para o conjunto de 220 empresas implantadas no Brasil, ter-se-ia 102 mil empregos diretos, dos quais 64 mil na indústria e 38 mil em suas atividades florestais. E, ainda segundo dados do Ministério, a atividade florestal distribui-se por 281 municípios brasileiros.

Os produtos finais do setor são basicamente papéis para gráficas, papéis para embalagens, papéis e celulose para fins sanitários e especialidades, o que leva ao atendimento de necessidades básicas da sociedade, tais como aquelas relacionadas a saúde, difusão de educação e

cultura, embalagem de bens de consumo que, devido ao uso generalizado em produtos essenciais, representa suprimento relevante do sistema econômico (MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES, 2001).

Outra importante consideração a ser feita sobre o setor de papel e celulose no Brasil, diz respeito à sua geração de divisas. Em 1995, o setor colaborou para a redução do déficit comercial, tendo representado 5,8% do total das exportações nacionais no período.

Em 1999, houve um aumento na produção nacional de papel da ordem de 5,4% com relação ao ano de 1998; além do que, considerando-se o mesmo período, as exportações de papel aumentaram 9,3%. Já as importações de papel declinaram 17%. A produção nacional de celulose e pastas, em 1999, também foi superior à realizada em 1998, em 7,8%. De janeiro a setembro de 2000 a produção de celulose no Brasil já havia superado a produção do mesmo período de 1999, representando um aumento de 5,3% comparativamente.

Um estudo relativo entre o consumo aparente e a recuperação de recicláveis, mostra que o consumo de papel aumentou, entre os anos de 1991 e 1999, 2,1 milhões de toneladas, sendo que a reciclagem para o mesmo período experimentou de um aumento mais modesto, ou seja, de pouco menos de 1 milhão de toneladas de papel. Além disso, destaque-se que o Brasil ocupava no cenário mundial, em julho de 2000, o décimo lugar em reciclagem de papel (O PAPEL NO BRASIL, 2000).

Observa-se, pois, que a reciclagem representa um percentual ainda muito pequeno para a produção de papel no Brasil. A título de ilustração, Bellia (1996), destaca que a reciclagem de papel leva a uma redução de energia para a produção de papel e celulose da ordem de 23% a 74%, redução na poluição do ar de 74%, redução na poluição da água da ordem de 35% e redução de 58% no uso de água.

2. DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS INDUSTRIAIS E A GERAÇÃO DE POLUENTES

2.1. Processo kraft de produção de celulose

A produção de celulose consiste, basicamente, na degradação e remoção da lignina da madeira, que funciona como uma substância “cimento” para união das fibras de celulose, possibilitando a separação e individualização das mesmas.

A transformação da madeira em polpa celulósica consiste na separação das fibras que a constituem. Para a separação eficiente das fibras, sem que haja uma excessiva degradação das mesmas, são utilizadas substâncias químicas e energia térmica capazes de causar degradação e solubilização da lignina que mantém as fibras unidas. Dentre os vários processos existentes para a produção de celulose, o kraft é o mais eficiente, sendo utilizado para a produção de mais de 90% da celulose química produzida no Brasil. A seguir, apresentam-se as principais etapas do processo produtivo.

2.1.1. Preparo da madeira

A madeira é, geralmente, entregue no pátio em forma de toras. Caso não tenham sido descascadas na floresta, as toras são enviadas a descascadores mecânicos. A presença da casca prejudica a qualidade da polpa celulósica a ser produzida e, portanto, deve-se removê-la para que se

obtenha uma maior eficiência do processo e uma melhoria das propriedades da polpa de celulose.

No preparo da madeira para o cozimento, uma das maiores fontes potenciais de poluição é o descascamento, que pode ser realizado a seco ou a úmido. O descascamento úmido gera uma carga poluente maior e alguns dados gerais referentes ao efluente do descascamento de madeiras de folhosas são apresentados (D'ALMEIDA, 1988):

$DBO_5 = 5-12 \text{ kg/t madeira};$

$DQO = 20-40 \text{ kg t}^{-1} \text{ madeira};$

$Cor (Pt) = 5-15 \text{ kg t}^{-1} \text{ madeira};$ e

$Sólidos suspensos = 5-20 \text{ kg t}^{-1} \text{ madeira}.$

No Brasil, as fábricas de celulose kraft utilizam o descascamento a seco, e portanto, não geram qualquer contribuição de carga para os efluentes hídricos nesta etapa de preparação da madeira.

Após o descascamento, as toras são geralmente lavadas buscando-se remover impurezas tais como areia e terra que se encontram presentes na superfície das toras e que são prejudiciais ao processo. A lavagem das toras consome aproximadamente $1-6 \text{ m}^3/\text{tsa}$, dependendo do processo de lavagem utilizado e da quantidade de impurezas presentes nas toras. Vale salientar que práticas operacionais de corte, coleta e estocagem de madeira adequadas minimizam sobremaneira tais impurezas. Os efluentes da lavagem de toras podem possuir as seguintes características, segundo D'Almeida (1988):

$Sólidos em suspensão = 4,4 \text{ kg tsa}^{-1};$

$DBO_5 = 0,1 - 5 \text{ kg tsa}^{-1};$ e

$DQO = 2 - 10 \text{ kg tsa}^{-1}.$

Este efluente é normalmente pré-tratado no próprio pátio de madeira através de caixas de areia ou desarenadores, que visam remover tais impurezas inorgânicas. Depois de tratados, os efluentes podem ser reutilizados na própria lavagem das novas toras ou podem ser enviados para a estação de tratamento de efluentes (ETE). A areia é removida e geralmente segue para o aterro sanitário industrial.

Depois de descascadas, as toras de madeira são transformadas em cavacos, por meio de picadores de alta potência, para facilitar a penetração ou impregnação pelo licor de cozimento que contém os reagentes ativos do processo. Os cavacos obtidos são classificados em peneiras vibratórias para sua separação nas frações de aceitos, subdimensionados e superdimensionados. Aqueles selecionados são armazenados ao ar livre, em forma de uma grande pilha de cavacos, de onde são retirados para o processamento industrial.

2.1.2. Cozimento kraft dos cavacos

Do pátio de estocagem, os cavacos são enviados para o digestor, onde são tratados quimicamente com o licor de cozimento. O licor de cozimento é constituído pela solução aquosa de hidróxido de sódio e sulfeto de sódio, numa proporção molar de aproximadamente 5/1. Durante esse tratamento, a temperatura é elevada gradualmente até atingir de 165 a 170 °C. Essa temperatura é mantida por um tempo adicional para uma remoção eficiente da lignina. Durante esse tratamento termoquímico, a lignina é degradada, o que possibilita a separação das fibras, obtendo-se uma massa constituída pelas fibras individualizadas e pelo licor residual que, por sua coloração muito escura, é denominado licor negro. Essa massa escura é enviada a filtros lavadores, onde a polpa celulósica é separada do licor negro que, devido à adição de água de lavagem, apresenta uma consistência relativamente baixa, da ordem de 14-16% de sólidos.

A celulose de eucalipto, obtida após o cozimento e lavagem, apresenta ainda, um pequeno teor de lignina residual que, mesmo em baixas concentrações (cerca de 2,5%), é suficiente para causar uma coloração marrom à polpa de celulose. Para a eliminação dessa lignina residual, a polpa é enviada ao setor de branqueamento, onde os grupos cromóforos que causam a coloração marrom são eliminados, obtendo-se uma celulose branca de alta alvura.

O licor negro residual, contendo parte da madeira que foi degradada durante o cozimento (cerca de 50%) e os reagentes do cozimento, é enviado para o setor de recuperação, onde é queimado para a produção de energia e recuperação do NaOH e Na₂S utilizados no cozimento.

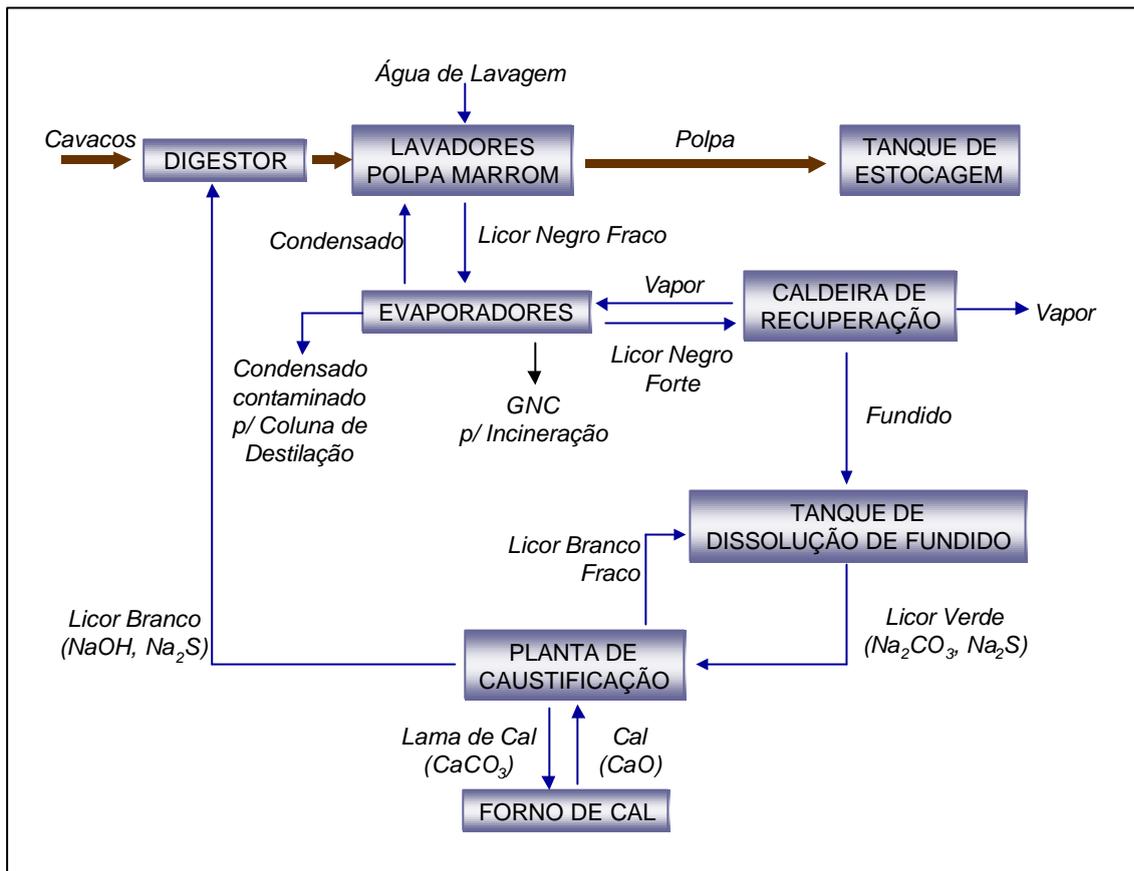
A presença de íons sulfeto como reagente ativo no licor de cozimento kraft causa, inevitavelmente, a formação de compostos gasosos mal cheirosos. Estes compostos gasosos gerados no cozimento Kraft, denominados de TRS (compostos de enxofre total reduzidos) são o sulfeto de hidrogênio (H_2S), o metilmercaptana (CH_3SH), o dimetilsulfeto (CH_3SCH_3) e o dimetildisulfeto ($CH_3S_2CH_3$). Esses gases, apesar de não serem produzidos em grandes quantidades, são suficientes para causarem um odor desagradável e característico do processo kraft. Mesmo em concentrações mínimas no ar, da ordem de apenas poucas partes por bilhão, o cheiro desagradável destes gases é percebido pronunciadamente pelo olfato humano. Numa moderna fábrica kraft, estes compostos são coletados e queimados no forno de cal, nas caldeiras ou em uma unidade de incineração específica para este fim.

A geração de efluentes líquidos no processo de cozimento kraft não constitui um problema, uma vez que o licor de cozimento utilizado é totalmente recuperado no setor de recuperação dos licores. Falhas no processo que acarretem vazamentos e derramamentos do licor podem constituir uma importante fonte de poluição. Esses vazamentos, quando ocorrem, devem ser prontamente corrigidos, pois, além de causarem problemas ambientais, constituem perdas indesejáveis no processo.

Os vapores condensados na área do digestor, por possuírem compostos de enxofre dissolvido, podem constituir uma importante fonte de poluição. Os condensados contaminados são normalmente submetidos a um tratamento setorial através de uma torre de destilação a ar ou vapor, comumente denominada “torre de *stripping*”, sendo que os gases incondensáveis são encaminhados para queima e os condensados tratados e reutilizados no processo.

2.1.3. Recuperação do licor negro

Os principais objetivos da recuperação química na fábrica de polpa kraft são: i) a recuperação dos reagentes químicos para a produção de licor de cozimento com composição adequada e constante; e ii) a produção de vapor e energia elétrica para atender ao processo. Os principais processos do ciclo de recuperação química são ilustrados na Figura 1 (GREEN e HOUGH, 1992). Um grande benefício do ciclo de recuperação é que ele evita a descarga de um fluxo significativo de efluente com grande potencial poluidor.



Fonte: Green e Hough (1992).

Figura 1 – Fluxograma das principais etapas do ciclo de recuperação química de uma fábrica de polpa kraft.

O ciclo de recuperação se inicia com a lavagem da polpa marrom, onde o licor negro é separado da polpa kraft nos lavadores de polpa. O licor negro fraco (diluído) recuperado da polpa marrom contém em torno de 14 a 17% de sólidos dissolvidos. Destes sólidos, aproximadamente um terço é composto por sais inorgânicos oriundos do licor branco e dois terços são compostos orgânicos extraídos da madeira (GREEN e HOUGH, 1992).

O licor negro fraco precisa ser concentrado acima de 65% de sólidos secos para possibilitar sua queima na caldeira de recuperação por força da matéria orgânica nele contida. Essa concentração é feita em evaporadores de múltiplo efeito, isto é, com vários trocadores de calor em série. Evaporadores de múltiplo efeito contêm, tipicamente, de cinco a sete efeitos. Os fluxos de vapor e licor fluem pelos efeitos em contracorrente. Vapor vivo é alimentado ao efeito com licor negro de maior concentração (primeiro efeito). O vapor gerado

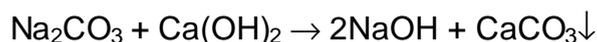
no primeiro efeito é condensado no segundo efeito, e assim sucessivamente. O vapor do último efeito é condensado em um condensador barométrico.

Os vapores condensados durante a evaporação, por possuírem compostos de enxofre dissolvido, podem constituir uma importante fonte de poluição. Os condensados contaminados são normalmente submetidos a um tratamento setorial através de uma coluna de destilação a ar ou vapor, comumente denominada “torre de *stripping*”, sendo que os gases incondensáveis são encaminhados para queima e os condensados tratados reutilizados no processo. São gerados tipicamente de 1 a 2 m³ de efluentes da planta de evaporação, por tonelada de polpa produzida (GREEN e HOUGH, 1992).

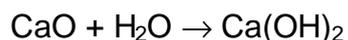
Os gases não-condensáveis (GNC) são os compostos gasosos que são liberados do licor negro durante a evaporação. Eles são compostos, principalmente, de metanol (MeOH) e os compostos reduzidos de enxofre totais (TRS). Os GNC são coletados na evaporação (nos condensadores e na coluna de destilação) e são incinerados (destruídos). Em geral, não há emissão de GNC na evaporação (ADAMS *et al.*, 1997).

O licor negro forte (concentrado) segue para a caldeira de recuperação onde a matéria orgânica é queimada e os sais inorgânicos são reduzidos a um fundido, cujos principais componentes são o carbonato de sódio (Na₂CO₃) e o sulfeto de sódio (Na₂S). O calor liberado na combustão é aproveitado para a geração de vapor e energia elétrica. Para compensar a perda de reagentes, antes da queima é adicionada ao licor negro uma quantidade suficiente de Na₂SO₄ que, durante a queima do licor, é transformado em Na₂S.

O licor branco (NaOH e Na₂S) utilizado na polpação é regenerado na planta de caustificação, a partir do fundido. O carbonato de sódio (Na₂CO₃) e o sulfeto de sódio (Na₂S) são misturados no tanque de dissolução do fundido para formar o licor verde. A concentração do licor verde é controlada pela adição de licor branco fraco ao tanque e as impurezas suspensas que causam a coloração verde do licor são removidas. Na primeira etapa da caustificação, a cal (CaO) é hidratada, ou apagada, para formar o hidróxido de cálcio, Ca(OH)₂. Este hidróxido de cálcio reage, então, com o carbonato de sódio presente no licor verde e produz o hidróxido de sódio (NaOH) e o carbonato de cálcio (CaCO₃), este último conhecido como lama de cal.



O CaCO_3 obtido é calcinado em forno especial (forno de cal), resultando na formação de CaO que, após hidratado, é transformado em $\text{Ca}(\text{OH})_2$, sendo reutilizado para transformação do Na_2CO_3 em NaOH :



Embora o ciclo de recuperação seja essencialmente fechado, desvios não intencionais do licor negro e outros efluentes para o sistema de tratamento da fábrica fazem parte dos processos normais de operação, como paradas e partidas programadas de equipamentos (evaporadores, caldeira, caustificadores, forno de cal) para manutenção. Perdas não intencionais resultam de derrames, vazamentos, sobrecarga de tanques e falhas mecânicas (US EPA, 1997). Esses desvios correspondem a aproximadamente 10% do volume total dos efluentes nas fábricas norte-americanas (US EPA, 1997).

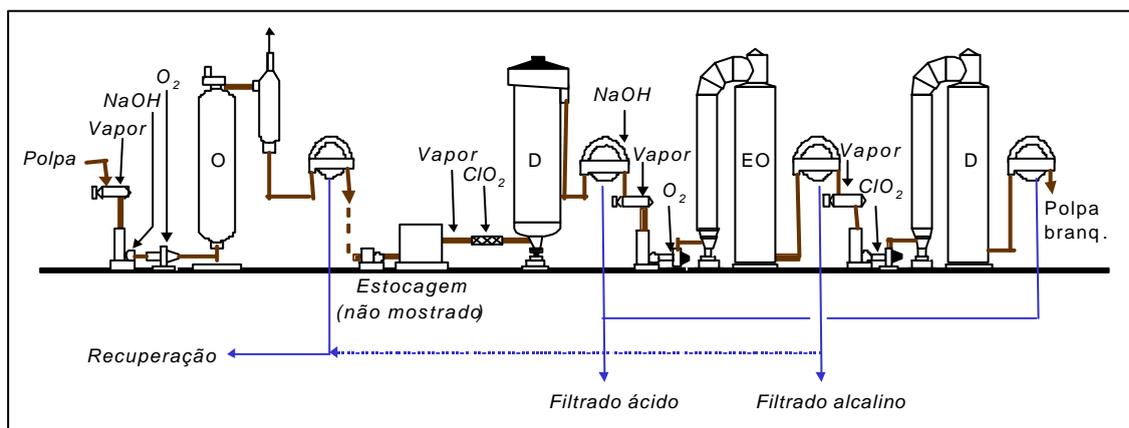
2.1.4. Branqueamento da celulose

Na polpação kraft são removidos, tipicamente de 90 a 95% da lignina, o polímero que age como cimento das fibras de celulose. Para minimizar a degradação das fibras (a despolimerização da celulose e das hemiceluloses) é necessário terminar a polpação antes de se remover toda a lignina (DENCE e REEVE, 1996). A cor escura da polpa kraft não-branqueada é causada pela lignina residual e outros grupos cromóforos (extrativos da madeira, íons metálicos, etc.) que permanecem na polpa após o cozimento. O processo de branqueamento objetiva remover a maior parte dessa lignina residual e destruir os componentes cromóforos que permanecem utilizando-se reagentes mais específicos.

Tradicionalmente, o cloro gás (Cl_2) tem sido o reagente de branqueamento preferido, em razão de seu baixo custo e de sua alta especificidade para com a lignina residual (HISE, 1996). Seqüências que incluem um estágio com Cl_2 no branqueamento são denominados

convencionais. O uso de Cl_2 no branqueamento conduz a formação de compostos organoclorados (AOX), que são dissolvidos nos filtrados (McKAGUE e CARLBERG, 1996). Desde a descoberta da presença de dioxinas nos efluentes de fábricas de polpa kraft branqueada, em meados da década de 80, a indústria tem adotado novas tecnologias para minimizar a formação de AOX e permitir um maior fechamento dos circuitos de filtrados do branqueamento (EDF, 1995; US EPA, 1997). As novas tecnologias adotadas incluem as seqüências de branqueamento ECF (*elementally chlorine free*) isentas de cloro gás, e as seqüências TCF (*totally chlorine free*), ou seja, isentas de quaisquer reagentes à base de cloro.

O branqueamento da polpa kraft é feito em seqüências de múltiplos estágios para otimizar o uso dos reagentes químicos e preservar a resistência/qualidade da polpa. O tipo e número de estágios de branqueamento de polpa kraft dependem de limitações quanto à proteção ao meio ambiente, uso final da polpa branqueada (qualidade), da alvura objetivo, do tipo de material fibroso (ex. fibra curta contra fibra longa) e o número kappa da polpa marrom. Cada estágio consiste da mistura da polpa com reagentes químicos e vapor, da reação da mistura em torres de branqueamento e da lavagem da polpa após a reação. O fluxograma de uma seqüência de branqueamento ECF, consistindo de estágios de dioxidação (estágios D) e de extração oxidativa (estágio Eo), está apresentado na Figura 2 (DENCE e REEVE, 1996).



Fonte: Dence e Reeve (1996).

Figura 2 – Fluxograma de uma planta de branqueamento operando com a seqüência ECF OD(Eo)D.

