

## **Análise do Ciclo de Vida do Papel – Revisão de uma importante ferramenta para controle e redução de impactos ambientais**

João Carlos de Almeida Mieli, M.Sc – Professor do Departamento de Engenharia Civil - UFF, Doutorando do Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais - Universidade Federal de Viçosa - UFV - Viçosa – MG - Brasil

Cláudio Mudado Silva, Ph.D - Professor do Departamento de Engenharia Florestal - UFV - Viçosa – MG - Brasil

Rubens Chaves de Oliveira, Ph.D - Professor do Departamento de Engenharia Florestal - UFV - Viçosa – MG - Brasil

### **Resumo**

Alcançar o bem estar necessário com mínimas conseqüências ao equilíbrio do planeta significa mudar a estrutura existente entre o uso dos recursos naturais e a produção de bens e serviços. Deve-se considerar não só a operação de manufatura propriamente dita, como também o uso do produto relacionando-o com todas as suas etapas de vida até a sua disposição final. Novos instrumentos de avaliação, gestão e regulamentação ambiental estão sendo usados. Entre eles podemos citar a Análise do Ciclo de Vida (ACV) de produtos e processos, que é uma ferramenta importante para um bom desempenho da consciência ecológica por parte das indústrias, pois relaciona o produto com o meio ambiente, desde o início do processo produtivo até a sua disposição final. Este trabalho introduz a estrutura de ACV numa indústria de celulose e papel e provê uma avaliação dos encargos potenciais ambientais a eles associados, identificando e quantificando a energia, os materiais utilizados e os resíduos produzidos, visando avaliar o impacto dessa "utilização/liberação" no meio ambiente, de forma a implementar oportunidades de melhorias ambientais. Essa técnica considera todas as interações como: consumo de matérias primas, água, energia e efeitos que provocam emissões para o ar, para a água e para o solo. Analisa, adequada e sistematicamente, os aspectos ambientais relativos ao papel, passando por todo o sistema produtivo, desde a extração da matéria prima até sua disposição final. Sua aplicação proporciona uma visão global do elemento estudado e de suas interações com o meio ambiente, avaliando tanto a carga ambiental total efetiva, quanto às cargas associadas a cada estágio do seu ciclo de vida, identificando as 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.

### **Abstract**

To reach the necessary wellbeing with minimum consequences to the proper balance of the planet means to change the existing structure of the natural resources use and the production of goods and services. The manufacture of goods must not be considered solely, but also the use of the relating product with all stages of its life until its final disposal. New instruments of evaluation, management and environmental regulation are being used. Among them Life Cycle Analysis (LCA) of products and processes is an important tool for a good performance of the ecological conscience of the industries. It relates the product with the environment from the beginning of the productive process until its final disposal. The present work introduces the structure of LCA for the pulp and paper industry and provides an evaluation of potential environmental aspects, identifying and quantifying the used energy, materials and the produced residues, aiming at the evaluation of the impact of this "use/discharge" in the environment, in order to implement chances of environmental improvements. This technique considers all the interactions such as: consumption of raw materials, water, energy, air emissions, effluent discharge and the soil contamination. It analyzes the environmental aspects related to Paper, from all the productive system, from the extraction of the raw materials until its final disposal. Its application provides a global vision of Paper and its interactions with the environment, evaluating the effective total environmental load, and the loads associates to each period of its life cycle, identifying the most environmentally friendly alternatives throughout all the cycle and which stage of its life an intervention would be more efficient for the improvement of the environmental performance.

**Palavras-chaves:** Análise do Ciclo de Vida, Celulose e Papel, Meio Ambiente, Impactos Ambientais.

**Keywords:** Life Cycle Analysis, Pulp and Paper, Environment, Environmental Analysis.

## Introdução

Desde a antiguidade, o homem vem utilizando os recursos naturais com mínima interferência, pois estes eram abundantes e os resíduos gerados se diluíam sem maiores problemas.

Com o desenvolvimento tecnológico, a degradação ambiental vem se agravando drasticamente, em consequência do elevado nível de consumo dos recursos naturais, a contaminação da atmosfera, o esgotamento/contaminação dos aquíferos, que a princípio pareciam inesgotáveis, e a geração de resíduos muitas vezes maiores que a capacidade do ambiente possa absorver começa a preocupar os setores representativos de nossa humanidade.

