

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E**  
**PESQUISA**  
**COORDENADORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MATERIAIS**

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE DESEMPENHO AMBIENTAL DE  
DUAS CAIXAS DE CARGA DE SEMI-REBOQUE BITREM  
GRANELEIRO: COMPÓSITO NATURAL *VERSUS* COMPÓSITO  
SINTÉTICO

**Luciane Sartori**

Caxias do Sul, 2007

Luciane Sartori

Avaliação Comparativa de Desempenho Ambiental de Duas Caixas de Carga do Semi-reboque Bitrem Graneleiro: Compósito Natural *versus* Compósito Sintético. “Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Materiais da Universidade de Caxias do Sul, visando à obtenção do grau de Mestre em Materiais”, com a orientação da Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cláudia Echevengúá Teixeira e a co-orientação da Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Alexandra Rodrigues Finotti.

Caxias do Sul, 2007

Luciane Sartori

Avaliação Comparativa de Desempenho Ambiental de Duas Caixas de Carga do Semi-reboque Bitrem Graneleiro: Compósito Natural *versus* Compósito Sintético. “Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Materiais da Universidade de Caxias do Sul, visando à obtenção do grau de Mestre em Materiais”, com a orientação da Profª Drª Cláudia Echevengúá Teixeira e a co-orientação da Profª Drª Alexandra Rodrigues Finotti.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM

Profª Drª Cláudia Echevengúá Teixeira, UCS

Profª Drª Alexandra Rodrigues Finotti, UCS

Profª Drª Regina Célia Reis Nunes, UFRJ

Prof. Dr. Gil Anderi da Silva, USP

Prof. Dr. Irajá do Nascimento Filho, UCS

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente às minhas orientadoras, Professora Dra. Cláudia Echevengúá Teixeira e a Professora Dra. Alexandra Rodrigues Finotti, por todo o processo de aprendizado que passamos juntas. Pelo incentivo, pelas discussões que resultaram em crescimento pessoal e profissional, e por aquela frase pequena, mas de grande valia no final de cada encontro e de cada e-mail: “está indo bem, falta pouco”.

Ao Professor Dr. Gil Anderi da Silva, pelos ensinamentos sobre a metodologia de análise de ciclo de vida.

À Universidade de Caxias do Sul em especial à pessoa do Prof. Dr. Israel Jacob Rabin Baumvol, coordenador deste curso de Pós-Graduação, pela compreensão na dilatação do cronograma inicialmente estabelecido, bem como pelo empenho em disponibilizar os recursos que permitiram a realização deste trabalho.

À empresa Randon S/A, que permitiu e apoiou o desenvolvimento deste trabalho.

Aos que produziram os dados brasileiros de inventário, auxiliando de forma considerável na construção deste estudo, em especial aos que solicitei informações complementares e que prontamente responderam.

Agradeço aos meus pais que, apesar de muitas vezes acharem tudo isso uma grande loucura, são os grandes responsáveis pela formação de um perfil de constante busca e desejo de ir sempre em frente.

Agradeço às minhas irmãs e ao meu irmão pela presença, de forte representação, em especial à Adriane que tem o dom das letras e que leu este trabalho com muita dedicação.

Agradeço de forma muito especial aos meus eternos amigos Rudimar Pedroni e Lorena Facchin pela força, compreensão, paciência e, em especial, pela torcida para que essa etapa fosse concretizada.

Aos colegas de trabalho Janaína Ribeiro Velho e César Leandro de Oliveira e à colega da universidade Larissa Nardini Carli, pela ajuda e disponibilidade que só eu sei de quanta valia foi.

A Deus pela oportunidade de viver e sobreviver a esse desafio que, como todos, exigiu dedicação, esforço e muita determinação.

Àqueles que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho, meu muito obrigado.