A lavagem entre os estágios separa o material solubilizado da polpa e expõe novas superfícies à ação dos reagentes de branqueamento, reduzindo assim, o consumo de reagentes. O sistema de lavagem é contracorrente (para economizar energia, água e reagentes). Usualmente, água fresca (e, ou, da máquina de secagem) só é usada no primeiro e no último estágio de uma seqüência.

A presença de material organoclorado dificulta a recirculação dos filtrados (ácidos) do branqueamento para o ciclo de recuperação, devido ao risco de corrosão da caldeira por cloretos e, portanto, esses são geralmente enviados para o sistema de tratamento de efluentes da fábrica. Filtrados com baixos teores de cloretos podem ser enviados para o ciclo de recuperação do licor.

São gerados, tipicamente, em torno de 15 a 60 m³ de efluente de branqueamento por tonelada de polpa kraft branqueada (SPRINGER, 1993; EDF, 1995; US EPA, 1997b). Uma vez que o licor residual da polpação é reciclado no sistema de recuperação de reagentes e energia, os filtrados de branqueamento representam a maior parte do efluente total de uma fábrica de polpa kraft branqueada, sendo responsável por 30 a 70% de seu volume total (DENCE e REEVE, 1996; US EPA, 1997b). Valores típicos de DQO, DBO e AOX em efluentes de branqueamento de madeira de fibra longa estão apresentados na Tabela 1 (McKAGUE e CARLBERG, 1996).

Tabela 1 - Valores típicos de DQO, DBO e AOX em filtrados de branqueamento convencional, ECF e TCF

Tipo de Branqueamento	DQO (kg tsa ⁻¹)	DBO (kg tsa ⁻¹)	AOX (kg tsa ⁻¹)
Convencional	60-70	10-20	4-8
ECF	35-60	8-16	0,2-2
TCF	30-130	12-40	0

2.1.5. Secagem

A polpa celulósica branqueada é estocada após o último estágio do branqueamento a uma consistência de 10 a 14%. Em fábricas que não

possuem máquinas de papel integradas às suas operações, a polpa deve ser desaguada a uma consistência de 90 a 95% para reduzir os custos de transporte. Nas máquinas de secagem antigas o consumo de água fresca varia de 6 a 12 m³ tsa⁻¹. A água fresca é utilizada para diluição e controle de consistência, chuveiros, resfriamento de unidades hidráulicas, selagem de bombas, e outros. Nas máquinas mais modernas os níveis de consumo de água são bem inferiores, variando de 2 a 5 m³ tsa⁻¹. Em termos de qualidade, os efluentes das máquinas de secagem podem carregar consigo uma quantidade significativa de fibras. Busca-se evitar as perdas de fibras não somente pelo aspecto econômico, mas, sobretudo pelo aspecto ambiental. Os efluentes das máquinas de secagem são em várias fábricas reutilizados em outros setores tais como no branqueamento.

2.2. Caracterização e controle dos efluentes líquidos de fábricas kraft de celulose e papel

As fábricas de celulose e papel, sobretudo aquelas que adotam o processo kraft, utilizam em seus processos grandes quantidades de água e geram, em consequência, um volume grande de efluentes líquidos. No Brasil, atualmente o consumo médio de água em fábricas de celulose kraft é de aproximadamente 60 m³/tsa. Evidentemente este valor tende a aumentar nas fábricas mais antigas ou naquelas onde há pouca preocupação com a disponibilidade de água fresca; e tende a diminuir a níveis de até 25 m³/tsa nas fábricas mais modernas ou naquelas que apresentam limitações de captação e tratamento de água. No entanto, é unânime, na indústria, que existe uma forte pressão ambiental para se reduzir o consumo de água na produção de celulose e papel. Os efluentes das fábricas de celulose e papel são ricos em sólidos suspensos, em matéria orgânica dissolvida, cor e sobretudo compostos organoclorados (nas fábricas que utilizam cloro e derivados de cloro no branqueamento), conferindo a eles um grande potencial poluidor. As principais características físico-químicas dos efluentes de fábricas de celulose kraft são apresentadas neste capítulo.

2.2.1. Caracterização dos efluentes

Os efluentes líquidos são gerados em diversos pontos do processo. A Figura 3 apresenta um perfil esquemático de uma fábrica de celulose kraft com uma faixa de valores estimados de geração de efluentes em cada unidade setorial.

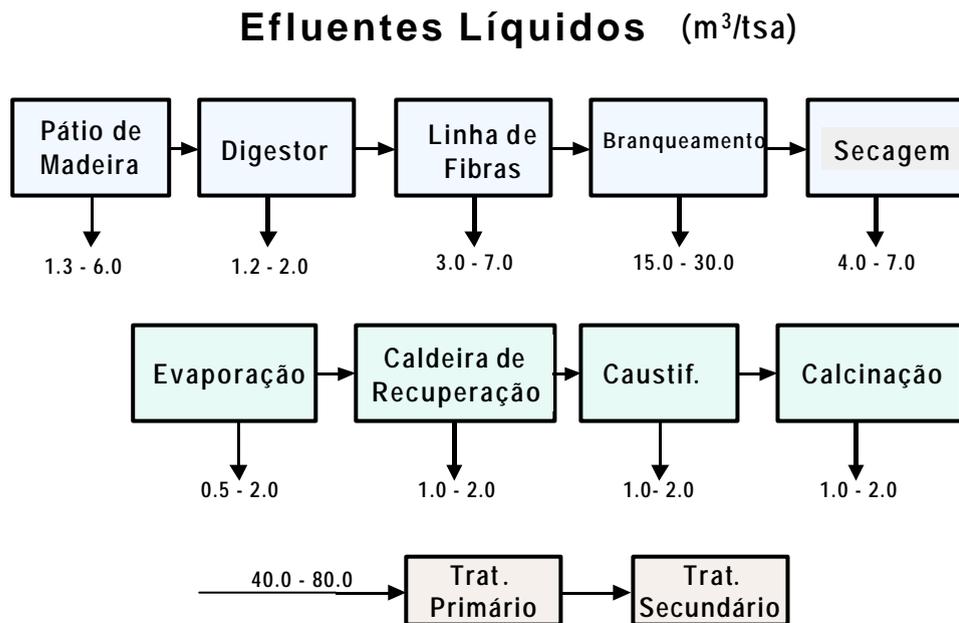


Figura 3 – Volume de efluentes líquidos setoriais de uma fábrica de celulose kraft.

Além do volume de efluentes, vários parâmetros de controle ambiental são adotados para controle setorial e de lançamento dos efluentes líquidos das fábricas de celulose e papel. Dentre eles, os mais importantes são:

DBO₅: demanda bioquímica de oxigênio – indica a quantidade de material orgânico biodegradável no efluente. Mede a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica dissolvida numa amostra através da ação de microorganismos. O método é baseado na medição do nível de oxigênio dissolvido antes e depois de um período de incubação (normalmente cinco dias) a uma temperatura constante de 20 °C. A DBO é expressa por mg de oxigênio por litro, ou simplesmente mg L⁻¹.

DQO: demanda química de oxigênio - é uma medida do oxigênio consumido durante a oxidação química do material orgânico no efluente.

Quantifica a quantidade de um oxidante químico (permanganato de potássio ou dicromato de potássio) consumido por uma amostra de efluente, sendo expressa por mg L^{-1} .

Sólidos em suspensão: mede a massa seca de sólidos retidos em filtro com diâmetro dos poros de $1.2 \mu\text{m}$, expresso em mg L^{-1} .

Cor: cor real é a medida de cor após remoção de turbidez. Cor é determinada pela comparação visual com concentrações conhecidas de determinadas soluções. O método platina-cobalto é padrão e a unidade de cor é aquela produzida por $1 \text{ mg platina L}^{-1}$ na forma do íon cloroplatinado. Expresso por unidade de cor, ou unidade Hazen (uH), ou simplesmente mg L^{-1} .

AOX: halógenos orgânicos adsorvíveis (adsorbable organic halogen) - é uma medida aproximada do material organo-clorado no efluente. Expresso em mg Cl L^{-1} .

Toxicidade e dioxinas: toxicidade pode ser medida como toxicidade aguda ou crônica. Toxicidade aguda denominada CL50 em 96 horas, ou seja, concentração de efluente (% misturado com água) que causa a morte de 50% de uma espécie selecionada (peixe, microcrustáceo) em 96 horas. Toxicidade aguda pode também ser medida através do equipamento MICROTOX, ou seja, concentração de efluente que causa a redução de 50% da luz de bactérias fotoluminescentes marinhas.

A toxicidade crônica relaciona os efeitos a longo prazo dos efluentes no crescimento e na reprodução, além da letalidade de uma espécie. Um período de tempo relativamente longo refere-se a pelo menos 1/10 da vida do organismo.

Dioxina é o nome dado normalmente aos membros da família de compostos cíclicos aromáticos clorados, que compreendem os PCDD's (policlorados dibenzo dioxinas e PCDF (policlorado dibenzo furanos).

A seguir, na Figura 4, são apresentadas as faixas de valores de sólidos em suspensão, DBO e AOX mais frequentes encontradas no diversos setores de uma fábrica de celulose kraft. Note-se que somente no branqueamento é dado a faixa de AOX, por se tratar o único setor de interesse em relação aos compostos organoclorados.

Efluentes Líquidos (kg/tsa)

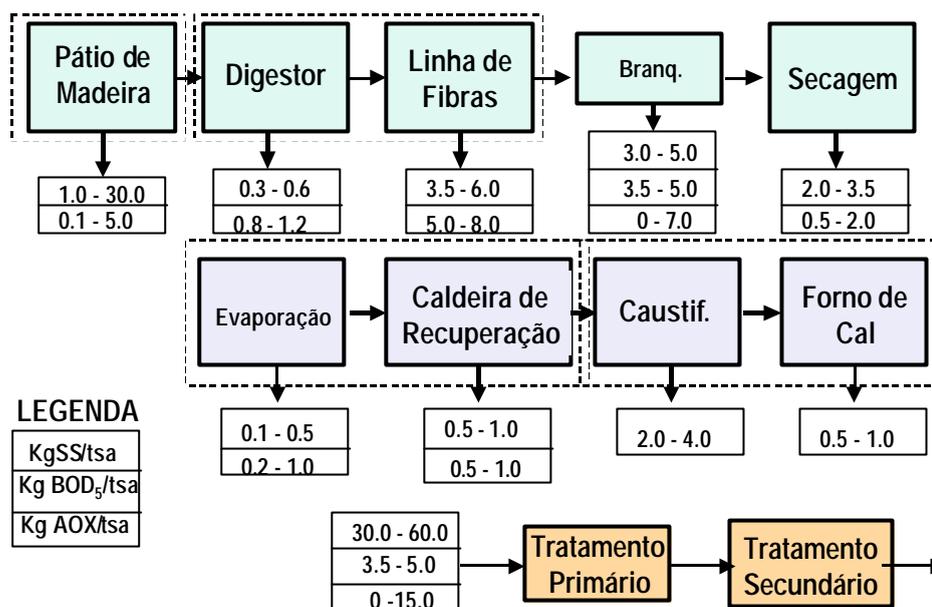


Figura 4 – Sólidos suspensos, DBO e AOX de efluentes líquidos setoriais de uma fábrica de celulose kraft.

Um esquema do processo kraft, mostrando os principais fluxos e valores típicos de sólidos, DBO e AOX neles contidos, está apresentado na Figura 5.

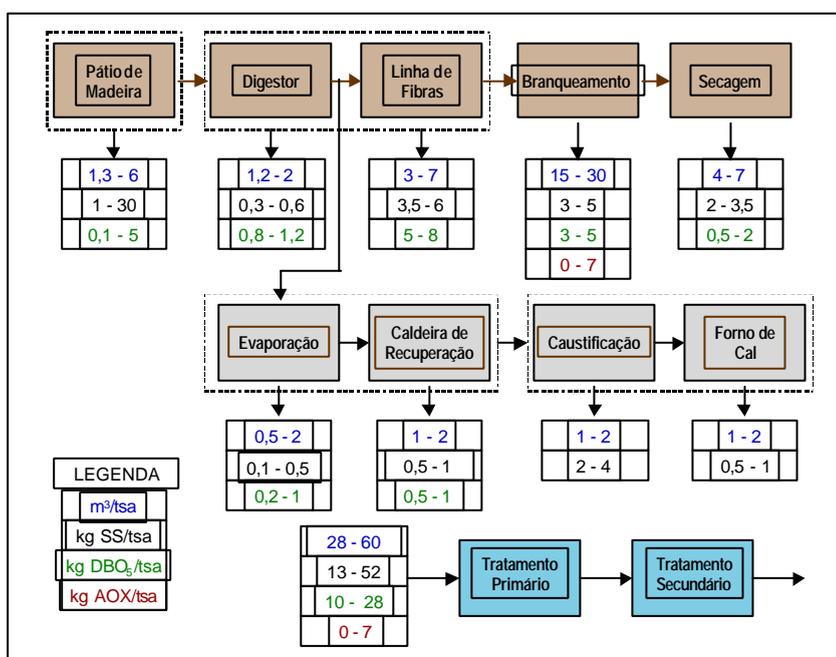


Figura 5 – Fluxograma do processo de produção de polpa kraft branqueada, com valores típicos de vazões, sólidos suspensos (SS), matéria orgânica biodegradável (DBO₅) e organoclorados (AOX) nos principais fluxos por tonelada de polpa produzida.

2.2.2. Controle preventivo dos efluentes líquidos

Nas últimas décadas, a indústria de celulose e papel vem sendo obrigada a modificar e adaptar seus processos de produção com o objetivo de melhorar seu desempenho ambiental, cumprindo as exigências ambientais legais cada vez mais restritivas e rigorosas. Assim, torna-se capaz de satisfazer um mercado altamente competitivo, e de responder à opinião pública cada vez mais atenta às questões ambientais.

As fábricas que produzem celulose branqueada através do processo kraft tem singular importância neste contexto primeiro por ser o processo dominante no mundo, e segundo pelo fato de demandarem um grande volume d'água e conseqüentemente, gerar grande volume de efluentes líquidos.

As práticas de controle interno da poluição na indústria de celulose e papel não são recentes, mas certamente ganharam um grande impulso nas últimas décadas.

Muitas pesquisas têm sido realizadas, e novas tecnologias têm sido desenvolvidas no intuito de assegurar uma melhor performance ambiental sem, no entanto, reduzir a qualidade da celulose e papel produzidos.

Tais tecnologias abrangem todo o processo, desde a preparação da madeira até a máquina de celulose e, ou, papel. Apenas para citar alguns exemplos, o descascamento a seco, a introdução do cozimento estendido modificado, a pré-deslignificação com oxigênio, o uso de químicos no branqueamento sem cloro e os sistemas de controle de derrames (spill control) são tecnologias relativamente novas que já encontram grande aplicação na indústria.

Há até mesmo pesquisas voltadas para a eliminação total de efluentes no chamado TEF (Total Effluent Free), através do completo fechamento de circuitos no processo.

2.2.2.1. Polpação

A seguir, os principais aspectos ambientais da polpação são apresentados. Uma breve descrição dos aspectos ambientais de outros setores, mas que estão intimamente relacionados à polpação, também será apresentada.

a) Tecnologias de polpação

Existe atualmente uma grande variedade de pesquisas em que se tenta encontrar diferentes modos de polpação que sejam técnica e economicamente viáveis, e que gerem menos poluentes. Tais estudos ainda não são conclusivos ou não se apresentavam viáveis, de forma que o processo sulfato ou kraft é ainda o mais utilizado para a produção química de celulose. O objetivo principal deste processo é a separação da celulose e da hemicelulose dos demais constituintes da madeira (lignina, extrativos, entre outros).

Várias modificações no processo kraft têm sido investigadas e em muitos casos, tem-se tornado de uso corrente na indústria. Tais modificações servem não apenas para otimizar a qualidade e rendimento do processo, mas também contribui significativamente para a melhoria da performance ambiental, ou seja, reduz as cargas poluentes emitidas no processo.

b) Cozimento (extendido) modificado

No cozimento convencional o licor branco é adicionado com os cavacos simultaneamente na entrada do digestor. No início dos anos 1980, o STFI sueco desenvolveu o conceito de cozimento modificado, cuja idéia é reduzir a concentração de álcali no início do cozimento. Isto pode ser alcançado adicionando o licor branco em diversos pontos do digestor, e não somente no início, com os cavacos. Isto acarreta na redução do número kappa e também observa-se uma diminuição na taxa de rejeitos, além de apresentar uma operação mais estável. Reduzindo-se o número kappa e a quantidade de impurezas que seguem para o branqueamento, há uma redução de consumo de químicos nesta unidade subsequente. Tanto sistemas de cozimento modificado contínuos e batelada são disponíveis no mercado.

c) Cozimento Isotérmico (ITC)

O princípio do cozimento isotérmico é caracterizado pela uniformidade da temperatura ao longo do cozimento. Este processo favorece a viscosidade e resistência da polpa, resultando numa polpa mais uniforme e com menos

rejeitos, além de permitir uma melhor branqueabilidade da polpa com redução do consumo de insumos químicos no branqueamento.

d) Uso de aditivos

O acréscimo de aditivos ou compostos químicos tem sido investigado intensivamente no intuito de estabilizar os extremos das cadeias de moléculas de celulose e hemicelulose, protegendo contra as reações de descascamento (*peeling*).

Já nos anos 1960 a utilização de pré-tratamento dos cavacos com H₂S, ou a adoção do processo polisulfeto mostravam-se capazes de aumentar o rendimento em até 7%. No entanto, ambos os métodos apresentam problemas técnico-econômicos e ambientais que inviabilizam o seu uso.

Mais recentemente, o uso de antraquinona (AQ) tem demonstrado um acréscimo de rendimento de 2 a 3%, quando apenas 400 g t⁻¹ de polpa deste composto é utilizada, além de reduzir o consumo de álcali efetivo. O alto custo de AQ ainda inibe o uso mais generalizado deste aditivo, mas certamente tem-se aí um grande potencial para uso na indústria.

2.2.2.2. Outras práticas preventivas para o controle dos efluentes líquidos

Considerando-se que o processo de polpação não se limita ao cozimento, mas também às operações anteriores e posteriores no digestor, pode-se listar uma série de modificação e melhorias que têm sido pesquisadas e implementadas nas fábricas com o objetivo de otimizar o processo e reduzir as emissões dos poluentes. Dentre estas práticas pode-se citar:

a) Descascamento a seco

Tal método de descascamento tem sido largamente adotado na indústria no lugar do descascamento com água. Isto reduz significativamente o consumo de água no pátio de madeira e conseqüentemente reduz a geração de efluentes líquidos com alta carga de sólidos suspensos e DBO.

b) Controle de qualidade dos cavacos

Peneiras que separam cavacos por espessura têm um impacto significativo na eficiência do cozimento, e conseqüentemente na redução de geração de rejeitos, que por sua vez reduz o consumo de agentes químicos no branqueamento. A uniformidade dos cavacos traz um benefício operacional e ambiental.

c) Circuito fechado na depuração de massa escura

Os modernos sistemas de peneiramento e remoção de nós com reciclagem completa do licor preto trazem benefícios tanto à operação quanto ao desempenho ambiental na linha de fibras.

d) Otimização da lavagem de massa escura

A adequada lavagem da massa escura beneficia sobremaneira o sistema de recuperação do licor negro, bem como otimiza a utilização de químicos no branqueamento. Evidentemente isso faz reduzir a carga poluente nos efluentes.

e) Deslignificação com oxigênio

É possível reduzir uma quantidade significativa de lignina remanescente na polpa (até 50%) através do estágio de pré-branqueamento com O₂. Como a água de lavagem desta unidade é encaminhada para o ciclo de recuperação, há uma redução significativa de DQO e cor nos efluentes do branqueamento quando a pré-O é utilizada.

f) Controle de derrames

Em fábricas modernas existe a possibilidade de se instalar sistemas de controle de derrame, que basicamente consistem de conjuntos elevatórios e tanques, que num eventual derrame (*Spill*) as comportas das canaletas dos

efluentes são fechadas e os efluentes bombeados para os tanques e eventualmente para o processo. Normalmente tais sistemas são automáticos e controlados por condutivímetro.

2.2.2.3. Branqueamento

Por pressões ambientais e de mercado, a indústria de celulose foi levada a reduzir e mesmo eliminar o cloro elementar dos seus estágios de branqueamento. O processo que não utiliza o cloro molecular no branqueamento é referido como branqueamento ECF (*elemental chlorine-free*). O processo que não utiliza nem mesmo qualquer composto clorado no branqueamento é denominado TCF (*total chlorine-free*). Na América do Norte, o processo ECF, utilizando-se o dióxido de cloro ganhou grande aceitação, e atualmente é amplamente aplicado. Por outro lado, as seqüências TCF, até o momento, não se impuseram no mercado devido aos altos custos e a qualidade ainda inferior da polpa, quando comparadas à das seqüências ECF. Além do mais, os ganhos ambientais que seqüências TCF podem propiciar em relação às seqüências ECF são discutíveis. A seguir, apresenta-se uma descrição breve dos efeitos observados nos efluentes líquidos do branqueamento quando da utilização de seqüências ECF e TCF.

DBO: há uma diminuição de 20-30% na DBO utilizando-se seqüências ECF, em relação a seqüências convencionais. Na literatura os valores de DBO em seqüências TCF não diferem muito dos sistemas convencionais. No entanto, não há muitos estudos nesta área, especialmente para as folhosas (*hardwoods*).

DQO: há uma diminuição de 20-25% na DQO quando seqüências ECF são utilizadas. Na seqüência TCF há uma variação grande, reportada na literatura.

COR: diminuição de até 70% é observada quando da utilização ECF. Uma diminuição ainda maior é observada quando se utiliza o ozônio no primeiro estágio de branqueamento.