Na década de 90 houve uma maior conscientização, em nível global, sobre a necessidade de conservação e recuperação dos recursos naturais. O debate e o consequente avanço da questão ambiental surgiram a partir da percepção da necessidade de uma maior integração das relações entre desenvolvimento e meio ambiente, originando o termo “Desenvolvimento Sustentável”. Sua aplicação, ainda que complexa, parece ser o caminho para a convivência pacífica entre o desenvolvimento e a proteção ambiental.

Segundo Gonzalez (1993), até 50 anos atrás não havia preocupação com os problemas ambientais. A partir desta data, começam a surgir os “problemas ecológicos”, assim chamados na época, atribuídos ao decréscimo da qualidade de vida humana, em função da percepção da sociedade quanto à contaminação da atmosfera e das águas e a destruição das espécies animais e vegetais do ecossistema.

Na década de 60, devido ao consumismo destrutivo provocado pela sociedade industrial, iniciam-se as relações entre os problemas ecológicos e o plano político, ou seja, a sociedade começa a despertar para uma “consciência ecológica”. Conforme Lerípio (2001) esta década foi marcada por conflitos de interesses entre preservacionistas e desenvolvimentistas, originando a questão ambientalista. As políticas desenvolvimentistas eram definidas como aquelas que visavam incrementar a atividade humana e as preservacionistas aquelas que buscavam restringir tal atividade. A compatibilidade entre o desenvolvimento econômico e o meio ecológico, deve ocorrer por meio do sacrifício imediato de benefícios econômicos que serão realizados para a preservação, recuperação e proteção do meio ambiente.

Para Lerípio (2001), as empresas em geral e, as poluidoras em específico, precisam atender tanto à fiscalização quanto competir e satisfazer o mercado. De um lado precisam enquadrar-se na legislação ambiental brasileira, cada vez mais exigente e aplicável. De outro, vencer barreiras ambientais, principalmente na Europa e na América do Norte, a fim de exportar seus produtos e atender as reivindicações da sociedade compradora, onde a tendência é de adquirir produtos ambientalmente corretos, mesmo que seu preço seja maior.

Com o advento das questões ambientais, da sua respectiva legislação, dos órgãos de controle ambiental em nível mundial, federal, estadual e municipal e da obrigação das indústrias em seguirem as leis e regulamentações específicas, alguns países mais preocupados com as causas ambientais, as empresas pró-ativas, os gerentes e as autoridades com maior conscientização deverão implementar medidas de desenvolvimento sustentável.

A Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia que vem se mostrando adequada para avaliar e quantificar os principais impactos ambientais ocorridos durante o ciclo de vida completo de um produto processo ou atividade, além de representar uma ferramenta importante de apoio à gestão ambiental (CARDIM,2001).

O desenvolvimento, a utilização e a melhoria de metodologias específicas para Análise do Ciclo de Vida de produtos, processos e atividades que utilizem recursos naturais não renováveis, tornam-se importantes, não só pela carência destas ferramentas, como pelo número de projetos que deverão aumentar a curto e a médio prazo. Portanto, quanto maior o conhecimento e melhores as ferramentas e metodologias para avaliação de impacto ambiental destes projetos, mais efetivas e rápidas serão as análises dos responsáveis para tomada de decisão facilitando, assim, a compreensão e a capacidade de intervenção do público.

## Análise do Ciclo de Vida

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).