## RESUMO

Este trabalho abrangeu uma avaliação comparativa do desempenho ambiental de dois materiais: o painel de madeira e o painel multilaminar, usados na fabricação de caixas de carga de semi-reboques para o transporte de grãos. A avaliação de desempenho ambiental contemplou as etapas de manufatura, uso e descarte dos painéis. O estudo envolveu a caracterização dos dois processos produtivos, a realização de um balanço de massa, o levantamento do consumo de água e energia de cada processo e uma avaliação ambiental final através da ferramenta de análise de ciclo de vida (ACV). O balanço de massa permitiu avaliar o processo produtivo, e a ACV permitiu avaliar os impactos relativos aos insumos e materiais empregados, o uso e desempenho do produto e opções de descarte após o fim de sua vida útil. O painel multilaminar apresentou melhor desempenho ambiental geral em relação ao painel de madeira, considerando os aspectos avaliados nas diferentes etapas. O material multilaminar oferece aos painéis maior durabilidade, implicando um menor número de reposições para cumprir a mesma unidade funcional. Este aspecto ficou evidenciado na ACV como sendo um fator importante, já que houve menor geração de impacto. Para que a metodologia possa ter plena aplicação na seleção de materiais com atributos ambientais mais adequados, fazem-se necessárias a uniformização dos procedimentos de elaboração dos inventários de ACV e a obtenção de dados nacionais. Este trabalho mostrou a exequibilidade de se avaliar o desempenho ambiental de caixas de carga.

Palavras-chaves: análise de ciclo de vida, painel de madeira, painel multilaminar, manufatura, uso e descarte.

## ABSTRACT

This work presents a comparative evaluation of the environmental performance of two materials: a wood panel and a three layers synthetic panel, both used in the production of the load box of semi-trailer for grains transportation. The evaluation of the environmental performance contemplated the stages of manufacture, use and discarding of the panels. The study involved the characterization of the productive processes of both panels, the accomplishment of a mass balance, the survey of the water and energy consumption of each process and a final environmental performance evaluation using the life cycle assessment (LCA) tool. The mass balance allowed to evaluate the productive process itself, and the LCA, allowed to evaluate the relative impacts related to the inputs and materials used, performance of the product and options for discarding after the end of its useful life. The three layers synthetic panel presented better general environmental performance in relation to the wood panel, considering the aspects evaluated in the different stages. The synthetic panel material offers bigger durability for the load box, implying a less number of replacements to fulfill the same functional unit. This aspect was evidenced by LCA as being an important factor, since it had minor impact generation. In order for the methodology to be applicable for the selection of materials with adequate environmental attributes, it is necessary an uniformization of the procedures for the LCA inventory and the creation of national database. This work showed the feasibility of environmental performance of the load box.

Key words: life cycle assessment, environmental performance, wood panels, three layers synthetic panel, manufacture, use, discarding.

## SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE TABELAS.....	8
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	9
1. INTRODUÇÃO .....	11
5. AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE ACV NA SELEÇÃO DOS MATERIAIS .....	18
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	22
ANEXO 1 - BANCO DE DADOS PARA A TINTA E PARA O ADESIVO.....	27
ANEXO 2 - BANCO DE DADOS PARA INCINERAÇÃO DOS PAINÉIS DE MADEIRA.....	35
ANEXO 3 - BANCO DE DADOS PARA ATERRO DOS MATERIAIS QUE CONSTITUEM OS PAINÉIS MULTILAMINARES.....	42
ANEXO 4 – PRINCIPAIS CATEGORIAS DE IMPACTO NA ETAPA DE MANUFATURA DO PAINEL DE MADEIRA.....	57
ANEXO 5 – PRINCIPAIS CATEGORIAS IMPACTADAS NA ETAPA DE MANUFATURA DO PAINEL MULTILAMINAR.....	59

## LISTA DE FIGURAS

## LISTA DE TABELAS

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACV	Análise de Ciclo de Vida
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABTI	Associação Brasileira de Transportadores Internacionais
ABVC	Associação Brasileira de Ciclo de Vida
AIA	Avaliação do Impacto Ambiental
AICV	Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida
CE	Comunidade Européia
CETEA	Centro de Tecnologia de Embalagem
CILCA	Conferência Internacional Ciclo de Vida
CPV	Custo Produto Vendido
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
CV	Cavalo Vapor
EDIP	<i>Environmental Design of Industrial Products</i>
EI	Eco-indicador
EPS	<i>Environmental Priority System</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
GEE	Gases do Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MRI	<i>Midwest Research Institute</i>
NBR	Norma Regulamentadora Brasileira
PE	Polietileno
PP	Polipropileno
PVC	Policloreto de Vinila
REPA	<i>Resource and Environmental Profile Analysis</i>
SETAC	<i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i>