AOX: em seqüências ECF uma pequena quantidade de AOX é encontrada por causa da reação intermediária do ClO_2 formando ácido hipocloroso, que reage com material orgânico formando material clorado. Em seqüências TCF, AOX é desprezível como se esperava.

Toxicidade: tanto as seqüências ECF quanto a TCF eliminaram virtualmente a produção de compostos organoclorados persistentes e bioacumulativos dos efluentes do branqueamento. No entanto, pesquisas têm mostrado que efeitos subletais em peixes são observados quando expostos a efluente de celulose, mesmo quando não há branqueamento. Tal fato sugere que tais alterações são causadas por outros componentes da madeira, tais como extrativos.

2.2.3. Controle dos efluentes líquidos

Em fábricas de celulose e papel, o tratamento dos efluentes líquidos é normalmente composto por uma seqüência de quatro etapas distintas com diferentes objetivos:

- 1) tratamento preliminar: visa a remoção de sólidos grosseiros;
- 2) tratamento primário: visa a remoção de sólidos em suspensão;
- 3) tratamento secundário biológico: visa a remoção da matéria orgânica biodegradável e toxicidade; e
- 4) tratamento terciário: objetiva essencialmente a remoção de cor e um polimento do efluente proveniente do tratamento secundário.

Normalmente, nas fábricas de celulose e papel, o tratamento biológico secundário é suficiente para enquadrar os seus efluentes nos limites de lançamento, sendo o tratamento terciário raramente adotado. A Figura 6 resume através de uma representação esquemática as fases de tratamento dos efluentes usualmente adotados em fábricas de celulose e papel.

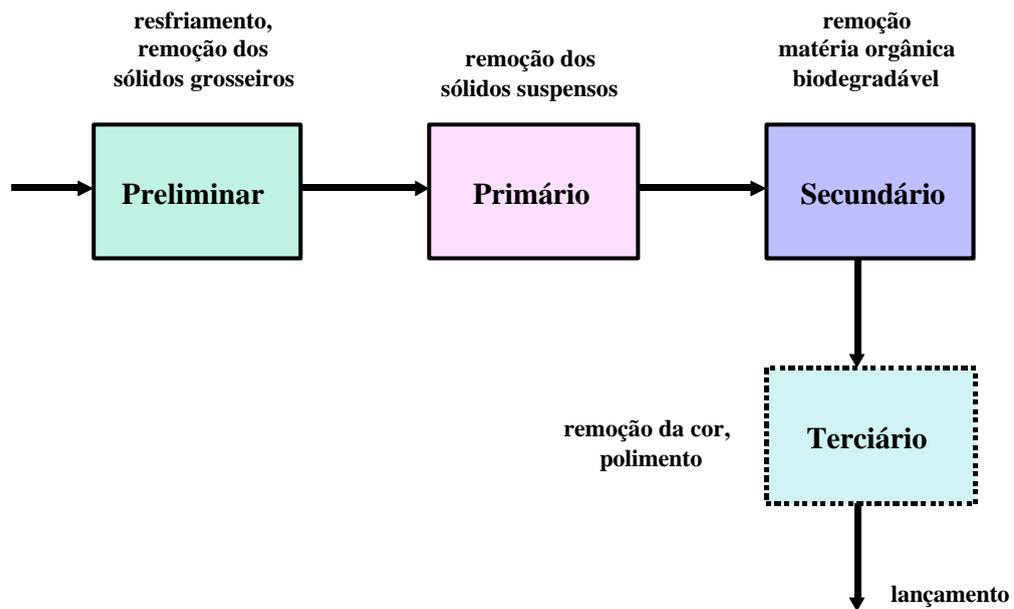


Figura 6 – Seqüência de tratamento de efluentes em fábricas de celulose e papel.

2.2.3.1. Tratamento preliminar

Em fábricas integradas na produção de celulose e papel através do processo kraft, dois tipos de tratamento preliminar são adotados: resfriamento do efluente e remoção dos sólidos grosseiros. A remoção de areia através de caixas de areia não são normalmente necessárias em fábricas de celulose e papel, embora ocasionalmente haja necessidade de se implementar este sistema para tratamento de efluente setorial no pátio de madeira, uma vez que as toras de madeira provenientes do campo podem conter muita areia.

O resfriamento dos efluentes é geralmente requerido nas fábricas de celulose e papel, pois os efluentes podem chegar à estação com temperaturas superiores a 45 °C, e a temperatura ideal para o tratamento biológico secundário mesofílico é de 35 °C, devendo, desta forma, o mesmo ser resfriado antes de entrar no reator biológico. Em algumas fábricas, que adotam lagoas aeradas (longo período de retenção hidráulica) como forma de tratamento biológico, não se adota qualquer dispositivo de resfriamento dos efluentes, sendo que o rebaixamento da temperatura ocorre no início da primeira lagoa, havendo pouco comprometimento com a eficiência global do sistema.

Já nas fábricas que adotam sistemas biológicos de alta taxa, como os lodos ativados, os efluentes são normalmente resfriados através de torres de resfriamento, que reduzem as temperaturas dos efluentes a níveis ótimos para o tratamento biológico.

A quantidade de sólidos grosseiros com diâmetros superiores a 5 cm é pouco significativa nas fábricas de celulose e papel. No entanto, sistemas de gradeamento são normalmente utilizados para remoção de eventuais sólidos grosseiros. A remoção destes sólidos se faz particularmente necessária para proteger os equipamentos mecânicos subseqüentes do sistema de tratamento, como por exemplo os conjuntos motobombas.

Existem diversos tipos de gradeamento no mercado, podendo ser equipados com sistemas de limpeza automática ou manual. Normalmente o espaçamento e a espessura das barras são os parâmetros críticos para a escolha do gradeamento, devendo ser escolhido de acordo com o menor diâmetro de sólidos que se deseja remover. Sistemas de fácil limpeza e manutenção devem ser escolhidos, sobretudo para facilitar o trabalho operacional.

2.2.3.2. Tratamento primário

Dentre os principais poluentes presentes nos efluentes líquidos das fábricas de celulose e papel estão os sólidos em suspensão. Os possíveis efeitos poluidores dos sólidos em suspensão lançados diretamente nos corpos d'água receptores incluem problemas estéticos, depósitos de lodos no fundo destes corpos d'água e adsorção de poluentes. Além disso, a remoção dos sólidos suspensos é bastante desejável antes de um tratamento biológico secundário. A presença do excesso de sólidos pode prejudicar sobremaneira a eficiência do tratamento biológico.

As quantidades de sólidos suspensos em fábricas de celulose kraft branqueada variam dependendo do grau de "fechamento de circuitos" e das condições operacionais destas fábricas. Estes valores variam de 30 a 90 kg tsa⁻¹. Em máquinas de papel estes valores podem variar de 20 a 30 kg tsa⁻¹. Evidentemente os valores mínimos referem-se a processos mais modernos de produção.

Os sólidos suspensos presentes nos efluentes de fábricas de celulose e papel consistem basicamente de fibras de celulose, carga (*fillers*) que são os aditivos usados na fabricação do papel, e quando existentes, materiais provenientes do revestimento de papéis.

A remoção de sólidos em suspensão é normalmente efetuada através de decantação por gravidade, e em alguns casos através de flotação. Os sólidos oriundos do processo de decantação ou flotação normalmente requerem tratamento subsequente de adensamento e desidratação. O adensamento de lodos é freqüentemente efetuado através de espessadores por gravidade, centrífugas ou por flotação. Após adensados, ou em alguns casos diretamente dos decantadores primários, o lodo é enviado para unidades de desaguamento que incluem prensas desaguadoras, filtros a vácuo e centrífugas.

2.2.3.3. Tratamento secundário

Os processos de tratamento aeróbios são os mais utilizados na indústria de celulose e papel. Dentre os processos aeróbios, as lagoas aeradas e o processo dos lodos ativados são os mais comuns. Processos com crescimento aderido ou de superfície, como os filtros biológicos e discos rotativos são raramente utilizados.

a) Lagoas aeradas

Lagoas aeradas são sistemas de tratamento relativamente simples e de fácil operação. Consiste de lagoas com profundidades que variam de 2,0 a 3,0 m, equipadas com sistemas de aeração. A aeração pode ser efetuada por aeradores superficiais mecânicos ou difusores de ar e compressores de ar. As lagoas aeradas são normalmente seguidas por lagoas de decantação ou polimento que servem para remover sólidos em suspensão antes de serem lançados no copo d'água receptor.

O lodo produzido nas lagoas aeradas decantam na própria lagoa e, ou, na lagoa de polimento, e a limpeza destas lagoas deve ser efetuada periodicamente. Vale ressaltar, no entanto, que o volume dos sólidos decantados é significativamente reduzido devido a eventual auto-

oxidação/mineralização destes sólidos. Portanto, a frequência de limpeza destas lagoas, feita com auxílio de dragas, pode ser superior a dez anos.

No processo de tratamento através de lagoas aeradas não há recirculação do lodo, sendo normalmente necessário um longo tempo de retenção hidráulica, que varia de 5 a 10 dias nas indústrias de celulose e papel.

Altas remoções de DBO_5 e toxicidade são alcançadas através deste processo de tratamento. No entanto, pelo fato de requererem grandes tempos de retenção hidráulico, demandam grande áreas. Quando não há disponibilidade de grandes áreas para a construção de lagoas aeradas, normalmente opta-se por um sistema de alta taxa dos lodos ativados.

b) Lodos ativados

Os sistemas de lodos ativados consistem de reatores biológicos equipados com sistema de aeração seguidos por decantadores secundários para remoção dos sólidos biológicos. Estes sólidos são, por sua vez, parcialmente reciclados para o tanque de aeração. Ao contrário das lagoas aeradas, a recirculação da biomassa, comumente conhecida como lodo biológico, permite manter altas concentrações de microrganismos no tanque de aeração (2.000-8.000 mg/L). Desta forma, o tempo de retenção hidráulico pode ser significativamente reduzido (12-24 horas). Assim, tanques de aeração normalmente possuem uma profundidade de 4-5 m e requerem áreas bem menores do que a das lagoas. A operação deste sistema é mais complexa e demanda um controle mais intenso das condições no reator biológico.

2.3. Caracterização e controle das emissões atmosféricas de fábricas kraft de celulose e papel

As emissões atmosféricas mais significativas na indústria de celulose e papel estão associadas ao processo kraft. Os principais poluentes gerados neste processo e passíveis de controle são os materiais particulados, compostos de enxofre reduzido total (TRS), óxidos de nitrogênio e de enxofre (SO_x , NO_x), compostos orgânicos voláteis (VOC), e quando utilizados no branqueamento, cloro e dióxido de cloro.

A seguir, são apresentadas as principais fontes, os tratamentos e formas de redução, o monitoramento e controle destas emissões.

2.3.1. Caracterização dos principais poluentes e fontes de emissão

Os principais poluentes aéreos produzidos na fabricação de celulose sulfato branqueada são listados a seguir. A Figura 7 apresenta as principais fontes geradoras.

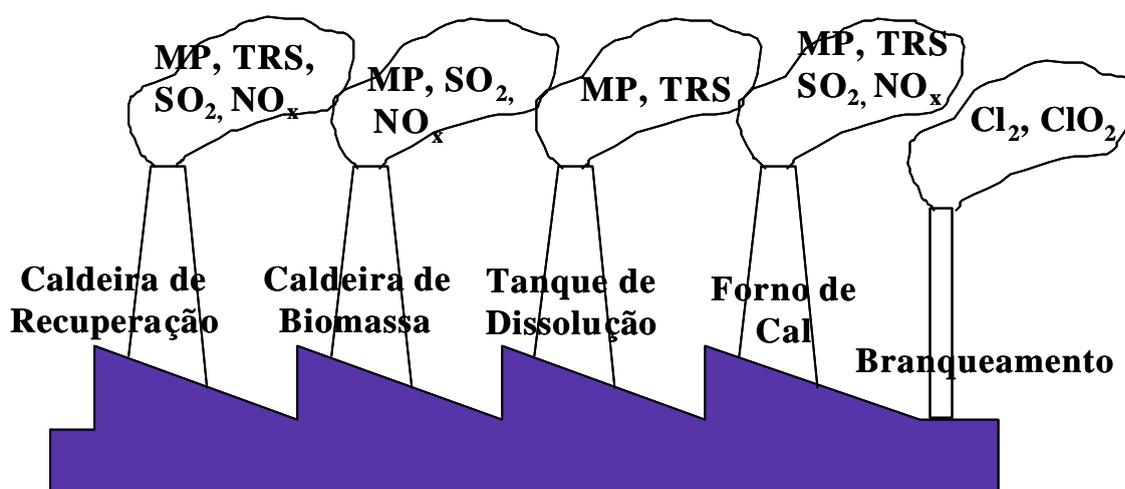


Figura 7 – Fontes de Emissões aéreas em fábricas de celulose e papel.

a) Material particulado

São partículas cujos tamanhos estão entre 1–30 µm. Estas partículas são consideradas poluentes pelo fato de causarem problemas à saúde das pessoas expostas a elas. Tais partículas têm a capacidade de penetrar no sistema respiratório humano e causar danos à saúde. Além disso, dependendo da sua origem, essas partículas podem possuir o caráter corrosivo e destruir bens móveis e imóveis. As principais fontes de material particulado nas fábricas são a caldeira de recuperação, caldeira de biomassa, forno de cal e tanque de dissolução de fundidos.

b) TRS

Os compostos de enxofre reduzido total, quais sejam, sulfeto de hidrogênio (H_2S), metil mercaptana (CH_3SH), dimetil sulfeto (CH_3SCH_3), dimetil dissulfeto ($CH_3S_2CH_3$), possuem um mal odor a concentrações bem pequenas (ppb), ou podem acarretar sérios problemas de desconforto às comunidades adjacentes às fábricas de celulose kraft. As principais fontes de geração dos TRS são o digestor, evaporadores e caldeira de recuperação.

c) Óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio

Os óxidos de enxofre estão normalmente na forma de SO_2 , e são liberados em todos os pontos onde há queima de enxofre. As principais fontes são o queimador de enxofre, o forno de cal, caldeira de biomassa e caldeira de recuperação. A emissão de óxidos de nitrogênio é mais genérica, pois o ácido nítrico é formado quando O_2 e N_2 , presentes no ar, são expostos a altas temperaturas. A principal fonte é o forno de cal e a caldeira de biomassa. Evidentemente, tais emissões estão intimamente relacionadas com as condições operacionais da planta. Os efeitos ambientais relacionados com a emissão destes compostos são a saúde humana, corrosão e danos à vegetação.

d) VOC

Compostos orgânicos voláteis são emitidos em diversos pontos no processo kraft. A fonte mais significativa são os gases não-condensáveis do digestor e da evaporação. Os principais compostos são considerados tóxicos ao ser humano, e podem reagir fotoquimicamente na atmosfera e produzir ozônio.

e) Cl_2/ClO_2 /clorofórmio

As emissões de cloro, dióxido de cloro e clorofórmio são gerados no branqueamento quando o cloro ou compostos clorados são utilizados como agentes de branqueamento. Os efeitos ambientais relacionam-se com a

toxicidade, além de provocarem corrosão e serem particularmente perigosos à saúde humana.

2.3.2. Equipamentos de controle

Existem diversas formas de se controlar as emissões atmosféricas nos diversos pontos de emissão, e diversos tipos de equipamentos de controle e remoção de poluentes são utilizados na indústria. A seguir, apresenta-se uma breve descrição de alguns dos equipamentos mais comuns utilizados na indústria de celulose e papel.

a) Material particulado

i) Precipitadores eletrostáticos

Consistem de equipamentos que carregam as partículas do gás com cargas elétricas negativas, atraindo-as através de eletrodos de placa carregados positivamente. As partículas são coletadas na parte inferior do precipitador. Estes equipamentos são muito eficientes e atingem remoções acima de 99% do material particulado presente no gás. Entretanto, são também os de maior custo de instalação e operação. Precipitadores eletrostáticos são geralmente utilizados nas caldeiras de recuperação, caldeira de biomassa e forno de cal.

ii) Ciclones

Separadores inerciais ou ciclones são equipamentos que utilizam a força centrífuga para separar as partículas mais pesadas do gás. A eficiência destes equipamentos é relativamente baixa se comparada aos precipitadores eletrostáticos, mas o seu custo é muito inferior. Caldeiras de biomassa são normalmente dotadas destes equipamentos para remoção de partículas maiores e mais pesadas.

iii) Scrubbers (lavadores de gases)

Lavadores de gases ou *scrubbers* utilizam o princípio de separação dos ciclones adicionados à lavagem dos gases utilizando dispersores de água. Existem diversos tipos de lavadores de gás, mas lavadores Venturi e ciclones múltiplos são os mais utilizados nos tanques de dissolução de fundidos e caldeiras de biomassa. Eficiências de remoção de até 98% podem ser alcançadas através destes equipamentos.

b) TRS

Existem diversas formas de se lidar com as emissões de gases contendo TRS. Normalmente, coletam-se os gases com alta concentração e baixo volume dos digestores e evaporadores separadamente, e encaminha-os para serem incinerados no forno de cal ou em alguma unidade de incineração separada. Os gases com baixa concentração e grandes volumes das áreas de lavagem da massa escura e tanque de dissolução são também encaminhados para incineração no forno de cal, caldeira de biomassa e às vezes para caldeira de recuperação.

- Cl₂, ClO₂

Atualmente as plantas de branqueamento que utilizam o cloro ou compostos clorados são equipados com lavadores de gases (*scrubbers*). Este sistema é bastante eficiente para remoção destes compostos.

- SO_x, NO_x

Os óxidos de enxofre e nitrogênio são normalmente controlados através de condições operacionais específicas.

2.4. Caracterização e controle dos resíduos sólidos de fábricas kraft de celulose e papel

As fábricas de celulose e papel geram uma grande variedade de resíduos sólidos que podem ser reutilizados ou precisam ser adequadamente dispostos. Os resíduos sólidos gerados em fábricas de celulose e papel são considerados não-perigosos pela legislação brasileira. A seguir, são apresentadas as principais fontes de geração, a caracterização e o manuseio e disposição final destes resíduos provenientes de fábricas kraft integradas de celulose e papel.

2.4.1. Caracterização e fontes de geração

Os resíduos sólidos gerados no processo de produção de celulose branqueada kraft são listados a seguir. Uma representação esquemática das fontes e quantidades destes resíduos é apresentada na Figura 8.

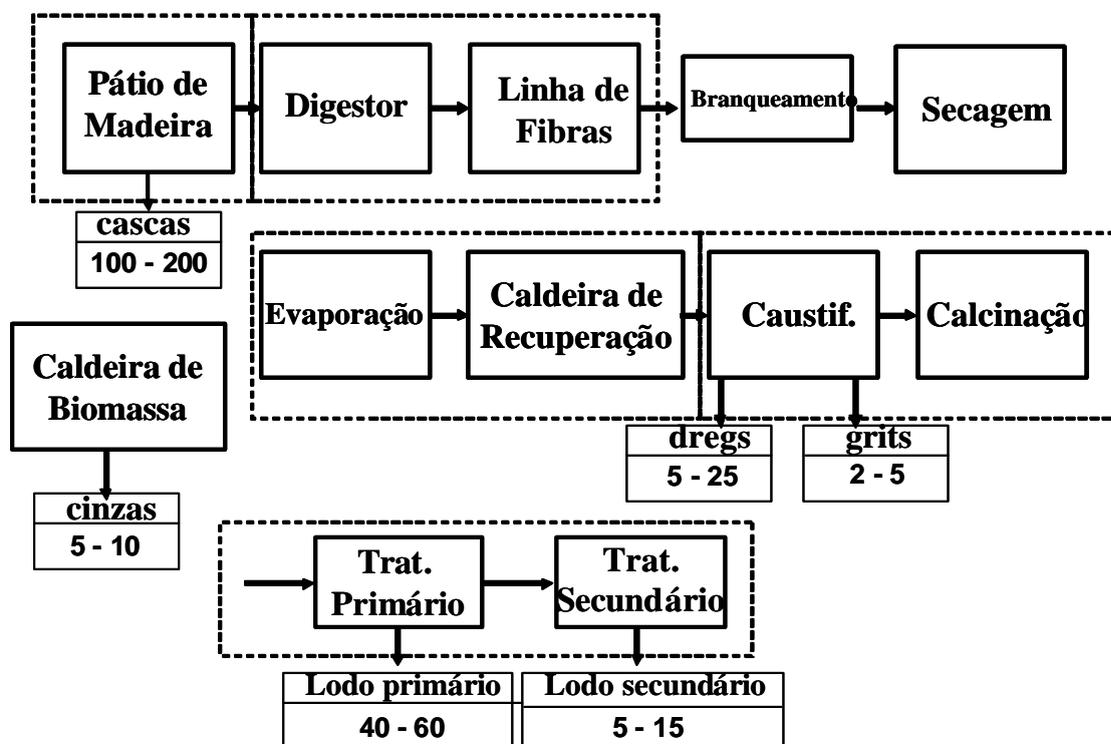


Figura 8 – Geração de resíduos sólidos numa fábrica de celulose kraft.

2.4.1.1. Lodo primário

O lodo primário é proveniente do sistema primário de tratamento de efluentes. Normalmente o lodo retirado dos decantadores ou flotores são adensados e desaguados a consistência de 20 a 30%. A composição dos sólidos no lodo primário é variável e depende evidentemente das perdas de sólidos em suspensão do processo. Em geral o lodo possui 50-60% de material orgânico, principalmente fibras de celulose. A parte inorgânica é normalmente originária da máquina de papel e caustificação.