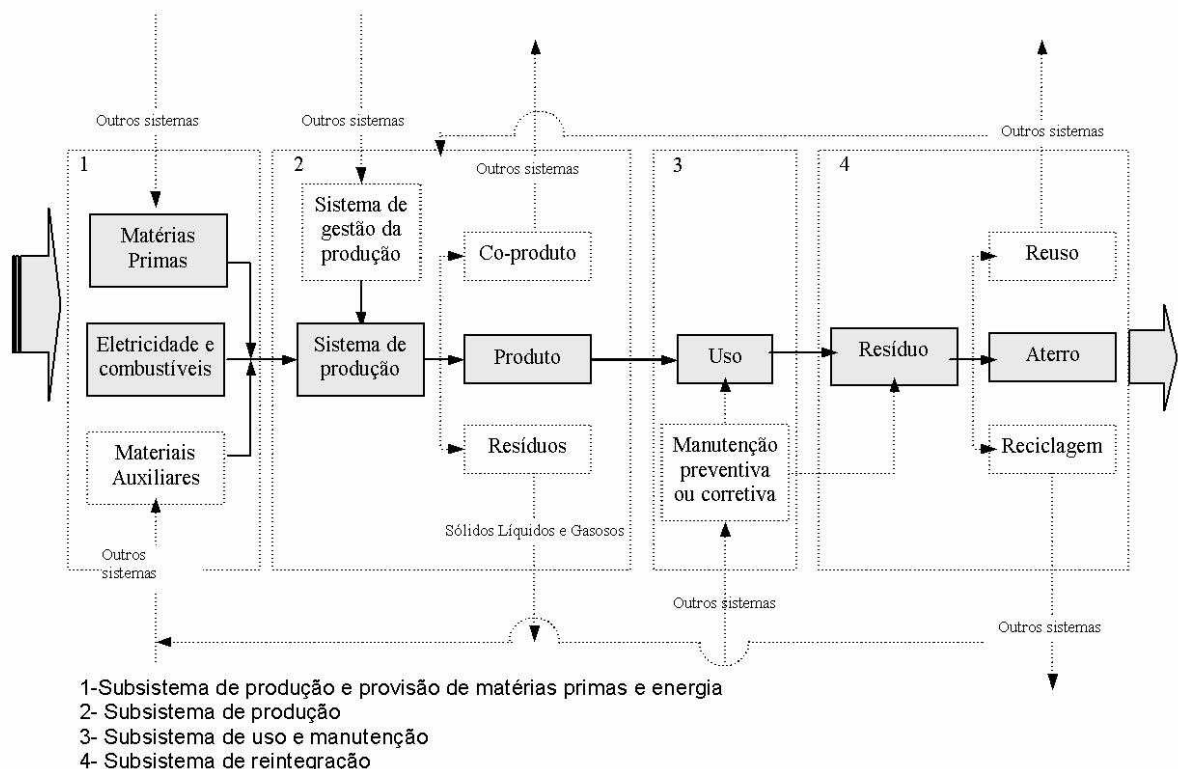
Entre seus pontos positivos podemos destacar seu caráter globalizador, que além de evitar a transferência de um problema, ou seja, que a solução para um determinado problema ambiental cause conseqüências em outra parte do ciclo de vida, também mostra a relação de todos os recursos usados, bem como os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

## 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, além de oferecer uma visão geral de todos os aspectos no âmbito global do sistema.

Geralmente, os estudos 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 os resultados 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, este ciclo de vida é composto de vários sub-sistemas interligados entre si em forma de fluxo progressivo, que se inicia com a aquisição de matérias primas, passando por vários sub-processos 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”.

No uso de um ciclo de vida completo pode-se 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).

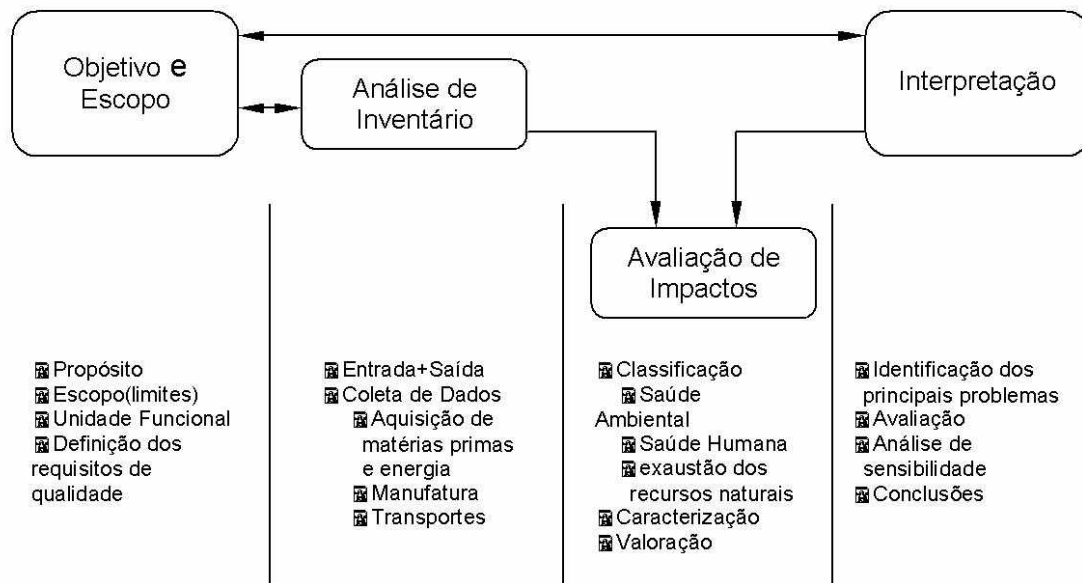
A ACV evita que um problema seja transferido de uma etapa para outra, por exemplo, que a solução de um problema ambiental particular atinja outra parte do ciclo de vida, ou interfira em outro impacto ambiental, pois mostra a relação de todos os recursos usados, bem como todas as emissões e resíduos gerados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

## Fases da ACV

As normas ISO definem requisitos gerais para a condução de ACV's e estabelecem critérios éticos para a divulgação dos resultados ao público. 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;
- ♦ A interpretação dos resultados.