## 1. INTRODUÇÃO

A inovação tecnológica é fator determinante para que as empresas permaneçam no mercado. Ser competitivo em preços, em qualidade e em facilidades é essencial para disputar espaços comerciais, conquistar novos clientes e consolidar uma marca de credibilidade. Nesse sentido, há uma constante busca, por parte das empresas, por diferentes materiais de engenharia que tragam benefícios aos clientes e projetem a empresa à frente dos concorrentes. Além destas, uma exigência crescente por parte dos consumidores diz respeito à variável ambiental.

A indústria, na era da ecologia industrial, precisa, para ser competitiva, desenvolver processos e produtos que tragam na sua concepção a otimização do uso de matérias-primas, a utilização de tecnologias limpas, bem como a minimização da geração de resíduos. É necessário aliar o avanço tecnológico dos materiais à preservação ambiental, no sentido de pesquisar, desenvolver e optar por materiais de menor impacto ambiental, apresentando-os como diferencial competitivo de mercado, bem como, uma importante contribuição científica para a mudança de paradigma de como definir a qualidade e desempenho de processos e produtos, considerando-se a variável ambiental.

Uma abordagem convencional no desenvolvimento de um projeto para um novo produto inclui critérios como desempenho da sua função, qualidade, facilidade de uso, aspecto visual e boa relação custo/benefício e, de forma mais genérica, as necessidades de utilização do produto pelo consumidor.

Por outro lado, uma abordagem da ecologia industrial considera todo o ciclo de vida do produto, propondo alterações nos projetos e nos processos de forma a minimizar os impactos ambientais do mesmo desde sua fabricação até seu descarte [1]. A ecologia

industrial surge com princípios bem definidos ligados à integração de atividades produtivas e à reciclagem de recursos. Os modelos e as metas da ecologia industrial apontam para um modo de organização da economia segundo princípios de defesa do meio ambiente e exploração sustentável dos recursos naturais [2].

A indústria passa a medir o chamado desempenho ambiental, definido como a medida das alterações que uma operação industrial causa no ambiente, através do levantamento dos aspectos e impactos ambientais envolvidos nas operações.

A Análise de Ciclo de Vida (ACV) surge como uma ferramenta que permite introduzir a variável ambiental desde a concepção de um novo produto e/ou serviço, a qual foi padronizada por uma série de normas ISO (*International Standardization Organization*), começando pela ISO 14040. Esta análise compreende avaliar os impactos desde a extração das matérias-primas que entram no sistema produtivo ao descarte do produto ou resíduos gerados [3,4]. A ACV pode gerar dados e informações úteis para a tomada de decisão referentes às características do produto bem como, a seleção de indicadores ambientais relevantes para avaliação da performance de projetos ou processos e/ou planejamento estratégico de uma empresa<sup>[5]</sup>.

De forma geral, o objetivo deste trabalho de pesquisa foi avaliar comparativamente o desempenho ambiental de dois materiais, o painel de madeira e o painel multilaminar, no exercício da função. O painel multilaminar é um material inovador dentro da indústria de transporte rodoviário, mais especificamente, dentro da linha de implementos para transporte de grãos.

Em 2005 o painel de madeira (compensado naval) que constitui a caixa de carga do semi-reboque graneleiro foi substituído por painel multilaminar, um composto de metal, PVC (policloreto de vinila) e madeira de *pínus*, fixados entre si por adesivo polimérico. As bordas das laterais passaram a ser vedadas com perfis em PVC e reduziram em torno de

10% a perda da carga transportada, especialmente grãos. O desenvolvimento do painel multilaminar trouxe um novo conceito de laterais de semi-reboques utilizando um material exclusivo, inovador e com melhor vedação. Além de sanar a questão da perda de grãos, buscaram-se materiais mais leves, reduzindo o peso do produto graneleiro, o que está diretamente relacionado ao peso da carga a ser transportada. O material também apresenta maior resistência mecânica e à abrasão, aumentando a durabilidade do produto, garantindo aumento na sua vida útil, significando menor investimento em longo prazo. Também apresenta um *design* moderno, melhorando o aspecto visual do produto.