As quantidades da produção de lodo primário são também variáveis, mas numa fábrica moderna, de forma geral, estima-se uma quantidade de 40 a 60 kg tsa⁻¹ (base seca). O lodo primário é normalmente misturado ao lodo secundário biológico, quando este também é gerado nos tratamentos biológicos de alta carga. Em algumas fábricas, parte do lodo primário é queimado na caldeira auxiliar de biomassa. A utilização do lodo como condicionador de solos é também viável, embora um tratamento prévio de compostagem do lodo seja conveniente. Por fim, em algumas fábricas, o lodo primário é encaminhado para aterros industriais ou sanitários.

2.4.1.2. Lodo biológico secundário

O lodo biológico é proveniente do sistema de tratamento secundário de efluentes. Como o lodo primário, o lodo biológico secundário é adensado e desaguado em equipamentos específicos, alcançando uma consistência de 20-35%. A natureza deste lodo, que consiste de células biológicas, dificulta o seu adensamento e freqüentemente é misturado ao lodo primário antes de encaminhá-lo às unidades de desaguamento (prensas desaguadoras, centrífugas, filtros a vácuo, etc.).

A produção de lodo dos sistemas de lodos ativados varia dependendo das condições operacionais adotadas, mas a título de exemplo, a produção gira em torno de 5-15 kg tsa⁻¹ (base seca).

A aplicação de lodo biológico nas florestas como condicionadores de solo é viável, embora a compostagem prévia seja recomendada. Em algumas

fábricas, o lodo biológico é encaminhado para o aterro industrial e em outras misturado ao licor preto para queima na caldeira de recuperação.

2.4.1.3 Cinzas da caldeira de biomassa

A produção de cinzas proveniente das caldeiras auxiliares de biomassa gira em torno de 5-10 kg tsa⁻¹, e como produto da combustão de cavacos, cascos, etc., as cinzas são ricas em potássio, o que as conferem um grande potencial para reutilização e aplicação nos solos.

2.4.1.4 Dregs

Os *dregs* são oriundos da clarificação do licor verde, constituído de impurezas tais como partículas de combustão incompleta, óxido de cálcio, ferrugem, sílica. Normalmente os *dregs* representam de 10-15 kg tsa⁻¹ (base seca) e são encaminhados para o aterro industrial. Em algumas fábricas os *dregs* são misturados com outros resíduos e utilizados como condicionadores de solos.

2.4.1.5 Grits

Provenientes do apagador de cal, os *grits* constituem-se de impurezas de cal, CaCO₃, SiO₂, Al₂O₃. São produzidos em torno de 2-5 kg tsa⁻¹ (base seca). São normalmente encaminhados para aterro, mas também em algumas fábricas são misturados com outros resíduos e utilizados como condicionadores de solos.

2.4.1.6. Cascas

A geração de cascas também depende essencialmente do tipo de madeira utilizada e do processo de descascamento adotado, mas a quantidade gira em torno de 5-10 kg tsa⁻¹. As cascas são normalmente encaminhadas para caldeira de biomassa, embora a reutilização na floresta como condicionados de solos seja viável.

2.4.1.7 Outros

Resíduos sólidos provenientes dos escritórios, restaurantes, oficinas, podem ser significativos, (1-3 kg tsa⁻¹). Quando não há separação e reciclagem, tais resíduos são geralmente encaminhados para o aterro.

2.4.2. Controle e disposição final

Há uma grande tendência da indústria de separar, reciclar e comercializar a maioria dos seus resíduos. Os resíduos da indústria são classificados como resíduos “não perigosos” e “não inertes”. Uma grande parte dos resíduos da indústria de celulose e papel tem alto teor de matéria orgânica, sobretudo de fibras celulósicas, e portanto são passíveis de compostagem. Os resíduos que não podem ser reciclados ou comercializados são dispostos em aterros sanitários industriais. A seguir são apresentados alguns aspectos importantes dos aterros sanitários industriais.

O aterro sanitário e, ou, industrial é um processo utilizado para disposição dos resíduos sólidos no solo, que lhes permite um confinamento seguro em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública.

Na implantação do aterro deve-se observar:

i) Escolha de área apropriada onde haja

- baixa densidade populacional;
- baixo potencial de contaminação do aquífero;
- subsolo com alto teor de argila; e
- área não sujeita a inundações.

ii) Projeto

- determinar vida útil do aterro;
- determinar parâmetros tais como nível lençol freático, permeabilidade do solo, dados meteorológicos; e
- sistema de drenagem e coleta de chorume.

iii) Operação

- trator de esteira.

- compactação (50 cm) e cobertura (15 cm) do resíduo com camada de argila, evitando proliferação de vetores, utilizando-se o método de área, trincheira ou rampa.

iv) Monitoramento

Todo aterro deve ser previsto o monitoramento do lençol freático e das águas superficiais. O sistema de coleta e tratamento do percolado ou chorume deve também ser monitorado.

v) Fechamento

Após fechamento do aterro, os sistemas de monitoramento, coleta e tratamento de percolado ou chorume devem ser mantidos por mais 20 anos após fechamento. Muitas vezes as áreas aterradas são passíveis de reutilização. Entretanto, um planejamento antecipado deve ser feito sobre a utilidade futura do local.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, T.N. et al., Kraft Recovery Boilers, 1 ed., Atlanta: Tappi Press, 1997.

BELLIA, Vitor. **Introdução à economia do meio ambiente**. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1996.

CAMPOS, Lucila M. de S. **Um estudo para a definição e identificação dos custos da qualidade ambiental**, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

D'ALMEIDA, M. L. O. Celulose e Papel - Tecnologia de Fabricação da Pasta Celulósica Volume 1, 2 ed., São Paulo: IPT, 1988.

DENCE, C., REEVE, D. Introduction to the principles and practice of pulp bleaching, In: Dence, C., Reeve, D. (Eds.), Pulp bleaching - principles and practice. Atlanta: Tappi Press, 1996. p.1-24.

EDF (Environmental Defense Fund). Paper Task Force. White Paper No. 5 - Environmental Comparison of Bleached Kraft Pulp Manufacturing Technologies, Washington, 1995.

GREEN, R.P., HOUGH, G., Chemical Recovery in Alkaline Pulping Process, 3 ed., Atlanta: Tappi Press, 1992.

HISE, R. Chlorination, In: Dence, C., Reeve, D. (Eds.), Pulp bleaching - principles and practice, Atlanta : Tappi Press, 1996. p.243-260.

McKAGUE, A.B., CARLBERG, G. Effluent Characteristics and Composition, In: Dence, C., Reeve, D. (Eds.), Pulp bleaching - principles and practice, Atlanta: Tappi Press, 1996. p.751-766.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Indicadores de Desempenho Ambiental para Empresas Certificadas pela NBR ISO 14.001. Brasília/DF, MMA, 2000.

MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES. Disponível em: <<http://www.mre.gov.br/ndsg/textos-p.htm>>. Acesso em: 11 de junho de 2001.

OSTRENGA, Michael *et al.* **Guia Ernest & Young para gestão total dos custos.** Nivaldo Montigelli Jr. 3. ed., Rio de Janeiro: Record, 1997.

O PAPEL NO BRASIL. **Revista Expressão.** Ano 10, nº 108, 2000. 114 p.

SILVA, C. M. **Controle ambiental na indústria de celulose e papel.** Apostila do Curso de Pós-Graduação ENF 666 – Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004.

SPRINGER, A. M. **Industrial environmental control** – Pulp and paper industry. 2 ed. Atlanta: Tappi Press, 1993.

US EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Supplemental technical development document for effluent limitations guidelines and standards for the pulp, paper, and paperboard category,** EPA-821-R-97, Washington-DC: Office of Water, 1997b.

US EPA UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - **Technical support document for best management practices for spent pulping liquor management, spill prevention and control,** EPA-821-R-97-011, Washington-DC: Office of Water, 1997.

CAPÍTULO 2

SISTEMAS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL

1. INTRODUÇÃO

O conceito de limite dos recursos naturais está constantemente em evidência e a variável meio ambiente vem sendo mais valorizada, assumindo a sua devida importância. A conscientização deste processo se deu através de “avisos” da própria natureza, ou seja, efeitos ambientais e desastres ecológicos que serviram para acelerar a criação deste movimento de preservação e respeito ao meio ambiente, levando em conta os problemas que o mundo passou a enfrentar e seus desdobramentos como: efeito estufa, perda da biodiversidade, redução da camada de ozônio, níveis alarmantes de poluição, escassez de água potável, desmatamento, entre outros.

Antes da década de 1970, o objetivo era produzir mais ao menor preço. Pensava-se que o meio ambiente era inesgotável, tanto no que se referia ao fornecimento das matérias-primas como ao seu potencial de absorver os resíduos produtivos e até os resíduos do próprio produto após o seu consumo ou o término da sua vida útil.

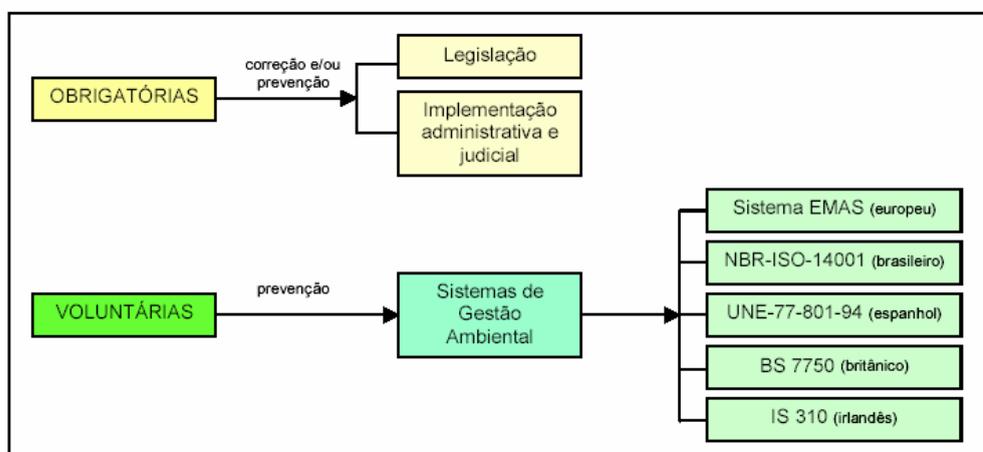
Após a “Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente”, realizada em 1972, em Estocolmo, a conscientização ambiental foi despertada, e a variável ambiental passou a ser levada em conta durante o desenvolvimento dos projetos.

Na década de 1980 a legislação ambiental brasileira, em níveis nacional e estadual, inclusive, através de legislação própria de órgãos financiadores estrangeiros (Banco Mundial, BID, Eximbank, etc.), obrigou e definiu limites que deveriam ser satisfeitos para a viabilização e a futura operação dos projetos.

Assim, as organizações produtivas de todos os portes e setores de atuação estão sendo direcionadas, pelo próprio fenômeno da globalização, a competir com concorrentes do mundo todo, elevando a disputa comercial a um patamar fundamentado em requisitos internacionais, dos quais pode-se destacar a preocupação ambiental. Diante deste quadro, as empresas assumem uma importância fundamental, devendo substituir qualquer postura reativa, em relação às questões ambientais, por uma postura pró-ativa (CALLENBACH, 1993; VALLE, 1995).

A Figura 1 apresenta os instrumentos a serem utilizados para a proteção do meio ambiente, capazes de conter este quadro, de acordo com a Fundação Universitária Ibero-americana (2001), a inclusão da variável ambiental em uma empresa pode ocorrer de duas maneiras:

- Obrigatória: regida pela legislação existente e pela implementação administrativa e judicial; e
- Voluntária: composta por sistemas de proteção ambiental assumidos pela empresa, ultrapassando os limites legalmente exigidos, chamados de Sistemas de Gestão Ambiental (SGAs), podendo os mesmos serem certificados segundo o seu enquadramento nas normas vigentes no país.



Fonte: Fundação Universitária Ibero-Americana (2001)

Figura 1 – Formas de inclusão da variável ambiental na empresa.

É importante lembrar que as normas são apenas niveladoras, atingindo basicamente as empresas interessadas em participar do mercado mundial, mas não garante um diferencial competitivo a médio e longo prazos. Na outra ponta estão, principalmente, empresas de pequeno e médio porte que transacionam seus produtos somente no mercado interno, não necessitando se enquadrarem nas normas internacionais e, muitas vezes, mantendo uma postura reativa quanto à sua adequação às regulamentações e leis governamentais.

Um caminho viável seria, então, a inovação. Continuamente, descobrem-se soluções inovadoras para pressões de todos os tipos, como impostas por concorrentes e clientes, as quais resultam em saltos tecnológicos consideráveis para as empresas.

A atividade de avaliação ambiental consiste na caracterização preliminar dos aspectos ambientais, de modo a avaliar a sua posição e auxiliar na adoção de um SGA. Contudo, a deficiência e a carência de informações para se definir um procedimento de avaliação ambiental pode contribuir para o fracasso da implementação de um sistema efetivo.

Para evitar isso, todas as atividades, produtos e serviços devem ser analisados considerando os aspectos e impactos ambientais a eles relacionados, bem como os prováveis incidentes e situações de emergência. Recomenda-se que os procedimentos adotados e os resultados obtidos sejam documentados, permitindo assim, identificar as oportunidades de desenvolvimento deste sistema.

A identificação dos aspectos e impactos ambientais deve considerar àqueles referentes às emissões atmosféricas, os lançamentos em corpos de água, as contaminações do solo, os resíduos sólidos, etc. A definição de critérios que permitam avaliar quais os aspectos que provocam maior impacto, bem como uma forma de hierarquização dos mesmos, auxilia posteriormente na implantação do SGA e na determinação das ações a serem tomadas como prioridade. Entretanto, há uma carência de informações referentes ao atendimento do item 4.3.1, da NBR ISO 14001 (ABNT, 1996), que trata da avaliação de aspectos ambientais, ou seja, da base de um sistema.

2. QUALIDADE AMBIENTAL E DESEMPENHO DAS EMPRESAS

A poluição do meio ambiente indica desperdício e ineficiência dos processos produtivos e os resíduos, na maioria dos casos, significam perdas de matérias-primas e insumos.

A Qualidade Ambiental, segundo Callenbach *et al.* (1993) “*consiste no atendimento de requisitos de natureza física, química, biológica, social, econômica e tecnológica que assegurem a estabilidade das relações ambientais no ecossistema no qual se inserem as atividades da organização*”. Sob o ponto de vista destes autores, aplicar técnicas de Gestão de Qualidade em indústrias com alto potencial de poluição tende a reverter o quadro de desperdício e poluição, de modo que o produto possua rendimento máximo por unidade de matéria-prima usada.

Esta visão de melhoria da qualidade leva as empresas a contribuírem na melhoria da eficiência dos processos produtivos, permitindo uma redução na geração de resíduos e contribuindo para a melhoria do meio ambiente.

Isto nos leva a concluir que a forma de se atingir a Qualidade Ambiental é a Gestão Ambiental, a qual é definida por Donnaire (1995) como

o conjunto de medidas e procedimentos bem definidos e adequadamente aplicados que visam reduzir e controlar os impactos introduzidos por um empreendimento sobre o meio ambiente. O ciclo de atuação da Gestão Ambiental deve cobrir desde a fase de concepção do projeto até a eliminação efetiva dos resíduos gerados pelo empreendimento.

Segundo Lerípio (2001),

As ferramentas utilizadas para alcançar a Qualidade Ambiental são em sua essência, idênticas àquelas utilizadas pela empresa para assegurar sua qualidade de produção: treinamento, plano de ação, controle de documentação, organização e limpeza, injeções e análises periódicas da situação.

Para garantir a qualidade ambiental é necessário adotar, desde a concepção de um produto e durante seu processo de produção o destino dos resíduos a serem descartados. Portanto, é preciso haver uma integração entre os diversos setores envolvidos no desenvolvimento do produto, no desenvolvimento do processo, no gerenciamento de resíduos e no gerenciamento da produção (VALLE, 1995).

A qualidade ambiental sugere a utilização consciente tanto das matérias-primas quanto da energia e dos insumos necessários ao processo. A ecoeficiência de um produto está se tornando um aspecto importante da qualidade total, podendo em muitos casos ser uma fonte de vantagens competitivas.

3. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Segundo Bello (1998), o desenvolvimento sustentável é visto como uma saída para a manutenção da qualidade de vida e, em última instância, da própria sobrevivência da espécie humana. O crescimento contínuo do produto nacional em termos globais não é um indicador confiável para atender as necessidades sociais ao longo do tempo, pois não contempla a forma como se está distribuindo social e setorialmente os benefícios.

A Declaração de Estocolmo, sobre a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano sugeriu a busca de caminhos alternativos para o crescimento que não estejam apenas baseados em parâmetros econômicos (CMMAD, 1987).

Após a Conferência de Estocolmo, a Organização das Nações Unidas criou o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) com o objetivo de melhorar a consciência e a ação ambientalista em todos os níveis da sociedade mundial, procurando despertar um cuidado maior com o meio ambiente (CMMAD, 1987).

Em 1980, através da União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN), do Fundo Mundial para Vida Selvagem (WWF) e do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) surgiu o primeiro conceito sobre Desenvolvimento Sustentável *“para ser sustentável, o desenvolvimento precisa levar em conta fatores sociais e ecológicos, assim como econômicos;*

as bases dos recursos vivos e não-vivos; as vantagens de ações alternativas, a longo e a curto prazos” (BRÜGGER, 1994).

Em 1987, a definição: “*desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades*” sugerida pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – (CMMAD, 1987) - órgão criado pela Organização das Nações Unidas para realizar um estudo sobre a situação ambiental e as prioridades a serem estabelecidas na Conferência do Rio em 1992, tornou-se mais popular.

Em 1992, realizou-se, no Rio de Janeiro, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO-92), que avaliou como os critérios ambientais haviam sido incorporados nas políticas e no planejamento dos países desde a Conferência de Estocolmo. A ECO-92 gerou dois documentos oficiais: A Carta da Terra e a Agenda 21. A primeira, também conhecida como Declaração do Rio tem como objetivo, definir acordos internacionais que respeitem os interesses gerais e protejam a integridade do sistema global de ecologia e desenvolvimento, enquanto que a Agenda 21 é um plano que visa colocar em prática programas e ações que visem retardar o processo de degradação ambiental e dar suporte ao desenvolvimento sustentável. Através da ECO-92 o Brasil entrou definitivamente no cenário ambientalista internacional (LERÍPIO, 2001).

A Conferência sobre Mudança no Clima, realizada em Kyoto, no Japão e conhecida como RIO +5, teve como objetivo estabilizar a concentração de gases que provocam o efeito estufa em níveis que não causem mudanças prejudiciais no clima do planeta. O documento oficial da Conferência, conhecido como Protocolo de Kyoto, foi aprovado em 11/12/97, e estabelecia uma meta média para a redução de emissões de gases de efeito estufa nos países industrializados de cerca de 6% até o período de 2008 a 2012.

Em 2000, realizou-se em Haia, na Holanda, a VI Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Global do Clima, que estabeleceu o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), representando um acordo entre os 159 países participantes e com o objetivo de redução na emissão de poluentes que agredissem a atmosfera.

Embora os países se posicionem de forma diferente, todos concordam que uma solução para os países em desenvolvimento é serem tratados com maior justiça econômica, caso contrário, não serão capazes e nem terão interesse em unir-se aos esforços dos países industrializados para salvar o planeta.

4. FILOSOFIAS SUSTENTÁVEIS DE PRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a sustentabilidade das comunidades humanas vem sendo discutida e sinalizando que vários aspectos precisam ser considerados, pois envolve uma cadeia de relações complexa. A sustentabilidade está diretamente ligada com o nível de exploração atribuído ao meio ambiente, proveniente das atividades desenvolvidas. Segundo Capra (1996), "princípios básicos da ecologia", podem ser usados como diretrizes para a construção de comunidades humanas sustentáveis. Estes princípios consideram os ecossistemas como estruturas com um padrão de organização dos seres vivos, abertos e coexistindo em equilíbrio e fluxo, estrutura e mudança.

Tendo estes princípios como base e reconhecendo a necessidade de evolução na busca de soluções para os problemas da própria sobrevivência humana, podemos destacar alguns elementos-chave considerados como resultado da evolução do pensamento humano e que dão apoio à sustentabilidade dos processos industriais e da existência de vida no planeta. Estes elementos são: Produção Limpa e Produção Mais Limpa, Emissões Zero (ZERI), Desempenho Sustentável, Gerenciamento de Processos (GP), Sistema de Gestão Ambiental, os quais são apresentados a seguir.

4.1. Produção limpa e produção mais limpa

Os princípios da produção limpa (*clean production*) surgiram nos anos 1980, como uma proposta da organização ambientalista internacional Greenpeace, ganhando maior visibilidade, a partir de 1989, quando a agência da ONU, dedicada ao meio-ambiente - PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente criou o programa de *Produção Mais Limpa (Cleaner Production)*.

É difícil conceber o sistema de produção absolutamente isento de riscos e resíduos. Esta é a maior justificativa da proposta *Mais Limpa*. Por isso, a diferença entre produção limpa e mais limpa pode parecer apenas sutil. Entretanto, estas diferenças exprimem a medida exata do quanto se espera conseguir, na reorientação do modelo de produção de bens e serviços.

Produção limpa e mais limpa tem como objetivo a prevenção da geração de resíduos na fonte, a exploração sustentável de fontes de matérias-primas, a economia de água e energia e o uso de outros indicadores ambientais para a indústria.

Produção Limpa (*clean production*) excede os elementos técnicos e econômicos, previstos pelo conceito de Mais Limpa (*cleaner production*), ao agregar componentes jurídicos, políticos e sociais, representados pela visão do sistema global da produção (berço-ao-túmulo) e pela aplicação de quatro princípios fundamentais: *precaução, prevenção, integração e controle democrático*.