A Figura 2 ilustra as fases da ACV.



Fonte: Chehebe,2002.

Figura 2 - Fases da ACV.

## Definição do Objetivo e do Escopo

A primeira fase para se implementar uma ACV é definir o objetivo e o escopo. O objetivo é agrupar dois tipos de informações. Inicialmente, 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:

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

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 deve-se considerar, com cuidado, quais insumos, matéria primas, 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.

Segundo Chehebe (2002), o escopo refere-se a 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 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.
- ◆ A definição dos critérios para a revisão crítica, se necessário.

## **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 os 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.
- ◆ Que 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 seja redefinido 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;
- ◆ 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 dispensável à energia;
- ◆ Os elementos necessários para uma correta interpretação por parte do leitor, dos resultados da análise do inventário.

## 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 (Figura 3).

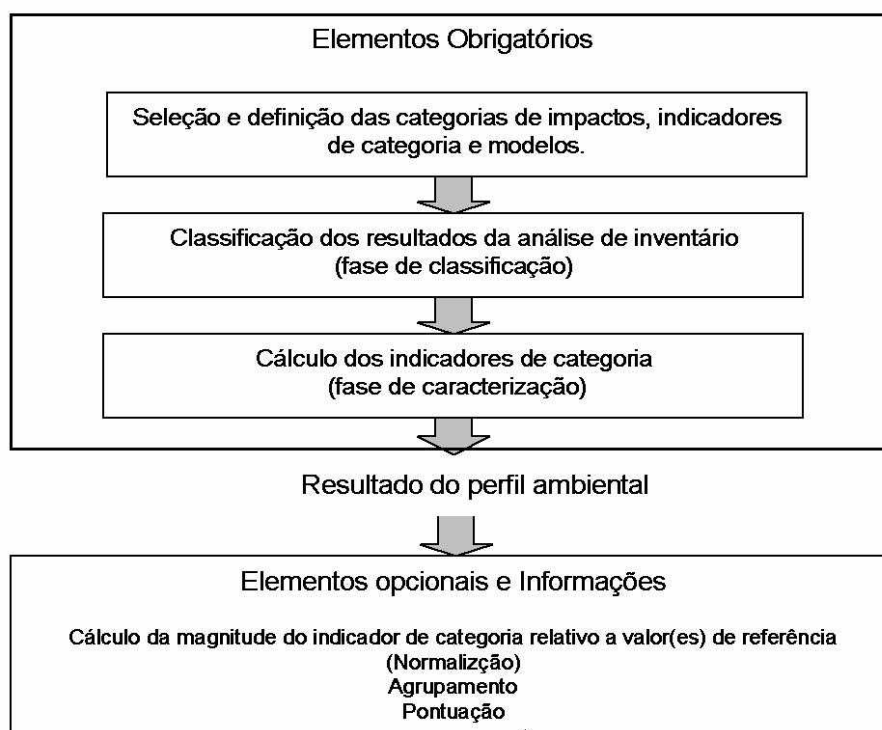


Figura 3 - Elementos que compõem a avaliação de impactos da ACV(NBR ISO 14.042/2000)

De acordo com a Figura 3, 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);

- ♦ Cálculo dos indicadores de categoria (fase de caracterização).

## Seleção e definição das categorias de impactos

As categorias de impactos são os efeitos causados ao meio ambiente pelos sistemas ou produto 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 Centro de Ciências Ambientais (1992), classifica algumas destas categorias de impacto mais importantes mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Categorias de impactos ambientais (CML, 1992)

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

## 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 podemos destacar o comportamento que as cargas ambientais provocam sobre o meio ambiente. Em geral, são utilizados modelos de referência como os elaborados pelo CML (1992), 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.

## 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 baseada 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. A Tabela 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<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e CFC's) são transformados em um único indicador que neste caso será quilogramas de CO<sub>2</sub> equivalente. O mesmo ocorrerá para as demais categorias.