Contudo, todas as vantagens apresentadas ainda não respondem completamente aos questionamentos referentes ao desempenho ambiental, ou seja, a ação ou a influência em termos de impactos ambientais deste novo painel, considerando aspectos relacionados à escolha de matérias-primas, manufatura, uso e descarte em relação ao painel anterior. Em termos de impactos ambientais, como este novo painel se apresenta em relação ao seu antecessor?

Em princípio, o desenvolvimento de um novo produto pode representar para o fabricante uma oportunidade de causar um impacto menor ao ambiente. Entretanto, a análise do desempenho ambiental deve ser feita de forma sistemática e científica, estando respaldada na aplicação de uma metodologia criteriosa que possa gerar informações confiáveis para justificar o resultado final.

Neste trabalho, a avaliação de desempenho ambiental contemplou as etapas de manufatura, uso e descarte dos painéis que compõem a caixa de carga dos semi-reboques, sendo que, na etapa de manufatura, para as principais matérias-primas e insumos utilizados nos processos, a avaliação considerou os impactos gerados desde a extração dos materiais, utilizando-se de inventários de ciclo de vida já existentes.

Este trabalho visou contribuir no entendimento da interdisciplinaridade existente

entre ciência e tecnologia, relacionada ao ciclo global dos materiais, desde a extração da matéria-prima até o descarte dos mais variados produtos industriais.

Como procedimento metodológico, o trabalho envolveu a caracterização do processo produtivo, a realização de um balanço de massa com a quantificação de matérias-primas e insumos usados e de resíduos gerados nos processos de manufatura dos dois painéis, o levantamento do consumo de água e de energia de cada processo e a avaliação do desempenho ambiental. Esta última foi realizada avaliando-se os dados obtidos no balanço de massa e aplicando-se a metodologia de análise de ciclo de vida. Para tanto, estabeleceu-se a unidade funcional, o fluxo de referência e as fronteiras dos sistemas (painel de madeira e painel multilaminar), fez-se análise de inventário utilizando o programa computacional SimaPro, avaliando as condições de aplicabilidade dos dados brasileiros de inventário, e, por fim, procedeu-se a avaliação e interpretação dos resultados.

Esta dissertação apresenta inicialmente uma introdução do assunto que constitui o Capítulo 1. No Capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica, no qual foram abordados temas como os materiais utilizados na indústria automotiva para transporte de grãos, ecologia industrial e avaliação de desempenho ambiental; histórico, aplicações e etapas da metodologia de ACV e a ACV no contexto do trabalho. O Capítulo 3 apresenta o procedimento metodológico; O Capítulo 4 apresenta os resultados e a discussão da avaliação de desempenho ambiental. No Capítulo 5 é apresentada, uma avaliação da aplicação da metodologia de ACV na seleção dos materiais e, no Capítulo 6 são feitas as conclusões.

O aterro do PVC considera a base de dados *BUWAL250* sendo que o inventário está baseado na composição do PVC disposto no aterro municipal Suíço, e considera as etapas de coleta do resíduo, tratamento do efluente, disposição do lodo em *landfarming*, incineração do lodo e aproveitamento da energia do biogás.