Produção Limpa, porém, vai mais longe, estabelecendo compromissos para:

- *Precaução*: não usar matérias-primas, nem gerar produtos com indícios ou suspeitas de geração de danos ambientais;
- *visão holística do produto e processo*: avaliação do ciclo de vida; e
- *controle democrático*: direito de acesso público a informações sobre riscos ambientais de processos e produtos.

Além disso, define critérios como, reciclagem, marketing e comunicação ambiental, restringindo o uso de aterros sanitários e não recomendando a incineração indiscriminada como estratégias de manejo de lixo e resíduos.

Produção limpa e mais limpa utilizam critérios e padrões internacionais, diferentemente das diretrizes para a série ISO14000, que podem ser determinadas por quadros de certificação locais, não necessariamente orientados para a sustentabilidade. A certificação para a ISO14000 atende aos interesses dos acionistas, mas não, necessariamente, dos demais agentes econômicos que defendem o desenvolvimento sustentável. A redução de custos ambientais não contabilizados, como seguros, ações civis, perdas materiais, saúde ocupacional ou mesmo perda de mercado são benefícios da Produção Limpa e não estão previstas pela ISO14000 (FURTADO, 1999).

4.2. Emissões zero (zeri)

Em 1994, a Universidade das Nações Unidas (UNU - United Nations University), iniciou, como parte do Programa de Eco-Reestruturação para o Desenvolvimento Sustentável do Instituto de Estudos Avançados (IAS - Institute of Advanced Studies), ligado àquela universidade, a Pesquisa em Emissão Zero (*Zero Emissions Research Initiative-ZERI*) (PAULI, 1996).

Este estudo sugere uma mudança de paradigmas no conjunto das atividades econômicas, em especial dos processos de produção industrial. Associa os princípios e estratégias da qualidade total com os requisitos da qualidade ambiental, como base para promover um novo tipo de desenvolvimento sustentável. O ZERI é uma proposta visionária e inovadora, consubstanciada com o pragmatismo empresarial. Embora seu conceito ainda esteja evoluindo, vem sendo aplicada para a gestão do desenvolvimento sustentável por empresas que adotam as estratégias que ele propõe (BELLO, 1998).

O ZERI emergiu de um processo de cristalização dos ideais do desenvolvimento sustentável proclamados na Conferência de Estocolmo e consagrados na Rio-92, e da busca de estratégias apropriadas para promovê-lo.

Harmonizar as atividades econômicas com os ciclos biológicos, respeitando as leis da vida sobre o Planeta (crescimento e sobrevivência) enquanto busca progresso material e bem-estar social, além de proporcionar às gerações presente e futura aquilo que necessitam, sem comprometimento

do meio ambiente, são os princípios fundamentais que inspiram o conceito ZERI.

Os ecossistemas se auto-organizam para maximizar a sustentabilidade de acordo com os princípios ecológicos de interdependência, fluxo cíclicos de energia e de recursos, cooperação, e parceria.

O ZERI traz a abordagem sistêmica para dentro do conjunto das atividades industriais. Contrapondo-se à visão linear tradicional da empresa, na qual o processo produtivo se resume em três estágios: insumo, processo e produto. Analisa o processo produtivo interligado e sugere políticas e estratégias de gestão do sistema econômico e social (PAULI, 1996).

4.3. Desempenho sustentável (DS)

Kinlaw (1997) define desenvolvimento sustentável como “A macro-descrição de como todas as nações devem proceder em plena cooperação com os recursos e ecossistemas da Terra para manter e melhorar as condições econômicas gerais de seus habitantes presentes e futuros, concentrando-se políticas nacionais e internacionais.

Pode-se verificar, então, que grande parte das formas adotadas pelo ser humano em seus negócios e no uso do meio ambiente não são sustentáveis, como o uso de combustíveis fósseis não-renováveis, a contaminação da atmosfera, a destruição do solo, a dependência do setor agrícola de fontes de energia não-renováveis, como os fertilizantes, transportes, congelamento e embalagem de produtos.

Dentro de um conceito mais geral de sustentabilidade, há uma série de características que são compartilhadas tanto pelo desenvolvimento sustentável quanto pelo desempenho sustentável. As principais semelhanças entre ambos provêm do próprio conceito de “sustentabilidade”, que está relacionado com o “futuro que se prolonga para além de limites de tempo”, claramente demarcáveis e com a economia do aperfeiçoamento e da sobrevivência da espécie humana.

É importante, ainda, mencionar que o desempenho sustentável possui duas características fundamentais que o distinguem do desenvolvimento

sustentável: “lucro e desempenho”. O lucro não é um elemento chave do desenvolvimento sustentável, porém o é do desempenho sustentável.

Enquanto o primeiro supõe que é o lucro das empresas e da indústria que produzirá o crescimento da riqueza real *per capita* para assegurar o “desenvolvimento”, o segundo menciona o lucro de forma explícita e central.

Segundo Kinlaw (1997), lucros maiores podem decorrer de economias de custo, eliminações de certos custos, novos produtos e serviços e aumentos no preço de venda de um produto ou serviço, além das seguintes oportunidades de maximização do lucro: reduções dos custos de administrações de resíduos; economia de custos com insumos e de custos com seguro; mudanças nos custos associadas à qualidade, nos custos de serviços públicos, nos custos de suprimentos para operação e manutenção, no trabalho operacional e de manutenção e benefícios e nas receitas de produção e aumento de receitas de produtos derivados.

4.4. Gerenciamento de processos (GP)

O método do gerenciamento de processos (GP) tem como base os fundamentos da qualidade total, da análise de valor, da produção otimizada e do *just in time*. Sua aplicação define, analisa e gerencia as melhorias no desempenho dos processos críticos da empresa, buscando atingir as condições para o cliente (HARRINGTON, 1988).

Na definição de Pinto (1993), GP é

o conjunto de pessoas, equipamentos, informações, energia, procedimentos e matérias relacionados entre si através de atividades destinadas à produção de resultados específicos determinados pelas necessidades e desejos dos consumidores. Esta integração deve estar comprometida contínua e incessantemente para promover o aperfeiçoamento da empresa, trabalhando com atividades que agregam valor ao produto.

O GP foi integralmente estruturado para resolver problemas, tendo como prioridade os mais críticos, aprimorando a habilidade e a eficiência de cada indivíduo dentro e fora da organização. Harrington (1993) esclarece que cada processo de operação da empresa deve ser otimizado e, para tanto, é necessário entender cada um dos processos na forma como vem sendo realizado.

Devido à complexidade desses processos e dos diversos setores envolvidos, pode ser difícil entendê-los perfeitamente. Esta complexidade requer uma metodologia estruturada para o estudo e análise do processo, permitindo uma visão geral da seqüência dos mesmos. O uso do gerenciamento de processos proporciona o entendimento das funções de cada um deles, bem como o seu impacto ambiental e as possíveis fontes de melhoria.

4.5. Sistemas de gestão ambiental

Todos os sistemas de produção, processos e serviços possuem um ciclo de vida que pode estruturar-se de forma sistêmica, com um início e final previamente estabelecido. Em geral, este ciclo de vida é composto por vários subsistemas conectados entre si em forma de fluxo progressivo que se inicia com a aquisição de matéria-prima, passando por outros subprocessos intermediários até chegar ao final de sua vida útil, quando é descartado.

Todo este processo é considerado o ciclo de vida completo, e era denominado “do berço ao túmulo”, porém, com a possibilidade de reutilização ou reciclagem, passou a utilizar-se o termo “do berço ao berço”.

Ao longo deste ciclo de vida, ocorrem contínuas inter-relações entre o entorno ambiental, os fluxos de material e energia e os produtos e emissões localizados dentro ou fora dos limites do sistema considerado.

A necessidade de estudar, sob o ponto de vista ambiental, todas estas inter-relações, exige o emprego de métodos confiáveis que quantifiquem ou atribuam valores a todas estas ações e seus efeitos sobre o meio ambiente. A fim de fornecer respostas adequadas para atender aos objetivos esperados, é necessário utilizar ferramentas que permitam medir os diversos tipos de parâmetros, tanto aqueles classificados como quantificáveis quanto os de difícil quantificação. Entre os parâmetros quantificáveis estão incluídos os relacionados ao consumo de matérias-primas, água e energia, emissões de efluentes líquidos, gases para a atmosfera, resíduos sólidos, geração de subprodutos, etc. Estes parâmetros podem ser tratados através de modelos, como por exemplo, os de base conceitual de análise do ciclo de vida. Enquanto que os de difícil quantificação, como riscos potenciais, mudanças geográficas,

impactos visuais locais e escassez de recursos são tratados com outras ferramentas desenvolvidas para tal fim. (ÁLAMO *et al.*, 1998; TRINIUS, 1999).

A gestão ambiental deve levar em conta que as intervenções propostas podem afetar o plano estratégico a curto ou longo prazo, e até mesmo rotinas diárias de trabalho, portanto é interessante contar com diferentes fontes de informação na hora de tomar certas decisões, principalmente se estas ocasionam a troca de processos, materiais ou serviços, ou selecionam materiais alternativos identificando, ativando ou investigando novos aspectos ambientais de um determinado produto. Neste ponto do processo deve-se considerar que cada uma destas ferramentas oferece diferentes formas de enfrentar um problema e sugerir informações úteis na hora de uma tomada de decisão. O Quadro 1, a seguir, apresenta algumas das principais ferramentas disponíveis para gestão ambiental de sistemas de produção e produtos.

Quadro 1 – Ferramentas conceitualmente similares usadas em sistemas de gestão ambiental

<i>RA - Risk Assessment</i>	Análise de Risco Ambiental
<i>EIA – Environmental Impact Assessment</i>	Estudo de Impacto Ambiental
<i>E Au – Environmental Auditing</i>	Auditoria Ambiental
<i>EPE – Environmental Performance Evaluation</i>	Avaliação do Comportamento Ambiental
<i>SFA - Substance Flow Analysis</i>	Análise de Fluxo de Substância
<i>EMA - Energy and Material Analysis</i>	Análise de Material e Energia
<i>ISCM – Integrated Substance Chain Management</i>	Gestão Integrada de Substância
<i>PLA – Product Line Analysis</i>	Análise de Linha de Produto
<i>LCA - Life Cycle Assessment</i>	Análise do Ciclo de Vida

Fonte: SETAC (1999).

4.5.1. Análise de riscos ambientais

A análise de riscos ambientais abrange uma ampla gama de aplicações. Com esta ferramenta pode-se avaliar os riscos ecológicos ocasionados por fontes pontuais ou difusas de emissões freqüentes ou acidentais. Permite, também, avaliar riscos sobre a saúde humana no âmbito do trabalho, bem como para ambientes externos com um certo foco de contaminação.

Em geral, esta ferramenta é utilizada com enfoque analítico (qualitativo) e com critérios de probabilidade para estimar os riscos que podem resultar em situações adversas. Habitualmente se consideram os níveis de concentração e, ou, períodos de exposição de uma determinada substância perigosa em um ambiente, para estimar, em seguida, comparativamente com os critérios estabelecidos, se estão em níveis aceitáveis de risco.

A principal vantagem da análise de risco é que permite prever possíveis impactos reais, entretanto, as informações para realizar estas previsões, possuem certas limitações como consumo de tempo e recursos e, conseqüentemente, seu emprego se justifica para atividades de alto risco.

4.5.2. Estudo de impacto ambiental (EIA)

O estudo de impacto ambiental é utilizado para investigar mudanças ambientais tal como os ocasionados pelas construções (indústrias, rodovias, estrada de ferro, etc.); a EIA é uma ferramenta orientada para planejamentos físicos, voltados à gestão de território.

Considera os efeitos ambientais durante o período de construções, bem como os que ocorrem durante a operação de uma fábrica, sendo normalmente requerido para se conseguir uma licença para a construção ou operação de empreendimentos impactantes.

Em geral, os dados ambientais do EIA são elaborados para um determinado impacto em particular e, freqüentemente, podem levar em conta a duração e concentração dos contaminantes emitidos mediante a avaliação de sua incidência sobre o ambiente.

4.5.3. Auditoria ambiental

Segundo a definição da ISO 14010 (ABNT, 2002), a auditoria ambiental é

um processo sistemático, objetivamente documentado, para verificar e avaliar evidências e determinar especificamente que aspectos ambientais, eventos, condições, sistemas de gestão ou informações sobre este assunto estão de acordo com os critérios previamente definidos, comunicando os resultados deste processo ao cliente.

A auditoria ambiental surgiu da necessidade de realizar inspeções físicas em determinados pontos concretos do processo para verificar o cumprimento legal, identificar riscos e responsabilidades importantes. Neste contexto, fazer uma auditoria é um processo de gestão para conseguir a “qualidade total”. Aqui se incluem a verificação dos sistemas instalados para certificar se operam como deveriam, permitindo assim uma constante avaliação de manutenção dos objetivos do conjunto. O foco da Auditoria Ambiental se concentra na atividade e não sobre dados anteriores ou posteriores do processo.

4.5.4. Avaliação do comportamento ambiental

É uma ferramenta interna que fornece ao sistema de gestão ambiental informações confiáveis, objetivas e passíveis de verificação, ajudando a organização a alcançar seus objetivos ambientais. É, portanto, um sistema de auditoria interna, que se baseia em indicadores para medir, avaliar e verificar o comportamento ambiental de uma organização com respeito a determinados critérios preestabelecidos em seu sistema de gestão (intenções e objetivos ambientais). Permite focar tendências de comportamento ambiental para uma série de atividades de uma organização, isto é, os recursos consumidos, o processo utilizado, produtos e serviços resultantes.

4.5.5. Análise de fluxo de substância

A análise de fluxo de substância é uma ferramenta que permite fazer um balanço do fluxo de uma determinada substância, ao longo de todo o ciclo de vida de um sistema, incluindo a produção e o uso de certo produto através da contabilização de todas as entradas e saídas.

Esta ferramenta proporciona uma melhoria na qualidade ambiental de um determinado produto através da aplicação de medidas de controle e de redução de uma substância específica. Entretanto, apresenta o inconveniente ao fazer referência à somente uma substância, não sendo um método holístico e, portanto, se ocorrerem trocas no sistema, ou aumento do fluxo de outras substâncias, estas não poderiam ser identificadas com a Análise do Fluxo de Substância.

4.5.6. Análise de material e energia

É considerado o precursor da análise do ciclo de vida. Na verdade, as duas ferramentas, conceitualmente, se confundem e podem compartilhar a mesma base de dados.

Utiliza como referência a unidade funcional do sistema e sua interpretação também está baseada no impacto potencial ao meio ambiente causado por certas emissões.

A ferramenta também utiliza algoritmos para quantificar todas as matérias-primas e energias que entram e saem de um determinado sistema, admitindo avaliar certa etapa ou fase do ciclo de vida de um produto.

4.5.7. Gestão integrada de substância

A gestão integrada de substância serve tanto como apoio à tomada de decisões como para comparar diferentes opções referentes a certas melhorias ambientais ou econômicas de um sistema. É elaborado um plano de ação mais amplo que uma simples análise dos aspectos ambientais. Essencialmente, se faz um atalho no ciclo de vida completo de um determinado produto, de modo que com a análise de somente 20% de elementos, poderia se conhecer 80% dos impactos totais em um sistema. É conhecido como o precursor da análise do ciclo de vida simplificado.

4.5.8. Análise de linha de produto

Muito similar à análise do ciclo de vida, utiliza como base de comparação a unidade funcional do sistema. Apresenta um aspecto mais amplo de análise, já que incorpora como foco de investigação, além da análise ambiental, outros aspectos do tipo econômico e social. É considerada uma ferramenta conceitualmente correta, embora seja pouco empregada (Fullana, 1997).

4.5.9. Análise do ciclo de vida

A ACV é uma ferramenta de gestão ambiental que identifica tanto aos recursos usados como aos recursos que são gerados e emitidos no meio ambiente (ar, água e solo) ao longo de todo o ciclo de vida de um processo, produto ou serviço específico.

Entre seus pontos fortes está o seu caráter globalizador, que evita a transferência do problema, ou seja, que a solução de um determinado problema ambiental ocasione prejuízo de outra parte do ciclo de vida. Em segundo lugar, mostra uma relação de todos os recursos usados, assim como dos resíduos ou emissões geradas pela unidade funcional do sistema, permitindo algum tipo de avaliação.

Durante a avaliação do impacto do ciclo de vida se empregam modelos desenvolvidos para interpretar dados e efeitos sobre o meio ambiente. Entretanto, a falta de detalhes temporais e espaciais na base de dados, não permite uma avaliação dos impactos reais, já que esta ferramenta mede unicamente impactos potenciais.

É evidente que dentro dessa mesma linha conceitual existem outras ferramentas que têm um caráter similar à ACV, permitindo em alguns casos, a associação dos resultados. Assim, na hora de decidir pela seleção da ferramenta mais adequada para valorar os aspectos ambientais de um produto ou processo, é necessário uma análise detalhada que leve em conta todos os pontos fortes e fracos, como, por exemplo, a potencialidade necessária para alcançar os objetivos pretendidos e assim escolher a que melhor se adapte às necessidades do usuário ou ao promotor do estudo (SETAC, 1999).

Wrisberg *et al.* (1997) consideram que apesar de não ser possível, em alguns casos, realizar a análise do ciclo de vida completo de um produto, assim mesmo a ACV ainda é útil como ferramenta para a gestão ambiental de sistemas de produção, pois possibilita identificar o foco do problema, otimizar o uso dos recursos materiais ou energéticos e gerenciar os resíduos produzidos. Além do que, a ACV serve para comparar dois ou mais produtos que tenham uma mesma função, e também para valorar materiais alternativos, contribuindo assim para o desenvolvimento de materiais que respeitem mais o meio ambiente.

O Quadro 2 apresenta um resumo dos objetivos, pontos fortes e fracos de cada uma das metodologias descritas, baseando-se em SETAC (1999). Pode-se constatar o potencial da ACV como ferramenta para gerenciar os aspectos ambientais, especialmente por sua adequação àqueles estudos que tenham como base conceitual o ciclo de vida de um produto ou serviço.

Quadro 2 – Objetivos, pontos fortes e fracos de cada uma das ferramentas de gerenciamento ambiental

Ferramenta	Objetivos Gerais	Pontos Fortes	Pontos Fracos
Análise de Risco Ambiental	Valorar os efeitos adversos associados a uma situação específica de risco e suas inter-relações com a saúde humana e o meio ambiente	Avalia os efeitos locais e regionais sob condições específicas	É capaz de consumir muito tempo e recursos. Não possibilita definir a localização do risco ao longo do ciclo de vida.
Estudo de Impacto Ambiental	Avaliar os impactos positivos e negativos, de um determinado projeto, sobre o meio ambiente.	Calcula, tanto os efeitos positivos quanto os negativos. Considera os impactos locais de um projeto	Não é capaz de apontar facilmente a localização de um efeito global/ regional ou outros efeitos ao longo do ciclo de vida.
Auditoria Ambiental	Verificar a conformidade com determinados requisitos normativos vigentes, por meio de checagem realizada por um auditor externo.	Permite que um auditor externo comprove de forma independente os resultados.	Enfoca uma conformidade e enfatiza um final médio mais fraco do que destaca as melhorias.
Avaliação do Comportamento Ambiental	Fornecer informações confiáveis, objetivas e que possam comprovar o desempenho ambiental de uma determinada organização.	Fornece coeficientes de desempenho ambiental associando-os a políticas objetivas e metas preestabelecidas.	Fornece coeficientes de desempenho relativos e não absolutos.
Análise de Fluxo de Substância	Contabilizar um suporte para a demanda de uma substância específica que flui através do processo de produção.	Leva em consideração um impacto potencial determinado ao longo do ciclo de vida.	O enfoque sobre uma única substância pode levar a falsos resultados.

Continua...

Quadro 2, Cont.

Ferramenta	Objetivos Gerais	Pontos Fortes	Pontos Fracos
Análise de Material e Energia	Calcular o balanço energético e materiais associados a uma operação específica.	Identifica e atribui valores a um impacto potencial de operações, etc.	Enfoca, somente uma fase do ciclo de vida.
Gestão Integral de Substância	Calcular e reduzir globalmente o impacto ambiental de uma determinada substância associada ao processo.	Permite fazer comparações entre aspectos econômicos e ambientais de uma mesma ferramenta.	Emprega uma valoração simplificada que pode dar respostas demasiadamente simplificadas.
Análise de Linha de Produto	Avaliar potencialmente o impacto ambiental, social e econômico de um bem ou serviço ao longo de todo o seu ciclo de vida.	Integra aspectos ambientais, econômicos e sociais dentro de uma só ferramenta.	Não pode valorar especificamente impactos locais.
Análise do Ciclo de Vida	Entender o perfil ambiental de um sistema. Identificar prioridades de melhorias. Assegurar melhorias com fundamento no ciclo de vida.	Considera impactos global e regional. Possibilita estimar os impactos que influenciam na saúde humana.	Não é capaz de apontar o caráter temporal ou espacial de um determinado efeito.

5. AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL

A maioria dos países industrializados já despertou para a importância da questão ambiental e, através da sua legislação correlata e seus órgãos fiscalizadores e executores das políticas ambientais, têm adotado ações pró-ativas para a melhoria das qualidades ambientais em seus territórios, visando adotar um desenvolvimento econômico sustentável.

Os países pobres, apesar de desenvolverem suas políticas e regulamentações ambientais, ainda não dispõem de meios para nivelarem desenvolvimento econômico e meio ambiente num mesmo patamar.

O auxílio prometido pelos países ricos aos países pobres, visando dotar o planeta de um desenvolvimento sustentável, ainda não foi viabilizada nos níveis preconizados, apesar dos diversos “sinais” já emitidos pela natureza. Neste cenário, o Processo de Avaliação de Impacto Ambiental é um avanço no sentido de manter um meio ambiente mais saudável para as futuras gerações.