Tabela 2 - Exemplo de indicadores de categoria (CML, 1992)

<i>Categoria de impacto</i>	<i>Indicador de categoria de impacto</i>
-----------------------------	------------------------------------------

Efeito estufa	kg CO2 equivalente
Acidificação	kg de SO2 equivalente
Eutrofização	kg de PO4 equivalente

### 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:

- ♦ 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, em uma expressão econômica da importância do parâmetro. A normalização é obtida dividindo-se os valores dos parâmetros pela referência escolhida.

### 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, tais 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 as conclusões tiradas pela ACV.

A fase de Interpretação de uma ACV compreende as três etapas mostradas na Figura 4:

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;
3. Conclusões, recomendações e relatórios sobre as questões ambientais significativas.

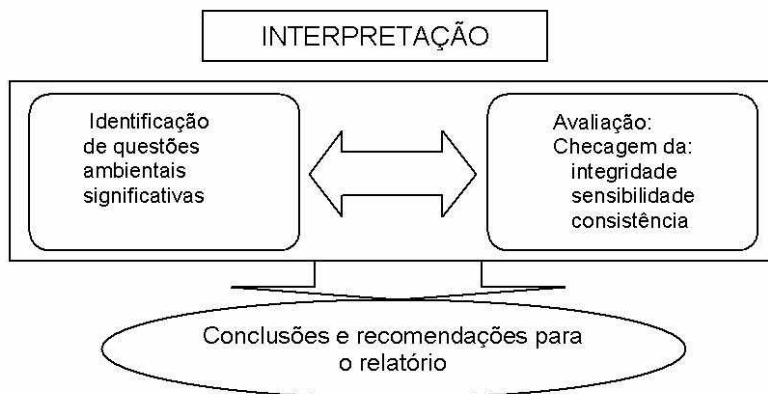


Figura 4 - Etapas da fase de Interpretação da ACV

### ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DO PAPEL

O setor da indústria de celulose e papel é considerado demandante intensivo de território. Tem um alto potencial poluidor para o meio ambiente devido ao grande volume de descargas de matéria orgânica e substâncias tóxicas geradas em seu processo produtivo, e além de causar sérios





No momento não existe informação sobre a contribuição dos diferentes tipos de florestas para suprir as indústrias de celulose e papel. Entretanto recente estudo da IIED apresenta uma classificação para os diferentes tipos de florestas e sua contribuição para a produção de polpa. (Figura 6).

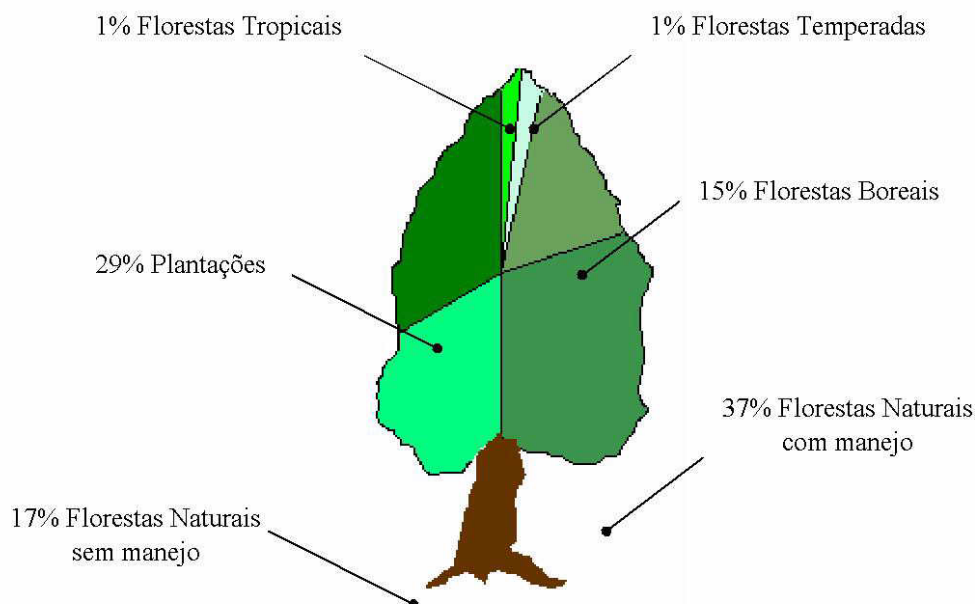


Figura 6 - Contribuição das florestas na produção de fibras.