## **2. Revisão Bibliográfica**

### **2.1 Materiais Utilizados na Indústria Automotiva para Transporte de Grãos**

Na economia mundial, o Brasil é considerado um país emergente, ocupando a décima posição no “ranking” [Erro: Origem da referência não encontrado]. Possui dimensões continentais, sendo o quinto maior país em dimensão territorial. Dentre as economias internas, destacam-se as indústrias siderúrgica, automobilística, química e a agroindústria, com a produção de grãos, especialmente soja, milho e arroz. A produção nacional, seja ela proveniente da indústria ou da agroindústria, tem no transporte rodoviário o seu principal meio de escoamento. Dependendo das características do modal escolhido, os níveis de estoque de segurança, de ciclo e em trânsito, podem ser maiores ou menores. “Análises preliminares das características do produto, com vistas à seleção do modal de transporte, deveriam transcender suas dimensões de peso e/ou volume e o custo do produto vendido (CPV)” [Erro: Origem da referência não encontrado]. Segundo a literatura, um fator determinante para a escolha do modal de transporte é a densidade de custos, ou seja, a razão entre o custo agregado do produto e seu peso. As implicações de um produto com baixa densidade de custos (R\$/kg) na escolha do modal de transporte são relevantes, uma vez que, para ser projetada a operação com menor custo logístico total, deve ser escolhido aquele cujo custo unitário seja compatível com a densidade de custo do produto. Outro fator que deve ser observado na escolha do modal de transporte é a variabilidade da demanda dos produtos a serem transportados. A operação de menor custo logístico total é obtida através de um

modal de transporte que fornece flexibilidade suficiente para acompanhar as variações na demanda, minimizando as chances de decisões equivocadas, como mandar quantidades erradas, do produto errado, para o local errado. Neste caso, modais de transporte mais rápidos e de menor capacidade, permitindo que sejam consolidados carregamentos em menor espaço de tempo, como o rodoviário, geram a flexibilidade necessária para que as operações acompanhem as flutuações da demanda.

Atendendo a essas necessidades do mercado, no transporte rodoviário, destaca-se a produção de semi-reboques das linhas graneleira, tanque e basculante. A produção de semi-reboques graneleiros tem fundamental contribuição para a economia nacional, por ser ela o principal equipamento utilizado para o transporte da produção nacional de grãos e produtos como aço, máquinas, químicos, etc.

O semi-reboque graneleiro tem sua caixa de carga (local onde são transportados os grãos) composta de laterais, as quais são responsáveis pela efetiva retenção da carga de grãos dentro da caixa de carga. A tecnologia utilizada na composição da lateral tem tido alterações significativas, especialmente nas últimas duas décadas, saindo da utilização de um compósito natural para a utilização de um compósito sintético.

### **2.1.1 Compósito Natural – Painel de Madeira**

A madeira, definida como um compósito que ocorre na natureza, consiste em fibras de celulose resistentes e flexíveis que são envolvidas e mantidas unidas por meio de um material mais rígido chamado de lignina [Erro: Origem da referência não encontrado]. As madeiras podem ser classificadas, de acordo com os grupos vegetais, em duas categorias: Gimnospermas e Angiospermas. As primeiras são caracterizadas como resinosas, não porosas, de baixa densidade ou mole, como, por exemplo, o Pinho

do Paraná e o Pínus. As segundas são denominadas de folhosas, porosas, de média e alta densidade ou duras, como, por exemplo, a Peroba, o Ipê e o Cedro Erro: Origem da referência não encontrado].

As chapas de madeira compensada são compostas de lâminas de madeira coladas entre si. As lâminas são dispostas umas sobre as outras ortogonalmente, com direção das fibras alternadas. Este procedimento, chamado de laminação cruzada, confere à chapa maior rigidez, resistência mecânica e estabilidade dimensional Erro: Origem da referência não encontrado]. As lâminas podem ser provenientes das Gimnospermas ou das Angiospermas, o que caracteriza o compensado de madeira macia ou dura. O primeiro é usado como painel estrutural em geral, enquanto que o segundo é utilizado como painel decorativo e como lâmina de revestimento de chapas de madeira aglomerada.

O compensado tem inúmeras aplicações no segmento industrial, seja na indústria moveleira ou na indústria metalúrgica. Na metalúrgica, é aplicado para diversos fins, desde a fabricação de embalagens até a fabricação de componentes que passam a fazer parte dos produtos manufaturados. Dentro do segmento de transporte, mais especificamente no transporte de grãos, o mesmo tem uma destacada aplicação na utilização em assoalhos e caixas de carga de semi-reboques graneleiro.