5.1. A avaliação de impacto ambiental nos países desenvolvidos

Segundo Magrini (1989) e Corrêa (1990), citados por Silva (1994), os Estados Unidos da América foi o pioneiro na adoção de uma legislação federal sobre a avaliação do impacto ambiental (AIA), seu nome *National Environmental Policy Act of 1969* (NEPA) que entrou em vigor em janeiro de

1970, estabelecia a necessidade da preparação de uma declaração prevendo os impactos ambientais para qualquer tipo de projeto (SUREHMA/GTZ, 1992).

No Canadá, o *Canadian Environmental Assessment Act* especifica qual a forma da avaliação de impacto ambiental é necessária para cada tipo de projeto, ou seja, trata-se de um estudo básico, um estudo compreensivo, uma mediação ou um painel de revisão (SADDLER, 1996).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente da Austrália (ENVIRONMENT AUSTRALIA, 2002), cada estado e território têm sua própria legislação relativa à avaliação de impacto ambiental. A principal legislação no país é o *EPIP Act – Environment Protection (Impact of Proposals) Act*, estabelecida em 1974 e substituída pelo *Environment Protection and Biodiversity Conservation Act (EPBC Act)*, em 1999, que indica o envio da proposta para o Ministério do Meio Ambiente, a elaboração de informações preliminares da proposta (*NOI – Notice of Intention*) e o seu encaminhamento para o órgão federal responsável pelo meio ambiente que irá decidir qual o nível de avaliação que será necessário para o projeto em questão.

5.2. A avaliação de impacto ambiental no Brasil

O sistema de licenciamento ambiental foi introduzido inicialmente no estado do Rio de Janeiro, em 1978, pela Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente - FEEMA, órgão responsável pelo meio ambiente no estado, através da Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras - SLAP (ALMEIDA, 2002).

O primeiro dispositivo legal no Brasil, em nível federal, foi a Lei nº 6.938/81, regulamentado pelos Decretos 88.351/83 e 99.274/90, que estabeleceu a Política Nacional de Meio Ambiente, criando o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) para a sua execução.

A efetiva aplicação do Processo de Avaliação de Impacto Ambiental iniciou-se com a Resolução CONAMA nº 001/86, de 23/1/86, onde foram estabelecidos os critérios básicos para a exigência do Estudo de Impacto Ambiental no licenciamento de projetos de atividades modificadoras do meio ambiente, propostos por entidade pública ou pela iniciativa privada (CPRH, 2002).

De acordo com a Lei nº 6.938/81 (Política Nacional de Meio Ambiente), o processo de implementação de projetos considerados efetivos ou potencialmente poluidores depende de prévio licenciamento ambiental por um órgão estadual competente, integrante do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA ou do Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA.

O Estudo de Impacto Ambiental e o Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) são necessários na primeira fase do licenciamento ambiental do projeto, para a obtenção da licença prévia (LP). Após a emissão desta licença, o empreendedor deverá elaborar o Projeto Básico Ambiental (PBA) e enviá-lo para análise e aprovação do órgão responsável pelo licenciamento ambiental. No caso de aprovação deste documento, o empreendedor receberá a Licença de Instalação (LI) e, ao finalizar todos os serviços de construção, montagem e comissionamento, o órgão responsável pelo licenciamento fará uma série de testes, com a finalidade de verificar a veracidade das informações contidas no EIA/RIMA e no PBA. Somente com a aprovação de todos estes testes, será emitida a Licença de Operação (LO), válida para período de tempo determinado, findo este prazo, a LO deverá ser renovada.

5.3. Aspectos e impactos ambientais

Inicialmente é importante conceituar-se os aspectos e impactos ambientais, a fim de se unificar a linguagem, já que a mesma pode sugerir significados diferentes daquele que se pretende colocar. A seguir são apresentadas as definições que fundamentaram esse trabalho.

As expressões “aspecto ambiental” e “impacto ambiental” estão definidas na NBR ISO 14001/1996 como pode ser visto a seguir:

- Aspecto Ambiental: elemento das atividades, produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o ambiente. Um aspecto ambiental é dito significativo quando tem ou pode ter um impacto ambiental significativo.

- Impacto Ambiental: qualquer mudança no ambiente quer adversa ou benéfica, inteira ou parcialmente resultante das atividades, produtos ou serviços de uma organização.

A Resolução CONAMA nº 1, de 23/1/86 define o significado da expressão "impacto ambiental" de uma forma mais específica:

- Impacto ambiental: Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- 1) a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- 2) as atividades sociais e econômicas;
- 3) a biota;
- 4) as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e
- 5) a qualidade dos recursos ambientais.

A seguir são apresentadas outras definições para impactos ambientais, de diversos autores reunidos por Gomes (2002):

Qualquer alteração no sistema ambiental físico, químico, biológico, cultural e sócio-econômico que possa ser atribuída a atividades humanas relativas às alternativas em estudo para satisfazer as necessidades de um projeto (CANTER, 1977).

Impacto ambiental pode ser visto como parte de uma relação de causa e efeito. Do ponto de vista analítico, o impacto ambiental pode ser considerado como a diferença entre as condições ambientais que existiriam com a implantação de um projeto proposto e as condições ambientais que existiriam sem essa ação (DIEFFY, 1975).

Uma alteração (ambiental) pode ser natural ou induzida pelo homem, um efeito é uma alteração induzida pelo homem e um impacto inclui um julgamento do valor da significância de um efeito (MUNN, 1979).

Impacto ambiental é a estimativa ou o julgamento do significado e do valor do efeito ambiental para os receptores natural, socioeconômico e humano. Efeito ambiental é a alteração mensurável da produtividade dos sistemas naturais e da qualidade ambiental, resultante de uma atividade econômica (HORBERRY, 1984).

De acordo com a NBR ISO 14001, requisito 3.4.1, o impacto ambiental é definido como "qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte no todo ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização". Para um melhor entendimento do conceito deve-se definir meio

ambiente como “circunvizinhança em que uma organização opera, incluindo o ar, água, solo, recursos naturais, flora, fauna, seres humanos e suas interligações”.

Após conceituar-se o que é impacto ambiental, investigou-se o que é impacto ambiental significativo. Para Ferreira (1986), é “aquilo que exprime com clareza; que contém revelação interessante ou expressiva”. Segundo a NBR ISO 14001, “um aspecto ambiental significativo é aquele que tem ou pode ter um impacto ambiental significativo”. Isto é, a organização deve identificar os aspectos ambientais quando da avaliação para diagnosticar o que cada atividade, tarefa ou passo de seus processos podem causar alterações no meio ambiente, assim os agentes de cada alteração constituem os aspectos ambientais desta atividade.

Em seu anexo A.3.1 - Diretrizes sobre Aspectos Ambientais, a NBR ISO 14001 exemplifica genericamente estes aspectos, que são:

- emissões atmosféricas;
- lançamentos em corpos d'água;
- geração de resíduos;
- uso do solo;
- uso de matérias-primas e de recursos naturais; e
- outras questões relativas ao meio ambiente e às comunidades.

A identificação dos aspectos e impactos ambientais é de fundamental importância para o conhecimento real do desempenho ambiental de uma organização e sua conseqüente avaliação.

5.4. Métodos de avaliação de impacto ambiental (AIA)

Os métodos desenvolvidos para avaliação de impacto ambiental são resultado da legislação vigente, das exigências dos órgãos de controle ambiental, dos organismos internacionais de financiamento, muitas vezes dos próprios empreendedores e até da evolução das técnicas disponíveis.

Para se proceder a uma avaliação de impacto ambiental é necessário compreender como e quando cada método é mais apropriado para ser usado como uma ferramenta para identificação de impactos e suas causas.

A fase de avaliação normalmente envolve três tarefas principais:

- identificação dos impactos ambientais: tem por objetivo compreender a natureza dos impactos, identificar os impactos diretos, indiretos, cumulativos e outros e assegurar as causas prováveis dos impactos;
- análise detalhada dos impactos: visa determinar a natureza, a magnitude, a extensão e o efeito; e
- julgamento da significância dos impactos: se eles são importantes, e, se necessitam, devem ou podem ser mitigados.

Em 1994, o Comitê de Desenvolvimento do *Organization for Economic Cooperation and Development – OECD* incluiu no conceito de meio ambiente, para serem objeto da Avaliação de Impacto Ambiental as seguintes variáveis (UNEP, 2000):

- efeitos na saúde humana, bem-estar, ecossistemas e agricultura;
- efeitos no clima e na atmosfera;
- uso de recursos naturais (regenerativo e mineral);
- utilização e disposição de resíduos; e
- restabelecimento de locais arqueológicos, paisagem, monumentos e conseqüências sociais próximo ao local do projeto.

A extensão das avaliações de impacto ambiental passou a ter uma maior abrangência incorporando as áreas sociais, de saúde, de assuntos econômicos e outros.

Segundo Silva (1994), os métodos de AIA são ferramentas estruturadas para identificar, coletar, analisar, avaliar, comparar, organizar e apresentar dados qualitativos e quantitativos sobre impactos ambientais, de maneira compreensível e objetiva.

Existem vários métodos de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) conhecidos. Os principais são (SUREHMA/GTZ, 1992; SILVA, 1994; MORGAN, 1998; RODRIGUES, 1998; SOUZA, 2000):

- *Ad hoc*;
- Listas de controle:
 - Descritivas;
 - Comparativas;

- Questionários; e
- Ponderável.
- Matrizes;
- Sobreposição de mapas;
- Redes de interação;
- Diagramas de sistemas; e
- Modelos de simulação.

5.4.1. Método *ad hoc*

Este método surgiu da necessidade de tomar decisões sobre a implantação de projetos, levando em conta, não somente, as razões econômicas ou técnicas, mas também considerando os pareceres de especialistas em cada tipo de impacto resultante do projeto. Consiste na formação de grupos de trabalho multidisciplinares com especialistas de diversas áreas, que irão apresentar suas impressões baseadas na experiência para a elaboração de um relatório que irá relacionar o projeto e seus impactos ambientais em tempo reduzido.

Este método geralmente é utilizado quando as informações disponíveis são insuficientes ou quando existe pouca experiência para a utilização de métodos mais sofisticados.

Este método apresenta a desvantagem de uma possível subjetividade dos resultados, pois depende, principalmente, da qualidade e da experiência do grupo de especialistas reunidos e do nível de informação existente para o projeto.

5.4.2. Listas de controle (*checklist*)

As listas de controle foram os primeiros métodos de avaliação de impacto ambiental. São listas de atributos ambientais que podem ser afetadas pelo projeto em análise. Variam de simples listas de impactos ambientais causados pelo projeto até complexos inventários que podem incluir escala e significância de cada impacto sobre o meio ambiente (UNEP, 2000).

Existem quatro tipos de listas de controle: descritivas, comparativas, questionários e ponderáveis (SILVA, 1994).

A vantagem da aplicação deste método reside na facilidade de aplicação e compreensão, pois lista todos os fatores ambientais que podem ser afetados, podendo até avaliá-los através de critérios próprios, bom método para fixação de prioridades e ordenação de informações e seleção de locais (MMA, 2000).

Como desvantagens, podem ser citadas: não identificam impactos diretos e indiretos, não consideram características temporais e espaciais, não unem a ação ao impacto, não analisam interações entre impactos ambientais, não consideram a dinâmica dos sistemas ambientais, quase nunca indicam a magnitude dos impactos ambientais e seus resultados são subjetivos (SUREHMA/GTZ, 1992).

5.4.3. Matrizes

Utiliza-se uma figura para identificar a interação entre atividades de projeto e características ambientais (MORRIS, 2000). Usa-se a tabela pela interação entre uma atividade (ação proposta) e uma dada característica ambiental (fator ambiental); cada célula que é comum a ambas na “rede” (UNEP, 2002).

Funcionam como listas de controle bidimensionais. Porque as linhas podem representar as ações impactantes e as colunas, os fatores ambientais impactados. Através das matrizes pode-se avaliar os impactos gerados no empreendimento e conhecer as ações propostas que causam o maior número de impactos e aquelas que afetam os fatores ambientais mais relevantes.

A melhor matriz de interação conhecida foi desenvolvida por Leopold *et al.* (1971). Esta matriz tem 88 características (fatores) ambientais nas linhas da tabela e 100 ações de projetos na coluna, permitindo 8800 interações. É satisfatória para utilização na maioria dos projetos (MMA, 2000 e Leopold *et al.*, 1971). A matriz de Leopold foi e continua a ser adaptada amplamente e deu origem a uma série de outras matrizes.

Este método tem como vantagem a sua relação entre causa e efeito (SOUZA, 2000), a forma como os resultados são exibidos, a simplicidade de elaboração e o baixo custo (SUREHMA/GTZ, 1992).

Como desvantagem pode destacar os seguintes aspectos (SUREHMA/GTZ, 1992):

- a dificuldade para distinguir os impactos diretos dos indiretos;
- não identifica os aspectos espaciais dos impactos; e
- não considera a dinâmica dos sistemas ambientais analisados.

5.4.4. Superposição de mapas

Este método é utilizado para sistemas de informações geográficas (SIG). Consistia originalmente na superposição de imagens impressas em transparências (RODRIGUES, 1998). A intensificação da cor era entendida como áreas com impactos ambientais mais intensos. Atualmente, com o auxílio da computação gráfica e informações obtidas por satélites, radares ou fotografias digitalizadas, este método tornou-se mais simples, rápido, pois manipula uma quantidade imensa de informações rapidamente e com um nível de precisão incomparavelmente maior do que os métodos anteriores.

Consiste na divisão da área de um mapa em células, sendo que para cada célula armazena um enorme volume de informação (MUNN, 1979). A maior desvantagem da utilização de um SIG é o custo envolvido para a realização de um estudo deste nível.

A principal vantagem deste método é a identificação do impacto, sua apresentação direta e espacial dos resultados, o que torna este método uma ferramenta poderosa na identificação futura de impactos e na gestão de impactos cumulativos (UNEP, 2000).

5.4.5. Redes de interação

São esquemas que representam a seqüência de operações entre os componentes de um projeto (MORRIS, 2000). Este método é sistêmico.

As redes de interação simulam o projeto antes da sua implementação, facilitando a avaliação dos parâmetros de uma forma conjunta e simultânea. Este método:

- identifica impactos indiretos e sinérgicos (secundários), subseqüentes ao impacto principal (MORGAN, 1998);

- viabiliza a identificação de interações entre impactos (indiretos, sinérgicos, etc.) (UNEP, 2000);

- permite uma abordagem integrada na análise dos impactos e suas interações; e

- relaciona os processos de um mesmo projeto, as ações para a avaliação de cada impacto, bem como as medidas de mitigação.

As redes são úteis tanto para orientar a equipe do projeto como para apoiar a confecção de uma matriz de avaliação (matriz de interação) destes impactos, informando quais serão os impactos e onde (localização) eles deverão ser analisados.

O método de redes pode ser usado em conjunto com outros métodos porque assegura a identificação de impactos de segunda ordem.

Como desvantagens pode-se dizer que as redes de interação não consideram o fator tempo (MORGAN, 1995), não definem a sua importância relativa, não consideram aspectos espaciais e temporais (SUREHMA/GTZ, 1992).

5.4.6. Diagramas de sistemas

Este método surgiu da evolução do método de redes de interação. Sua diferença está na inclusão de uma indicação da intensidade do impacto ambiental (RODRIGUES, 1998). A principal característica dos diagramas de sistemas aplicados ao impacto ambiental é a consideração do fluxo de energia. A energia entra no sistema, passa pelos diversos elementos, gera diferentes processos e sai.

Existe uma simbologia específica para a construção de diagramas de fluxo de energia. Pelo diagrama podem ser determinados os efeitos das ações e o comportamento do sistema, avaliando a intensidade dos impactos (MORGAN, 1998). Estes diagramas podem ser aplicados a vários tipos de sistemas e, portanto, podem assumir formas complexas. Este método tem como desvantagens o fato de não avaliar a intensidade de ruído, os fatores estéticos e as variáveis culturais e sociais.

5.4.7. Modelos de simulação

São programas de computadores que simulam a estrutura e funcionamento dos diversos sistemas ambientais de um projeto (SOUZA, 2000). É o único método de Avaliação de Impacto Ambiental que pode introduzir a variável temporal para considerar a dinâmica dos sistemas (SUREHMA/GTZ, 1992). Estes programas apresentam uma resposta por meio de gráficos que representam o comportamento dos sistemas dentro de parâmetros definidos.

Este tipo de método foca o objetivo da pesquisa apenas nos fatores essenciais para a definição do seu comportamento. Apresenta a interação existente entre os sistemas ambientais e seus impactos relacionados com o tempo de ocorrência (SUREHMA/GTZ, 1992).

Deve-se evitar um número muito grande de medições ou análise de fatores, pois cada simulação agrega complexidade ao modelo (método) e também pode incluir erros. Seu objetivo é fornecer diagnósticos e prognósticos sobre a qualidade ambiental dentro de uma determinada área de influência do projeto.

É utilizado geralmente para projetos de grande porte, pois se trata de um método mais sofisticado e dispendioso que os demais (SOUZA, 2000).

Os modelos de simulação utilizam modelagem matemática que tende a simplificar a realidade. Atualmente existe uma grande quantidade de modelos de simulação específicos para as mais diversas áreas, sistemas e tipos de projeto.

Segundo Surehma/GTZ (1992), outras vantagens, além daquelas citadas anteriormente, são: promover a troca de informações e interações e organizar um grande número de variáveis quantitativas e qualitativas.

5.4.8. Sistemas especialistas em computador

Um sistema especialista é um conhecimento baseado num sistema computadorizado. O usuário é questionado sistematicamente através de uma série de perguntas que foram desenvolvidas, através de conhecimento preexistente do sistema e as suas inter-relações que serão investigadas

(UNEP, 2000). As respostas dadas a cada pergunta direcionam para uma próxima pergunta.

Sistemas especialistas são métodos particularmente intensivos de análise de informação. Possuem um grande potencial para ser utilizado no futuro porque são construídos lógica e sistematicamente, constantemente são revisados e aprimorados em função da experiência em projetos similares anteriores.

Após a comparação dos métodos apresentados pode-se afirmar que nenhum deles pode ser considerado necessariamente o melhor para ser usado em todas as ocasiões (LEOPOLD *et al.*, 1971). Dois métodos podem ser combinados para tornar a avaliação mais completa e exata (MORGAN, 1998).

A escolha do método pode depender de vários fatores e incluir (adaptado de SUREHMA/GTZ, 1992 e MORGAN, 1998):

- tipo e o tamanho do projeto;
- o objetivo da avaliação;
- as alternativas que devem ser avaliadas;
- a natureza dos impactos prováveis;
- a natureza e conveniência do método de identificação do impacto;
- a experiência da equipe de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) com o método de identificação do impacto escolhido;
- os recursos disponíveis – custo, informação, tempo, pessoal;
- o tipo de envolvimento público no processo; e
- a experiência do empreendedor com o tipo e tamanho do projeto.

Para escolha do método a ser utilizado, inicialmente devem-se identificar os impactos ambientais, que devem ser analisados em relação ao seu tamanho, seu potencial e a natureza de cada um. Esta previsão pode valer-se de dados físicos, biológicos, socioeconômicos, antropológicos e de diversas técnicas.

Podem-se empregar modelos matemáticos, foto-montagem, modelos físicos, modelos socioculturais, modelos econômicos, experiências ou julgamentos de especialistas.

As técnicas de previsão de impactos devem ser utilizadas proporcionalmente à extensão da Avaliação de Impacto ambiental (AIA), ao

tamanho do projeto e à importância dos impactos de maneira a prevenir despesas desnecessárias.

5.5. Classificação qualitativa dos impactos ambientais

Segundo Silva (1994), os impactos ambientais podem ser classificados, qualitativamente, conforme o Quadro 3.

Quadro 3 – Classificação qualitativa dos impactos ambientais

Critério de Valor	Impacto positivo ou benéfico
	Impacto negativo ou adverso
Critério de Ordem	Impacto Direto, Primário ou de Primeira Ordem
	Impacto Indireto, Secundário ou de enésima Ordem
Critério de Espaço	Impacto Local
	Impacto Regional
	Impacto Estratégico
Critério de Tempo	Impacto a Curto Prazo
	Impacto a Médio Prazo
	Impacto a Longo Prazo
Critério de Dinâmica	Impacto Temporário
	Impacto Cíclico
	Impacto Permanente
Critério de Plástica	Impacto Reversível
	Impacto Irreversível

De acordo com Silva (1994) e Gomes (2002) os diferentes tipos de impactos ambientais são:

- Impacto positivo ou benéfico: quando sua ação representa uma mudança positiva no meio ambiente, por exemplo: regenerações, redução de consumos, descontaminações, geração de riquezas, etc.;

- Impacto negativo ou adverso: quando sua ação resulta em danos ao meio ambiente, como por exemplo, esgotamentos dos recursos naturais renováveis e não-renováveis e a contaminação do solo, da água e do ar,

comprometimento da biodiversidade, erosões e compactações do solo, doenças e lesões, etc.;

- Impacto direto, primário ou de primeira ordem: quando sua ação resulta de uma simples relação de causa e efeito;

- Impacto indireto, secundário ou de enésima ordem: quando é uma reação secundária em relação à ação ou quando é parte de uma cadeia de reações (segunda, terceira etc.), de acordo com a sua situação na cadeia de reações;

- Impacto local: quando a ação afeta apenas o próprio sítio e suas imediações;

- Impacto regional: quando o efeito se propaga além do sítio e suas imediações;

- Impacto estratégico: quando é afetado um componente ou recurso ambiental de importância coletiva, nacional ou internacional;

- Impacto a curto prazo: quando o efeito se dá a curto prazo, a ser definido;

- Impacto a médio prazo: quando o efeito se dá a médio prazo, a ser definido;

- Impacto a longo prazo: quando o efeito se dá a longo prazo, a ser definido;

- Impacto temporário: quando o efeito permanece por um tempo determinado após a realização da ação;

- Impacto cíclico: quando o efeito se faz sentir em determinados ciclos, que podem ser ou não constantes ao longo do tempo;

- Impacto permanente: quando, uma vez executada a ação, os efeitos não cessam de se manifestar, num horizonte temporal conhecido;

- Impacto reversível: quando uma vez cessada a ação, o fator ambiental retorna às suas condições originais; e

- Impacto irreversível: quando uma vez cessada a ação, o fator ambiental não retorna às suas condições originais, pelo menos por um período de tempo aceitável pelo homem.