Uma quantidade de práticas tem sido desenvolvida para regeneração das florestas e muito se tem investido no desenvolvimento e sustentabilidade das florestas. Entretanto, deve-se avaliar a extensão dos diferentes tipos de florestas para suprir as indústrias de celulose e papel e assegurar uma rotina para garantir a qualidade do manejo florestal e a plantação de novas florestas.

Os impactos associados com o manejo florestal são:

- ◆ Perda do habitat natural e da diversidade de espécies;
- ◆ Erosão do solo e perda de fertilidade;
- ◆ Desestabilização das bacias hidrográficas e degradação da qualidade da água;
- ◆ Redução do controle da terra e produção florestal;
- ◆ Deslocamento das comunidades rurais com perdas de benefícios;
- ◆ Degradação estética;
- ◆ Perda da qualidade da madeira que poderia ser usada para outros fins.

Os impactos associados a plantação de novas florestas são:

- ◆ Perda do habitat natural e da diversidade de espécies;
- ◆ Impactos causados ao solo;
- ◆ Impactos causados à água;
- ◆ Impactos causados pelo fogo, doenças e ocorrência de pragas;
- ◆ Impactos sociais.

## Indústria de celulose

As indústrias de celulose e papel têm uma grande importância em vários países. O setor produz uma grande variedade de produtos para a satisfação das necessidades do ser humano gerando renda e empregos. Ao mesmo tempo, porém, o setor de celulose e papel é um dos maiores consumidores das reservas naturais (fibras, energia e água) e tem sido uma grande fonte de poluição do ar, da água e do solo. (Sinclair, 1990).

O impacto ambiental causado pela indústria de celulose tem sido uma preocupação pública e o setor tem se esforçado para minimizar os sérios problemas causados, através de novas metodologias como processos de produção limpa, novos procedimentos que enfatizam a integração das indústrias e a prevenção de impactos.

As implicações ambientais provenientes das indústrias de celulose são:

- ◆ Obtenção de fibras;
- ◆ Energia;
- ◆ Água;

◆ Poluição.

As indústrias de celulose e papel recebem a matéria-prima em forma de toras ou cavacos. As toras são transformadas em cavacos e limpas antes de serem processadas (química ou mecanicamente). Normalmente, as polpas destinadas a papéis de escrita e impressão passam por processos de branqueamento, cujo objetivo é a remoção de lignina e outras impurezas remanescentes nas polpas após o estágio de cozimento. Os processos de branqueamento usam produtos químicos a base de cloro, e hidróxido de sódio. As fábricas mais modernas possuem métodos alternativos de branqueamento, que minimizam o impacto ambiental restringindo o uso de compostos a base de cloro.

A maioria das fábricas de papel utiliza as etapas de preparação da matéria prima, formação das folhas de papel e secagem. A manufatura do papel solicita grande quantidade de água para diluir a polpa e outros ingredientes usados para formar as folhas de papel. Na secagem essa água é removida utilizando grande quantidade de energia. As indústrias de celulose e papel podem ser integradas ou não.

Dependendo do uso destinado ao papel, a preparação da polpa pode envolver uma mistura de tipos de polpas e aditivos químicos. Nas fábricas não integradas, a polpa seca deve ser hidratada antes de entrar na máquina de papel. Após a secagem parte água retirada pode ser recuperada através da recirculação e outra parte é enviada ao sistema de tratamento de efluentes.

O efluente líquido das indústrias de celulose e papel tem sido o foco da preocupação pública nas últimas décadas. Estes efluentes contêm sólidos suspensos, matéria orgânica dissolvida, cor, e, principalmente organoclorados (fábricas que utilizam o cloro e seus derivados no branqueamento).

Segundo Silva e Alves (2001) "nas indústrias de celulose, as emissões atmosféricas ocupam lugar de destaque". O odor dos gases presentes nestas emissões causam desconforto à população, podendo, desta forma, comprometer a imagem da empresa, pois podem causar danos à saúde humana, como irritação nos olhos, nariz e garganta, bronquite, asma, etc.