Na fabricação do semi-reboque graneleiro, até a década de 80, as laterais da caixa de carga eram compostas por viguetas (estrutura longitudinal da lateral da caixa de carga) e colunetas (estrutura vertical da lateral da caixa de carga) em madeira de lei, compensado e estruturas de aço. As viguetas e colunetas tinham a função estrutural; o compensado, além da estruturação, a função de vedação; e o aço, a de fixação ao semi-reboque.

A chapa de compensado era composta por lâminas de madeira de lei, com

função estrutural, e por lâminas de pinho (araucária), como revestimento externo, a fim de conferir um melhor aspecto visual. O processo de pintura constituía-se de correção superficial do compensado com primer alquídico e massa nitro-sintética, lixamento e posterior acabamento com tintas alquídicas à base de solventes.

Na década de 90, houve a primeira e significativa mudança no conceito, quando a coluneta de madeira de lei foi substituída pela metálica, o compensado passou a ter revestimento de madeira de lei e a pintura denominada de emborrachada (tinta à base de água).

Um dos principais problemas associados ao uso das chapas de compensado no transporte rodoviário está relacionado à baixa vida útil do mesmo, cerca de dois anos. A umidade é definida como o principal fator de influência na vida útil, em virtude de acelerar o processo de decomposição da madeira <sup>1</sup>.

### **2.1.2 Compósito Sintético – Pannel Multilaminar**

De maneira geral, pode-se considerar um compósito como sendo qualquer material multifásico que exiba uma proporção significativa das propriedades das fases que o constitui, de tal modo que é obtida uma melhor combinação de propriedades [Erro: Origem da referência não encontrado]. Num contexto geral, a literatura define compósito como um material multifásico feito artificialmente, não considerando os que ocorrem ou se formam naturalmente, o que não exclui a possibilidade do mesmo ter em sua constituição materiais naturais. Além disso, as fases constituintes devem ser quimicamente diferentes e devem estar separadas por uma interface distinta. A maioria dos compósitos foi criada para melhorar combinações de características mecânicas, tais como a rigidez, tenacidade e resistência nas condições ambientais e altas temperaturas.

---

<sup>1</sup> Dados de experiência e registros da empresa fabricante do semi-reboque.

São aplicados especialmente na indústria aeroespacial, subaquática e de transporte. Um forte exemplo de compósito é a *fiberglass* que consiste em fibras de vidro envolvidas em uma matriz polimérica, onde o produto resulta em melhores propriedades, se comparado às propriedades de cada um dos componentes [Erro: Origem da referência não encontrado].

No novo milênio, a indústria de semi-reboques, na busca por materiais inovadores, promoveu grandes alterações nas caixas de carga, substituindo em 2002, a vigueta de madeira de lei por metal e, em 2005, introduziu o uso de compósitos sintéticos, substituindo o painel de compensado por painel multilaminar, um compósito de metal, PVC e madeira de *pinus*, fixados entre si por adesivo polimérico. O material é mais leve, apresenta maior resistência mecânica e à abrasão, aumentando a vida útil do produto para sete anos. Também apresenta um *design* moderno, melhorando o aspecto visual do produto.

## **2.2 Ecologia Industrial e Avaliação de Desempenho Ambiental**

A indústria é um dos setores responsáveis pela dispersão de substâncias tóxicas no meio ambiente e, por isso, torna-se urgente e necessário promover mudanças na forma de tratar os problemas ambientais. Remediar e controlar os poluentes tornou-se insuficiente, sendo necessário direcionar os esforços no sentido de reduzir e, principalmente, prevenir o descarte de substâncias nocivas no ambiente.

A Ecologia Industrial é uma nova abordagem que, com menos de três décadas, já se encontra amplamente reconhecida, pela forma sistêmica com que analisa a indústria, seus produtos, resíduos e a interação destes com o meio ambiente [Erro: Origem da referência não encontrado].

Na Ecologia Industrial, o objeto de estudo é a inter-relação entre empresas, entre seus produtos e processos em escala local, regional e global e os ecossistemas envolvidos. Ou seja, avaliar as interações entre os sistemas industrial e ecológico e, conseqüentemente, os efeitos ambientais que estas empresas causam tanto nos componentes bióticos (seres vivos), como nos abióticos (fluxo de matéria e energia) dos diferentes sistemas.