5.6. Classificação quantitativa de impactos ambientais

A classificação quantitativa tem por objetivo oferecer uma visão da magnitude do impacto, isto é, informar o grau de variação do valor de um parâmetro ambiental ou um fator em termos quantitativos.

No exterior, além da quantificação numérica, alguns estudos ambientais utilizam cores ou pesos, fornecidos por especialistas, que tem por finalidade indicar a magnitude do impacto, conforme o Quadro 4:

Quadro 4 – Classificação da magnitude dos impactos ambientais por meio de cores e pesos

Impacto	Cor	Peso
Inexistente	Branca	0
Desprezível	Amarela	1
Pequeno	Laranja	2
Médio	Marrom	3
Alto	Vermelha	4
Muito Alto	Preta	5

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR ISO 14.001. Sistema de Gestão Ambiental - Especificação e Diretrizes para Uso. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1996.

ABNT NBR ISO 14.010, Sistema de Gestão Ambiental - Especificação e Diretrizes para Uso. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2002.

ÁLAMO, L; GONZÁLES, M.; SUMPSI, C. **Sistemes de gestió ambiental - Mediambient i tecnologia** – Guia ambiental da UPC – Universidade Politècnica da Catalunya –1998

ALMEIDA, F. **O bom negócio da sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2002.

BELLO, C.V.V. ZERI – Uma proposta para o desenvolvimento sustentável com enfoque na qualidade ambiental voltada ao setor industrial. Florianópolis: UFSC, 1998. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, 1998. 116 p.

BRÜGGER, P. Educação ou Adestramento Ambiental? Florianópolis, Letras Contemporâneas, 1994. 142 p.

CALLENBACH, E.; CAPRA, F.; GOLDMAN, L.; LUTZ, R. & MARBURG, S. Gerenciamento Ecológico - (Eco - Management) - Guia do Instituto Elmwood de Auditoria Ecológica e Negócios Sustentáveis. São Paulo, Ed. Cultrix. 1993.

CAPRA, F. **A Teia da Vida**. São Paulo, Ed. Cultrix. 1996. 256 p.

CANTER, L. **Environmental Impact Assessment**. Oklahoma, McGraw Hill, 1977.

CARDIM A. C. F. **Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento – Aportaciones al análisis de los inventários del ciclo de vida del cemento**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Politécnica da Catalunha, 2001.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos – Ferramenta Gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro, Qualimark, 2002.

CHEHEBE, J.R.B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos: Ferramenta Gerencial da ISO 14.000**. Rio de Janeiro: Qualitymark. 2002.

CMMAD - Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Nosso Futuro Comum**. Rio de Janeiro: FGV, 1988. 430 p.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 001/86. Brasília, IBAMA. Disponível em <http://www.mma.gov.br>; Acesso em: 17 ago. 2002.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 237/97. Brasília, IBAMA. Disponível em <http://www.mma.gov.br>; Acesso em 17.08.2002.

CORRÊA, E. M. Aspectos jurídicos em estudos e relatórios de impacto ambiental. In: Seminário sobre Avaliação e Relatório de Impacto Ambiental, Curitiba, PR, 1989. Anais, Curitiba, FUPEF/UFPr, 1990.

DONAIRE, Denis. **Gestão ambiental na empresa**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1995.

FERREIRA, A. B. H. **Novo dicionário da língua portuguesa**. 2. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986.

FULLANA, P.; PUIG, R. **Análisis del ciclo de vida**. Barcelona: Rubes Editorial, 1997. 143 p.

FUNDAÇÃO UNIVERSITÁRIA IBEROAMERICANA. **Formação ambiental**. Brasil: Ensino a Distância, 2001.

FURTADO, João S. **Atitude ambiental sustentável na construção civil: Ecobuilding & Produção limpa**. Disponível em: www.vanzolini.org.br/areas/desenvolvimento/producaolimpa. Acesso em: 2 jul. 1999.

GOMES, Ivanir. **Impacto ambiental**. Belo Horizonte, 2002. Disponível em: <<http://www.sites.uol.com.br/ivairr/impacto.htm>>. Acesso em : jun. 2002.

GONZALEZ, F.L.G. Algunas reflexiones alrededor de los conceptos: ecosistema, cultura y desarrollo sostenible. **Revista Ambiente y Desarrollo**, Colômbia, ano 1, set. 1993.

GUINÉE, J.B. **Environmental life cycle assessment** – backgrounds – draft – M .Gorree; R. Heijungs; G. Huppes; R. Kleijn H.A.; Udo de Haes; E. van der Voet and M.N. Wrisberg - J.B Guinée (Editor final) – Outubro, 1998.

HARRINGTON, J. H. **O processo do aperfeiçoamento**. São Paulo: McGraw-Hill, 1988.

HARRINGTON, H. James. **Aperfeiçoando processos empresariais**. São Paulo: Makron Books, 1993.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO – 14.040. **Environmental management** – Life cycle assessment – Principles and framework. Geneve – Suíça, 1997.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO – 14.041. **Environmental management** – Life cycle assessment – Goal and scope definition and inventory analysis. Geneve – Suíça, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO – 14.042. **Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle impact assessment**. Geneve – Suíça, 2000.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO – 14.043 **Environmental management** – Life cycle assessment – Life cycle interpretation. Geneve – Suíça, 2000.

KINLAW, D. **Empresa competitiva e ecológica**: desempenho sustentado na era ambiental. Tradução de Lenke Peres A. de Araújo. São Paulo: Makron Books, 1997.

LEOPOLD, L. B.; CLARKE, F. E.; HANSHAW, B. B.; BAISLEY, J. R. **A procedure for evaluating environmental impact**. Washington, DC: Geological Survey, 1971. (Circular 645).

LERÍPIO, A. Á. **GAIA** - Um método de gerenciamento de aspectos e impactos ambientais. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

LINDEIJER, E.; HUPPES, G. **Portioning economic in-and outputs to product systems** – Draft working document for Dutch LCA manual update – Version 3.1 – Janeiro, 1999 - IVANEnvironmental Research, 30 pp.)

MAGRINI, A. **A avaliação de impactos ambientais**. Brasília-DF: CENDEC, 1989.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Indicadores de Desempenho Ambiental para Empresas Certificadas pela NBR ISO 14.001. Brasília/DF, MMA, 2000.

MORGAN, R. K. **Environmental impact assessment**. Dordbrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998.

MORRIS, P., THERIVEL, R. **Methods of environmental impact assessment: the natural and built environmental series 2**. Londres: UCL Press Limited, 2000.

MUNN, R. E. **Environmental impact assessment** – principles and procedures. Toronto: SCOPE 5, 1979.

PAULI, G. **Emissão zero: a busca de novos paradigmas**. Porto Alegre: Ed. Da Paulo, edição 226, p. 30-34, março. 1998.

RODRIGUES, G. S. **Avaliação de impactos ambientais em projetos de pesquisas: fundamentos, princípios e introdução a metodologia**. Jaguariúna: Embrapa, 1998.

SADLER, B. **International Study of the Effectiveness of Environmental Assessment** – Environmental Assessment in a changing world. Final Report, United Nations Environment Protection, 1996.

SETAC – Life Cycle Assessment and Conceptually Related Programs – Society for Environmental Toxicology and Chemistry – SETAC (Europe Working Group), 1999. 28 p.

SETAC – *Evolution and development on the conceptual framework and methodology of life-cycle impact assessment* – Society for Environmental Toxicology and Chemistry – SETAC (North American and Europe) Workgroup on Life Cycle Impact Assessment, January 1998. 13 p.

SILVA, E. **Avaliação qualitativa de impactos ambientais do reflorestamento no Brasil**. 1994. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

SOUSA, W. L. **Impacto ambiental de hidrelétricas**: uma análise comparativa de duas abordagens. 2000. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.

SUREHMA/GTZ. **Manual de avaliação de impactos ambientais (MAIA)**. Curitiba: Secretaria Especial do Meio Ambiente, 1992.

TRINIUS, W. **Environmental assessment in building and construction – goal and scope definition as key to methodology choices**. 1999. Tese (Doutorado) - Kungliga Tekniska Högskolan, Estocolmo, 1999.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM. **Environmental impact assessment training resource** – Manual UNEP EIA, Training Resource Manual. Disponível em: <<http://www.environment.gov.au/epg/eianet/manual/tittle.htm>>. Acesso em: 4 maio 2000.

VALLE, C. E. **Qualidade ambiental** - O desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente. São Paulo: Pioneira, 1995.

WENZEL, H. *et al.* **Environmental assessment of products**. Volume 2, Scientific background. Londres, Ed. Chapman & Hall, 1997. 565 p.

Wrisberg, N. **A strategic research programme for life cycle assessment** – LCANET Theme Report, LCANET meeting: from life cycle assessment to tolls for chain management, Leiden, 1997. 28 p.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

1. INTRODUÇÃO

A análise do ciclo de Vida é uma ferramenta que tem por objetivo avaliar as inter-relações entre os sistemas de produção, produtos ou atividades e o meio ambiente, identificando, avaliando e quantificando os fluxos do sistema – entradas (a energia, os materiais utilizados) e saídas (produtos, co-produtos, emissões), visando avaliar o impacto dessa “utilização/liberação” no meio ambiente. Seus resultados servem como apoio à implementação de oportunidades de melhorias ambientais. Essa técnica considera todas as interações como: consumo de matérias-primas, água, energia e seus efeitos associados que provocam emissões para o ar, para a água e para o solo. Analisa, adequada e sistematicamente, os aspectos ambientais relativos aos produtos, passando por todo o sistema produtivo, desde a matéria-prima até sua disposição final.

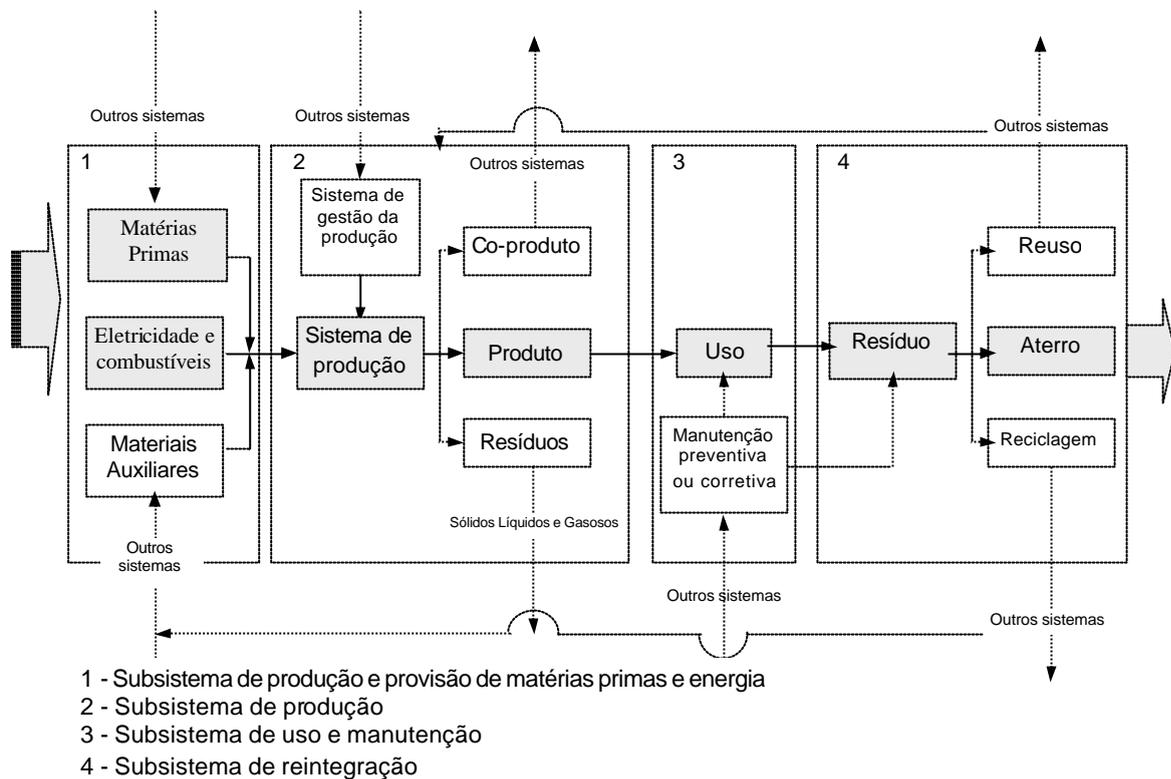
Sua aplicação proporciona uma visão global do elemento estudado e de suas interações com a natureza, avaliando tanto a carga ambiental total efetiva, quanto às cargas associadas a cada estágio do seu ciclo de vida, demonstrando o desempenho ambiental do produto ou sua aceitação no mercado, permitindo, assim, a identificação de alternativas ambientalmente mais amigáveis ao longo de todo o ciclo e dos estágios em que a intervenção é mais eficaz para a melhoria do desempenho ambiental (NBR ISO 14.040, 1997).

Entre seus pontos positivos podem ser destacados seu caráter globalizador, que além de evitar a transferência de um problema, ou seja, que a solução para um determinado problema ambiental cause conseqüências em outra parte do ciclo de vida, também mostra a relação de todos os recursos usados, bem como os resíduos e emissões geradas pela unidade do sistema, permitindo sua avaliação.

2. CICLO DE VIDA DE UM PRODUTO

Através da estruturação de um sistema ou processo, onde são representados todos os passos que o constituem, isto é, desde o que chamamos de “início” até o ponto que consideramos o “final” de sua função, podemos ter uma visão holística de todas as inter-relações que podem ocorrer ao longo de todo o ciclo de vida de um produto. Este procedimento mostra o comportamento do sistema, permitindo uma gestão dos aspectos técnicos, econômicos ou ambientais. Esta prática dá uma visão geral de todos os aspectos no âmbito global do sistema.

Estes estudos, geralmente, se concentram nos fluxos de entradas (material, energia e ou produtos inacabados) e saídas (produtos acabados/inacabados, co-produtos e resíduos) de cada unidade do sistema (subsistema), em função dos objetivos propostos e dos interesses do agente promotor, sendo que os resultados serão canalizados para os diversos fins (comércio, tecnologia, otimização dos custos, estratégia de mercado, redução do impacto ambiental, etc.) A Figura 1 mostra os fluxos de um sistema genérico de um processo de produção de um produto.



Fonte: Cardim (2001).

Figura 1 – Fluxos de um sistema genérico de um processo de produção de um produto.

Com uma visão global do sistema pode-se focar objetivamente determinado subsistema, etapa ou fase do ciclo de vida e atribuir-lhe parâmetros correspondentes para a análise.

Todos os sistemas de produção, processos e serviços possuem um ciclo de vida que pode ser estruturado de forma sistêmica, com início e fim previamente estabelecidos. Normalmente, o ciclo de vida é composto de vários subsistemas interligados entre si em forma de fluxo progressivo, que se inicia com a aquisição de matérias-primas, passando por vários subprocessos intermediários, até alcançarem o final de sua vida útil quando são descartados. Chamamos este processo de ciclo completo, sendo comum a denominação “do berço ao túmulo”.

Ao utilizarmos o ciclo de vida completo é possível observar diversas inter-relações com o meio ambiente (fluxos de matéria-prima, energia, produtos e emissões) dentro e fora dos limites do sistema considerado. Considerar todas

estas inter-relações exigiriam métodos que quantificassem todos os efeitos e ações analisados. Portanto, é necessário definir-se os objetivos do estudo para que se possam obter resultados esperados. É indispensável escolher bem as ferramentas que permitam medir os diversos parâmetros, mesmo os de difícil quantificação. Entre os parâmetros quantificáveis estão incluídos aqueles relacionados com o consumo de matérias-primas, de água e energia, emissões de gases para a atmosfera, efluentes líquidos e resíduos sólidos, geração de co-produtos, etc. Estes parâmetros podem ser estudados utilizando a metodologia da ACV. Entretanto, os de difícil quantificação, como, riscos potenciais, sistemas geográficos, impactos visuais, escassez de recursos naturais, devem ser avaliados com ferramentas apropriadas. (ÁLAMO *et al.*, 1998; TRINIUS, 1999).

A ACV evita que um problema seja transferido de uma etapa para outra, por exemplo, que a solução de um problema ambiental particular atinja outra parte do ciclo de vida, ou interfira em outro impacto ambiental, pois mostra a relação de todos os recursos usados, bem como todas as emissões e resíduos gerados pela unidade funcional do sistema, possibilitando, assim, algum tipo de avaliação.

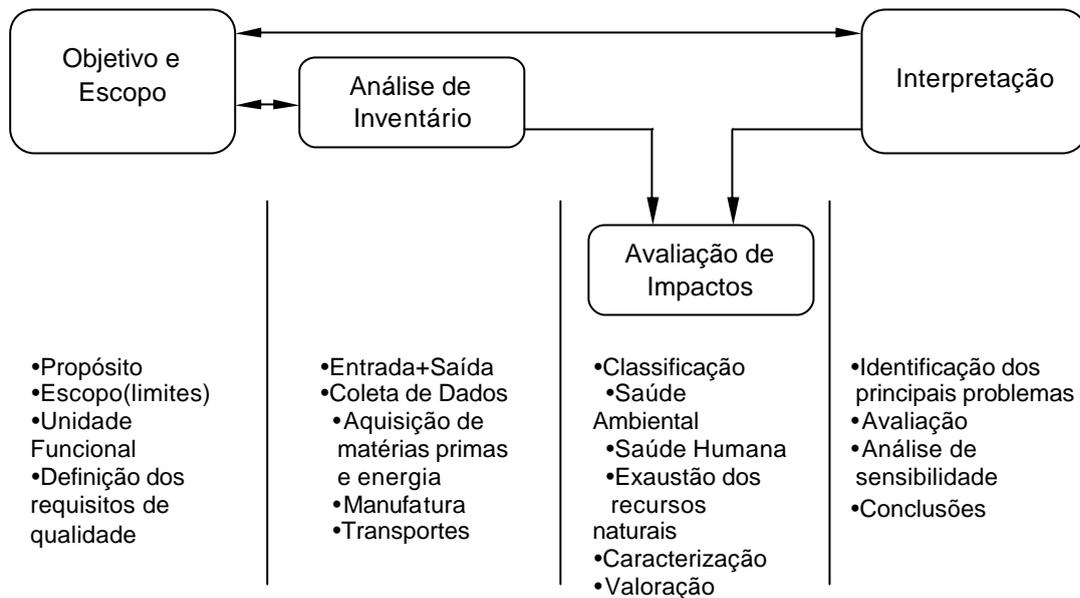
3. FASES DA ACV

As normas ISO definem requisitos gerais para a condução de ACVs e estabelecem critérios éticos para a divulgação dos resultados ao público. As metodologias de ACV são ferramentas criadas para orientar as empresas no processo de tomada de decisão bem como a avaliação de alternativas sobre métodos de manufatura. Também pode-se dizer que promovem o desenvolvimento sustentável sendo, também, utilizadas para dar sustentação às declarações de rótulos ambientais ou para selecionar indicadores ambientais (CHEHEBE, 2002).

A ISO 14.040/1997 estabelece que a análise do ciclo de vida de produtos deve obedecer a uma seqüência de fases:

- a definição do objetivo e o escopo do trabalho;
- uma análise do inventário;
- uma avaliação de impacto; e
- a interpretação dos resultados.

A Figura 2 ilustra as fases da ACV.



Fonte: Chehebe (2002).

Figura 2 – Fases da ACV.

3.1. Definição do objetivo e do escopo

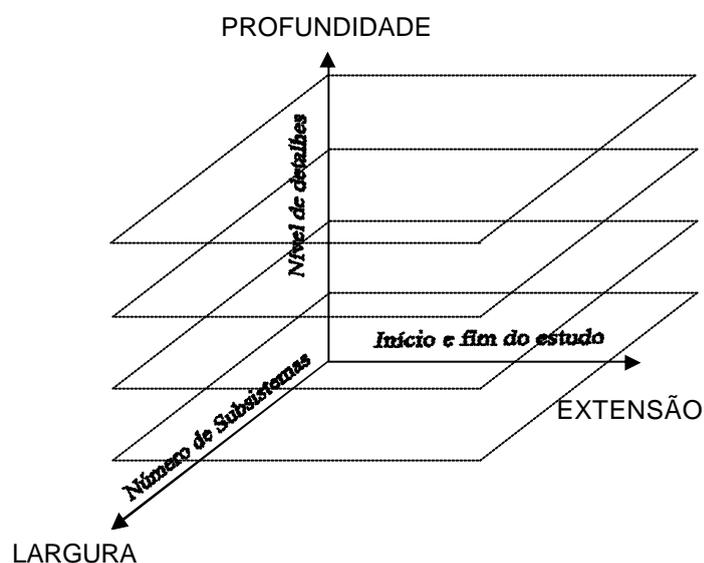
É a primeira fase. Tem como objetivo agrupar dois tipos de informações. Primeiramente, define-se a razão principal para a condução do estudo. A importância desta fase está em encontrar respostas para algumas questões determinantes. O caráter descritivo das respostas a estas questões representa um importante passo documental. No relatório são estabelecidos limites de caráter temporal e geográfico para o estudo.