As emissões aéreas nas fábricas de celulose e papel são decorrentes de processos e caldeiras. Os principais tipos são:

- ◆ Partículas sólidas – partículas microscópicas (1-30  $\mu$ m) provenientes das caldeiras de recuperação ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), caldeira de biomassa, forno de cal, tanque de dissolução de fundidos. Podem penetrar no sistema respiratório e causar danos à saúde humana.
- ◆ Compostos de Enxofre Total Reduzido (TRS) –  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_3\text{SH}$ ,  $\text{CH}_3\text{SCH}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{S}_2\text{CH}_3$  oriundos dos digestores, evaporadores e caldeiras de recuperação. Provocam odores a concentrações extremamente baixas.
- ◆ Óxidos de Enxofre e Nitrogênio –  $\text{SO}_2$ , provenientes da caldeira de recuperação, caldeira de biomassa, forno de cal e caldeira de óleo.  $\text{NO}_x$  provenientes do forno de cal, caldeira de recuperação e caldeira de biomassa. Causa danos no sistema respiratório humano, corrosão e danos a vegetação.
- ◆ Compostos Orgânicos Voláteis (VOC) – Álcoois, terpenas e fenóis provenientes dos digestores e evaporadores. São tóxicos e provocam reações fotoquímicas na atmosfera com produção de ozônio.
- ◆ Cloro e Dióxido de Cloro – provenientes das plantas de branqueamento. Provocam corrosão, e são tóxicos à saúde humana.

É grande a variedade dos resíduos sólidos gerados nas fábricas de celulose e papel, porém, são classificados como não perigosos (Classe II) pela legislação brasileira e o aterro costuma ser o seu destino final. A principal desvantagem do aterro industrial é que necessita de grandes extensões de terra e diversos problemas podem surgir com a sua prática. Na escolha do local adequado para a implantação do aterro, alguns parâmetros devem ser considerados:

- ◆ Baixa densidade populacional;
- ◆ Nível do lençol freático;
- ◆ Área não sujeita a inundações;
- ◆ Permeabilidade do solo;
- ◆ Transporte acessível.

A incineração é utilizada para uma parte dos resíduos. Novas caldeiras estão sendo desenvolvidas permitindo combustões altamente eficientes.

Outra opção é a compostagem que inclui avançado controle do fluxo de resíduos e posterior utilização na agricultura.

Os resíduos sólidos provenientes de uma fábrica de celulose e papel são:

- ◆ Lodo primário – proveniente do sistema de tratamento primário dos efluentes. Sua disposição final é a compostagem, incineração na caldeira de biomassa e aterro industrial ou sanitários.

- ◆ Lodo secundário – proveniente do sistema de tratamento secundário dos efluentes. Sua disposição final é a compostagem, incineração na caldeira de biomassa e aterro industrial.
- ◆ Cinzas – provenientes da caldeira de biomassa são compostas por material inerte, produto da combustão de cavacos, cascas, etc. Costumam ser utilizadas como condicionadores de solos pois são ricas em potássio.
- ◆ Dregs – provenientes do clarificador de licor verde. Seu destino final é o aterro industrial. Misturados com outros resíduos podem ser utilizados como condicionadores de solos.
- ◆ Grits – oriundos do apagador de cal. Seu destino final é o aterro industrial. Misturados com outros resíduos podem ser utilizados como condicionadores de solos.
- ◆ Cascas – provenientes do descascador no pátio de madeira. Sua disposição final é a compostagem, incineração na caldeira de biomassa.
- ◆ Outros – provenientes de diversas fontes dentro da fábrica (restaurantes, escritórios, oficinas). Sua disposição final é a reciclagem ou aterro industrial.

## Conversão

A conversão é o processo que transforma o papel em produtos finais (forração, impressão e adição de tintas e adesivos ao papel, entre outros). O uso de tintas e adesivos provocam compostos orgânicos voláteis (VOC) que provocam reações fotoquímicas na atmosfera com produção de ozônio além de dificultar ou inviabilizar a reciclagem, pois os processos de remoção são caros.

## Transporte

O transporte ocorre em todos os estágios do ciclo de vida do papel (Figura 5), é o maior custo na produção de polpas e papel e provoca um grande impacto ambiental. Nenhum estudo sobre o setor da indústria papelreira estaria completo sem um minucioso exame dos serviços de transporte. Porém isso é extremamente difícil de ser realizado, pois não existem levantamentos estatísticos que permitam uma avaliação de distâncias e usos por setores. Em muitos casos os dados estão incompletos e a comparação entre países é inconsistente.

Fibras, polpas, produtos de papel, e resíduos de papel são transportados através do mundo inteiro. O modo para o transporte normalmente empregado é a rodovia, a ferrovia e o oceano. O transporte aéreo é muito pouco utilizado.

O principal impacto ambiental causado pelo transporte no ciclo de vida do papel é o uso de combustíveis não renováveis e a emissão de poluentes na atmosfera.