O Conselho Mundial das Empresas para o Desenvolvimento Sustentável (*World Business Council for Sustainable Development-WBCSD*) fornece a seguinte definição sobre ecoeficiência: “bens e serviços que satisfazem as necessidades humanas e trazem qualidade de vida, enquanto reduzem seus impactos ecológicos e intensidade de uso dos recursos ao longo do ciclo de vida, para um nível menos ofensivo, em linha com o que se calcula ser a capacidade do ecossistema local e em última instância do Planeta Terra.”

Esse conceito implica, ao mesmo tempo, desenvolver produtos e serviços para atender às necessidades humanas, utilizando os recursos ambientais de forma racional, reduzindo os impactos ambientais. O WBCSD identifica ainda alguns aspectos para se alcançar a ecoeficiência, sendo eles:

1. Reduzir a intensidade do uso de matérias-primas em produtos e serviços;
2. Reduzir a intensidade de uso da energia nos produtos e serviços;
3. Reduzir a dispersão de poluentes tóxicos;
4. Aumentar a reciclabilidade dos materiais;
5. Maximizar o uso sustentável de recursos renováveis;
6. Aumentar a durabilidade dos produtos; e
7. Melhorar a qualidade de produtos e serviços.

Diferentes instrumentos podem ser utilizados para trabalhar a proposta de

ecoeficiência. Dentre eles, cita-se o Sistema de Gestão Ambiental (SGA) e o das Tecnologias Limpas, que promove a produção limpa.

O SGA tem sua estrutura definida e padronizada pela série de normas ISO 14000. Um SGA é uma maneira sistemática e organizada de avaliar, planejar, implementar e medir os processos de um sistema produtivo, numa ótica ambiental [Erro: Origem da referência não encontrado].

O escopo da ISO 14001 exige que a organização elabore sua política ambiental, bem como que os seus objetivos levem em consideração os requisitos legais e as informações referentes aos impactos ambientais significativos. Aplica-se aos efeitos ambientais que possam ser controlados pela organização e sobre os quais a mesma tenha influência. Prevê, também, um processo de melhoria contínua, através do qual a organização deverá estar sempre aperfeiçoando o seu desempenho ambiental, fator importante para a proteção ambiental.

Outro conceito usado com sucesso na Ecologia Industrial é a aplicação de tecnologias e produção mais limpa. De acordo com o Centro Nacional de Tecnologias Limpas, “produção mais limpa significa a aplicação de uma estratégia econômica, ambiental e técnica, integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos gerados, com benefícios ambientais e econômicos para os processos produtivos” [Erro: Origem da referência não encontrado]. A Produção mais Limpa vincula as questões ambientais com todos os níveis da organização, desde a compra de matérias-primas, a engenharia de produto, de processo, e relaciona as questões ambientais com ganhos econômicos para a empresa. Caracteriza-se por ações que são implementadas dentro da empresa, com o objetivo de tornar o processo mais eficiente no emprego de seus insumos, gerando mais produtos e menos resíduos. É

através de um programa de produção mais limpa que a atividade produtiva identifica as tecnologias limpas mais adequadas para o seu processo produtivo.

Por sua vez, o desempenho ambiental de uma organização é o resultado obtido do gerenciamento de seus aspectos ambientais. Desempenho ambiental é o estágio atingido por uma organização no trato das relações entre todos os aspectos das suas atividades e seus riscos e efeitos ambientais significantes [Erro: Origem da referência não encontrado]. Outra definição adotada é a de que desempenho ambiental é o resultado obtido do gerenciamento das atividades, produtos e serviços da organização que podem interagir com o meio ambiente, ou o resultado ambiental efetivo apresentado pela organização, sendo função do nível de conformidade por ela conquistada e da forma como assegura esta conformidade [Erro: Origem da referência não encontrado]. A avaliação de desempenho ambiental é um processo usado para medir, analisar, avaliar e descrever o desempenho ambiental de uma organização em relação a um determinado critério acordado, para a finalidade de um gerenciamento apropriado [Erro: Origem da referência não encontrado]. É um processo para facilitar decisões de gerenciamento do desempenho ambiental de uma organização, selecionando indicadores, criando e analisando banco de dados, avaliando informações, desempenho, registrando, comunicando e revisando periodicamente a melhoria deste processo, segundo critérios acordados.