A seguir procede-se à definição do escopo, cujo propósito principal é desenvolver a capacitação e assessorar a definição de sua abrangência e limites, estabelecendo as linhas mestras para a unidade funcional, definindo modelos para o processo industrial. Esta fase gera como resultado a metodologia e os procedimentos considerados necessários para a garantia da qualidade do estudo (NBR ISO 14.040, 1997; GUINÉE *et al.* 1998).

De uma forma simplificada, a norma ISO 14040/1997 estabelece que o conteúdo mínimo do escopo de um estudo de ACV deve referir-se às suas três dimensões conforme Figura 3:

- a *extensão* da ACV - onde iniciar e finalizar o estudo do ciclo de vida;
- a *largura* da ACV - quantos e quais subsistemas incluir; e
- a *profundidade* da ACV - o nível de detalhes do estudo.

A Figura 3 mostra estas três dimensões através de um gráfico.



Fonte: CHEHEBE (2002).

Figura 3 - Dimensões da ACV -

Na prática, o delineamento do contorno do sistema a ser estudado deve ser realizado com extremo cuidado, levando em conta a limitação dos recursos financeiros e do tempo. Quanto mais detalhes forem acrescentados à largura e à profundidade dos sistemas, maior a complexidade dos mesmos. Portanto devemos considerar, com cuidado, quais insumos, matérias-prima, energias e materiais auxiliares devem ser incluídos para que o estudo não perca seu foco principal. Isto mostra a importância de se definir claramente o objetivo e o escopo do estudo.

É necessário lembrar dos aspectos que tornam o estudo gerenciável, prático e econômico, sem descuidar, no entanto, da confiabilidade do modelo. Em todos os casos o princípio básico a ser aplicado é *menos é melhor*.

Segundo Chehebe (2002), o escopo refere-se à aplicabilidade geográfica, técnica e histórica do estudo, ou seja, qual a origem dos dados, formas de atualizar o estudo, como manipular os dados obtidos e onde aplicar os resultados.

Ao se definirem os objetivos e o escopo deve-se levar em conta, os propósitos esperados e os aspectos considerados relevantes para o direcionamento das ações a serem realizadas. Porém, observa-se que na prática, não se deve gastar muito tempo com a formulação do escopo, pois, com o desenvolvimento do trabalho pode ser necessário reformular a definição desses objetivos e o ajustamento do escopo do estudo.

Chehebe (2002) recomenda que, na definição dos objetivos e do escopo do estudo sejam 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;
- a metodologia a ser adotada no caso de Avaliação de Impacto;
- a metodologia a ser adotada na fase de Interpretação;
- o tipo e o formato de relatório; e
- a definição dos critérios para a revisão crítica, se necessário.

3.2. Análise do inventário do ciclo de vida

A ISO 14.041 define análise do inventário do ciclo de vida como a coleta de dados e aos procedimentos de cálculos com a finalidade de gerar uma base de dados quantitativa de todas as variáveis (matéria-prima, energia, transporte, emissões atmosféricas, efluentes líquidos, resíduos sólidos, etc.) envolvidas

durante o ciclo de vida de um produto (análise horizontal), processo ou atividade (análise vertical). Os cenários e as prioridades, em termos de coleta de dados, serão de grande auxílio no desenvolvimento da capacitação e no direcionamento do projeto.

Guinée, *et al.* (1998) em sua revisão do guia de ACV do Centro de Ciências Ambientais (CML) da Universidade de Leiden – Holanda – (1992), baseando-se na norma ISO 14.041 de 1998, e em outras referências, recomenda traçar um fluxograma do fluxo inicial do processo, tendo em vista que, desde o princípio os processos envolvem outros processos e o meio ambiente. Este fluxograma indicará graficamente os fluxos do sistema com todas as entradas e saídas mais importantes, reunindo-se, desta forma, os dados necessários.

A construção deste fluxograma deve ter início a partir do sistema de produção e da unidade funcional, agregando imediatamente os correspondentes processos adjacentes (processos auxiliares, transporte, e consumo de energia).

Lindeijer (1999) e Trinius (1999) afirmam que reconstruir todos os fluxos de entrada e saída pode ser um caminho sem fim. Por este motivo, a construção do fluxograma do processo serve como base para que sejam redefinidos os limites do sistema em estudo, auxiliando na tomada de decisões de se incluir os sistemas auxiliares que devem ser considerados como relevantes ao estudo em questão.

O inventário é uma fase difícil e trabalhosa de ser executada por diversas razões, que vão desde a ausência de dados conhecidos e a necessidade de estimá-los à qualidade dos dados disponíveis. Consome muito tempo de trabalho e de articulação com os diversos agentes envolvidos no sistema que se está analisando. Esta fase é considerada o “coração” do método.

A análise do inventário deve ser organizada considerando 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.

A Norma ISO 14040/1997 estabelece um esquema geral que o inventário deve conter:

- apresentação do sistema do produto a ser estudado e dos limites considerados em termos dos estágios de Ciclo de Vida, unidades de processo e entradas e saídas do sistema;
- base para comparação entre sistemas (em estudos comparativos);
- os procedimentos de cálculo e da coleta de dados, incluindo-se as regras para alocação de produtos e o tratamento dispensado à energia; e
- os elementos necessários para uma correta interpretação por parte do leitor, dos resultados da análise do inventário.

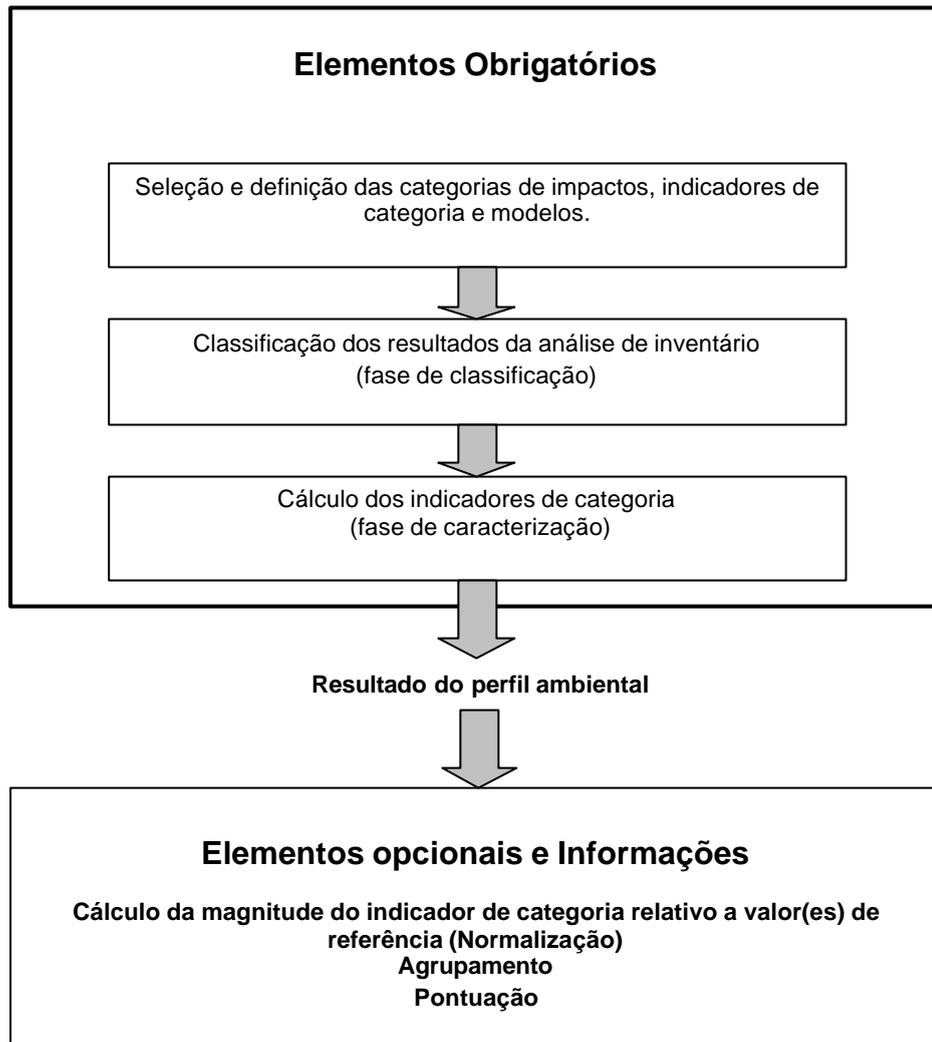
3.3. Avaliação de impacto

Representa um processo qualitativo/quantitativo de entendimento e avaliação da magnitude e significância dos impactos ambientais identificados nos resultados obtidos na análise do inventário. O nível de detalhes, a escolha dos impactos a serem avaliados e a metodologia utilizada dependem do objetivo e do escopo do estudo.

Compõe-se de uma fase técnica, considerada obrigatória pela metodologia e outra opcional (de caráter político), por parte do interessado do projeto. Os resultados têm um valor informativo que auxilia na tomada de decisões.

De acordo com a Figura 4, proposta pela ISO 14042/2000, nesta fase a metodologia da ACV deve conter, obrigatoriamente, os três passos a seguir:

- seleção e definição das categorias de impacto, incluindo os indicadores de categoria e modelos de avaliação utilizados;
- classificação dos resultados da análise de inventário (fase de classificação); e
- cálculo dos indicadores de categoria (fase de caracterização).



Fonte: NBR ISO 14.042 (2000).

Figura 4 – Elementos que compõem a avaliação de impactos da ACV.

3.4. Seleção e definição das categorias de impactos

As categorias de impactos são os efeitos causados ao meio ambiente pelos sistemas ou produtos estudados. Estes efeitos são selecionados e definidos levando-se em conta a importância do impacto. Na realidade, estes são os objetivos e alcances da ACV.

As categorias de impactos ambientais são agrupadas segundo os parâmetros de entrada e saída do sistema e têm distintos âmbitos de atuação: local, regional ou global.

O guia da ACV do CML (1992) classifica algumas destas categorias de impacto mais importantes mostradas no Quadro 1.

Quadro 1 – Categorias de impactos ambientais

Entradas	Consumo recursos renováveis
	Consumo recursos não-renováveis
Saídas	Aquecimento Global
	Incidência sobre a camada de ozônio
	Acidificação
	Eutrofização
	Formação fotoquímica de ozônio
	Contaminação do ar por particulados
	Carcinógenos
Metais pesados	

Fonte: CML (1992).

3.5. Classificação dos resultados da análise de inventário

Neste procedimento os dados são identificados, classificados e agrupados nas diversas categorias selecionadas no passo anterior. Entre os requisitos necessários destacam-se o comportamento que as cargas ambientais provocam sobre o meio ambiente. Em geral, são utilizados modelos de referência como os elaborados pelo CML (1992) e Wenzel *et al.* (1997).

É importante lembrar que determinadas substâncias podem atuar simultaneamente em mais de uma categoria de impacto. Por exemplo, o dióxido de enxofre, que contribui para a acidificação e para a contaminação do ar por particulados.

É necessário estabelecer critérios para evitar duplicação de efeitos. Nesses casos o fator de caracterização do modelo CML será igual a 1 (CML, 1992). É muito importante que esta atribuição seja adequada, pois pode comprometer a relevância e validade do trabalho.

3.6. Cálculo dos indicadores de categoria

Este último procedimento é conhecido como caracterização, onde os dados atribuídos a uma determinada categoria são modelados de forma a que os resultados possam ser expressos na forma de um indicador numérico para aquela categoria, a fim de estabelecer um perfil ambiental do sistema estudado.

O indicador da categoria tem por objetivo representar a carga total ambiental. Dessa forma, as substâncias contaminantes de um determinado modelo de categoria de impacto que contribuem para essa categoria podem ser reduzidas a uma única substância de referência que servirá de base para representar todos os resultados nesta categoria de impacto.

O resultado da caracterização é a expressão da contribuição de determinada categoria de impacto, que com base na quantidade de emissões de substâncias equivalentes para cada categoria, medem a magnitude do impacto através do produto da carga ambiental e o fator de caracterização correspondente naquela categoria que foi avaliada. O Quadro 2 ilustra algumas categorias de impacto e o indicador base nela utilizado. Por exemplo, se estamos avaliando o efeito estufa, os diferentes gases que contribuem para este efeito (CO_2 , NO_2 , CH_4 e CFC's) são transformados em um único indicador, que neste caso será quilogramas de CO_2 equivalente. O mesmo ocorrerá para as demais categorias.

Quadro 2 – Exemplo de indicadores de categoria

Categoria de impacto	Indicador de categoria de impacto
Efeito estufa	kg CO_2 equivalente
Acidificação	kg de SO_2 equivalente
Eutrofização	kg de PO_4 equivalente

Fonte: CML (1992).

3.7. Elementos opcionais e informações

Após a caracterização, última etapa da ACV, obtém-se uma lista de quadros, denominados de perfil ambiental, que dependendo dos valores encontrados podem ser de difícil comparação.

Podem ser acrescentadas então, mais três fases consideradas opcionais, mas de igual importância para a avaliação do perfil ambiental do produto/processo em estudo. A mais usada é a Normalização, fase em que se determina a magnitude de cada categoria de impacto caracterizada, relacionando-se a um certo indicador de referência, que seja mais adequado para o tipo de análise que se deseja. Essa referência pode ser um determinado produto ou substância, uma determinada referência, um determinado valor crítico ou uma expressão econômica da importância do parâmetro. A normalização é obtida dividindo-se os valores dos parâmetros pela referência escolhida.

3.8. Interpretação dos resultados

Consiste na identificação e análise de todos os resultados obtidos nas fases de inventário e, ou, avaliação de impacto de acordo com o objetivo e o escopo previamente definidos para o estudo. É a avaliação sistemática das necessidades e oportunidades para reduzir a carga ambiental associada à energia e matéria-prima utilizadas e às emissões de resíduos em todo ciclo de vida de um produto, processo ou atividade. Esta avaliação deve conter os aspectos metodológicos adotados – classificação, caracterização, normalização e outros – e serão de grande utilidade na interpretação dos resultados.

O objetivo da fase de interpretação é analisar todos os resultados obtidos e os critérios adotados durante o estudo, tirar conclusões, explicar as restrições e fornecer recomendações para um estudo de inventário do ciclo de vida ou elaborar uma estrutura de análise de sensibilidade e incertezas para que o conjunto de informações possibilite a geração de um relatório final.

A interpretação dos resultados, além de destacar as limitações que podem tornar os objetivos inatingíveis ou impraticáveis, pode recomendar o uso de outras técnicas de avaliação ambiental, como avaliação de riscos e

avaliação de impacto ambiental (não fazer confusão com a fase da ACV que possui o mesmo nome). Essas outras ferramentas podem ser úteis para complementar às conclusões tiradas pela ACV.

A fase de Interpretação de uma ACV compreende as três etapas subseqüentes mostradas na Figura 5:

1. identificação das questões ambientais mais significativas baseadas nos resultados da análise do inventário e, ou, ACV;
2. avaliação que pode incluir elementos tais como a checagem da integridade, sensibilidade e consistência; e
3. conclusões, recomendações e relatórios sobre as questões ambientais significativas.

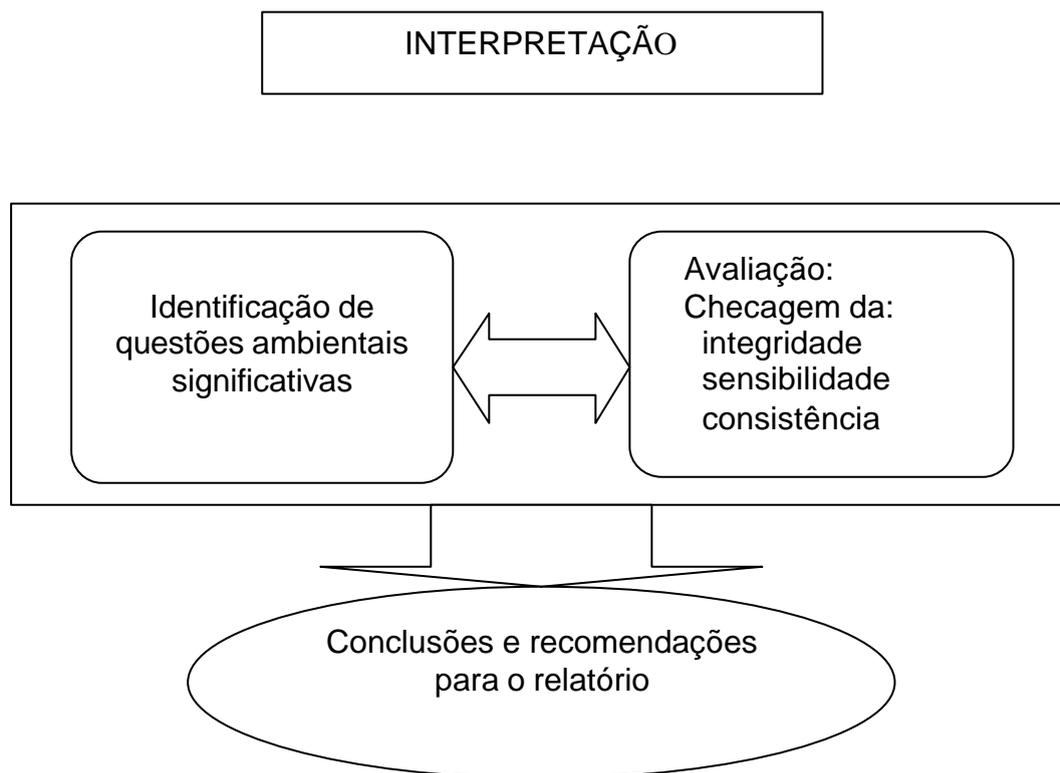


Figura 5 – Etapas da fase de Interpretação da ACV.

4. CONCLUSÕES

A crescente preocupação com os impactos ambientais gerados pela provisão de bens e serviços à sociedade tem sido indutora do desenvolvimento de novas ferramentas e métodos que visam a auxiliar na compreensão, controle e, ou, redução desses impactos.

A análise do ciclo de vida de produtos, processos e atividades vêm se mostrando uma importantíssima ferramenta no auxílio de estudos dessa natureza, por considerar o impacto ambiental ao longo de todo o ciclo de vida do produto: da extração das matérias-primas utilizadas à produção, ao uso e à disposição final do produto.

Dentro deste contexto, a análise do ciclo de vida também se mostra muito eficiente na análise e redução de custos industriais, evidenciando benefícios econômicos e estratégicos perante uma adequada política ambiental, que afeta diretamente o comportamento da indústria perante as legislações ambientais vigentes.

O enfoque gerencial da ACV constitui-se em um importante instrumento para a administração dos aspectos ambientais de sistemas de produtos, significando uma forte tentativa de integração da qualidade tecnológica do produto – ISO 9000, da qualidade ambiental – ISO 14000 e o do valor agregado para o consumidor e a sociedade – rótulos ambientais.

A ACV é uma ferramenta nova e ainda pouco utilizada, mas é muito importante para as estratégias de prevenção da poluição, uma vez que alerta antecipadamente sobre os impactos ambientais, sua redução ou suspensão.

A ACV pode desempenhar um papel importante dentro das empresas ao oferecer um inventário de entradas e saídas de cada produto, proporcionando, assim uma ampla base de informações sobre a totalidade dos recursos, energia necessárias e emissões, identificar pontos críticos dentro do processo produtivo, auxiliar no desenvolvimento de novos produtos, processos ou atividades, sugerindo redução de recursos e, ou, emissões.

Vários países já estão utilizando a metodologia da ACV como ferramenta auxiliar no fornecimento de informações para a certificação ambiental. No Brasil a ACV ainda não é uma ferramenta muito difundida. .

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLAMO, L; GONZÁLES, M.; SUMPSI, C. **Sistemas de gestió ambiental - Mediambient i tecnologia** – Guia ambiental da UPC. Universidade Politécnic da Catalunha, 1998.

CARDIM A. C. F. **Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento – Aportaciones al análisis de los inventários del ciclo de vida del cemento**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Politécnic da Catalunha, 2001.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos: Ferramenta gerencial da ISO 14.000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

CML – CENTRO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS UNIVERSIDADE LEIDEN. Holanda: Guia de ACV, 1992.

GUINÉE, J. B. **Environmental life cycle assessment** – Backgrounds – draft. M. Gorree; R. Heijungs; G. Huppes; R. Kleijn H.A.; Udo de Haes; E. van der Voet and M.N. Wrisberg - J.B Guinée (Editor final), outubro, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO – 14.040. **Environmental management** – Life cycle assessment – Principles and framework, Genève, Suíça, 1997.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO – 14.041 **Environmental management** – Life cycle assessment – Goal and scope definition and inventory analysis. Genève, Suíça, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO – 14.042.
Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle impact assessment ,Genève, Suíça, 2000.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO – 14.043.
Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle interpretation, Genève, Suíça, 2000.

LINDEIJER, E.; HUPPES, G. **Portioning economic in-and outputs to product systems** – Draft working document for Dutch LCA manual update. Version 3.1, IVANEnvironmental Research, Janeiro, 1999. 30 p.

TRINIUS, W. **Environmental assessment in building and construction** – Goal and scope definition as key to methodology choices. 1999. Tese (Doutorado) – Kungliga Tekniska Högskolan, Estocolmo, 1999.

WENZEL, H. *et al.* **Environmental assessment of products**. Volume 2: Scientific Background. Londres: Ed. Chapman & Hall, 1997. 565 p.