As principais emissões são de: CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>. Os efeitos causados por estas emissões são bem conhecidos e dependem da localização das emissões e da presença de outros fatores climáticos e ambientais. Entretanto se as emissões por transportes são principalmente em zonas urbanas há uma grande concentração e outros antecedentes, e os impactos ambientais serão maiores do que o percentual permitido. Porém se a maior parte dessas emissões ocorrer na zona rural os efeitos serão menores.

O transporte marítimo causa impactos, desproporcionalmente, menores, levando-se em conta a distância percorrida, se comparados com os impactos do transportes rodoviário e ferroviário. O transporte rodoviário é o maior impactante ambiental.

## Consumo

O papel cumpre uma série de funções essenciais no mundo moderno. Para muitos, seria muito difícil imaginar a vida diária sem o uso do papel, seja para comunicação, embalagens, higiene e outros usos domésticos. O crescimento constante do consumo do papel tem confirmado a sua utilidade comparada com o baixo custo, alto desempenho e flexibilidade de uso. Publicações oficiais e pesquisas de opinião pública confirmam que o papel é considerado essencial para a vida moderna e o desenvolvimento.

## Reciclagem

A reciclagem de papel tem crescido, nos últimos anos, em muitos países. Em 1994, a taxa mundial de papel reciclado alcançou cerca de 40%, comparada com 33% em 1988. Historicamente, a reciclagem de papel tem sido encarada como um bem disponível e de custo a ser considerado.

Países como a Alemanha e o Japão, que produzem matérias-primas fibrosas em quantidade insuficiente para manter a demanda, tem usado grandes quantidades de papel reciclado desde as décadas de 50 e 60. Países em desenvolvimento como Taiwan, Filipinas e Indonésia, tem importado aparas de papel como matéria-prima para suas indústrias de papel. O uso de papel reciclado tem sido movido por motivações financeiras como uma forma de reduzir custos da produção e de matéria-prima. Nos últimos anos, tem havido uma tendência de se usar a reciclagem de papel como uma forma de reduzir a quantidade de resíduos sólidos, acarretando recursos e minimizando consumo de energia.

## **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 do Papel 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 ACVP 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.

Com este trabalho pretende-se proporcionar às empresas de celulose e papel os elementos necessários ao eficaz gerenciamento dos impactos ambientais, e que estes sejam passíveis de integração com qualquer outro requisito de gestão, auxiliando no alcance de objetivos sustentáveis, ou seja, considerar simultânea e balanceadamente objetivos econômicos, sociais, ecológicos, culturais, espaciais e temporais das organizações.

Esta pesquisa permitirá que outras sejam baseadas na conceituação apresentada, abrindo caminho para que novos trabalhos científicos venham a motivar os empresários a incluir a variável ambiental em seus sistemas estratégicos de gestão. A sistematização da avaliação microeconômica dos impactos ambientais deverá facilitar a incorporação da variável ambiental na gestão estratégica das organizações, principalmente pela esperada demonstração dos impactos positivos que ela proporcionará aos negócios em médio e longo prazos.

Em termos de contribuição teórica a metodologia proposta, por sua natureza prescritiva, proporciona melhor entendimento das questões ambientais; de situações que demandem ações, isto é, aquelas onde existem diferenciais de desempenho, que se manifestam como um espaço/disparidade entre a realidade e, o desejo dos usuários com relação àquela situação, que se pretende resolver para atingir objetivos imediatos.

## **Referencia Bibliográficas**

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

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

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

IIED. **Paper cycle: An Independent study on sthe sustentability of the pulp & paper industry.** 1995.

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.**

LERÍPIO, Alexandre de Ávila. **GAIA - Um método de gerenciamento de aspectos e impactos ambientais.** Tese de Doutorado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 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.**

MARINHO, M. B. **Novas Relações sistema produtivo/meio ambiente: controle à prevenção da poluição.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana, Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2001.

SIILVA, C. M., ALVES, L.J.L. **Controle Ambiental na Indústria de Celulose e Papel.** Revista Ação Ambiental, UFV, Viçosa, Minas Gerais, fev/março, 2001.

SINCLAIR, W. R. **Controlling Pollution from Canadian Pulp and paper Manufactures.** Ottawa, Canadá, 1990.

TRINIUS, W. **Environmental Assessment in Building and Construction – Goal and Scope Definition as Key to Methodology choices – Kungliga Tekniska Högskolan, Estocolmo, Tese de Doutorado. 1999.**

Wenzel, H. et al. **Environmental Assessment of Products.**Scientific background. Chapman & Hall, Londres, 1997.Vol. 2.