Melo e Pegado [Erro: Origem da referência não encontrado] definem desempenho ambiental como a influência que uma operação industrial causa no ambiente. Os autores citam duas abordagens complementares para medição de desempenho ambiental: por indicadores de impacto ambiental e por indicadores de pressão ambiental. Impacto ambiental é o efeito ou mudança causada no estado do ambiente por uma atividade antrópica. Pressão ambiental é a medida da intensidade ou do potencial

da atividade para causar o impacto. São pressões ambientais os fatores de produção que exigem consumo de recursos naturais ou com potencial de degradação ambiental, tais como, consumo de materiais e água, ocupação de área, potencial de aquecimento global, emissões poluentes Erro: Origem da referência não encontrado].

O desempenho ambiental pressupõe uma avaliação das etapas do processo verificando a eficiência ambiental do mesmo, entendendo-se como o uso racional de matérias-primas, a utilização de tecnologias limpas, a minimização da geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Dentre as ferramentas utilizadas para avaliação do desempenho ambiental, citamos a Avaliação do Impacto Ambiental (AIA) e Análise de Ciclo de Vida (ACV).

Segundo a legislação brasileira, considera-se 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: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e V - a qualidade dos recursos ambientais*” Erro: Origem da referência não encontrado]. A AIA pode definir-se como a identificação e valoração dos impactos (efeitos) potenciais de projetos, planos, programas ou ações normativas relativas aos componentes físico-químicos, bióticos, culturais e sócio-econômicos do local onde será implementado Erro: Origem da referência não encontrado]. Existem diferentes métodos utilizados para avaliação de impacto ambiental, podendo ser associado mais de um método no estudo de um mesmo projeto Erro: Origem da referência não encontrado]. A escolha do método a ser adotado deve levar em conta os recursos técnicos e financeiros disponíveis, o tempo de duração, os dados existentes e os requisitos legais a serem atendidos.

Dentre os principais métodos de avaliação de impacto ambiental podemos citar o método Delfos, também conhecido como “ad hoc”, a listagem de controle (*checklist*), as matrizes de interação, as redes de interação e os modelos de simulação [Erro: Origem da referência não encontrado].

A ACV, por ser a ferramenta selecionada para a realização deste estudo, será apresentada com maior detalhamento na revisão bibliográfica.

### **2.3 Análise de Ciclo de Vida**

A ACV é uma ferramenta técnica, padronizada pela NBR ISO 14040 [3], para avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados a um produto. O termo “produto” é aplicado para bens e serviços.

Esta análise compreende etapas que vão desde a extração das matérias-primas que entram no sistema produtivo até o descarte do produto ou resíduos gerados. A ACV pode gerar dados e informações úteis para as tomadas de decisão referentes às características do produto, bem como na seleção de indicadores ambientais relevantes para avaliação da performance de projetos ou processos e/ou planejamento estratégico [Erro: Origem da referência não encontrado]. A ACV ajuda ainda no estabelecimento de prioridades ou durante o projeto de produtos e processos para avaliar a seleção de componentes feitos de diferentes materiais [Erro: Origem da referência não encontrado].

Para avaliar os aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto mediante a ferramenta ACV, é necessária a compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes a um sistema de produto, a avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas e a interpretação desses resultados em relação aos objetivos do estudo.

### 2.3.1 Histórico e Aplicações

Os primeiros estudos envolvendo o que hoje chamamos de ACV de produtos tiveram início durante a primeira crise do petróleo, quando o aumento significativo no preço do barril de petróleo gerou uma busca por formas alternativas de energia [Erro: Origem da referência não encontrado]. Os estudos foram encomendados por governos de diversos países industrializados, buscando avaliar os processos produtivos, racionalizar o consumo de fontes energéticas esgotáveis, buscando alternativas ao uso de combustíveis fósseis [Erro: Origem da referência não encontrado].

Em 1969, foi realizado, pelo *Midwest Research Institute (MRI)*, a pedido da Coca-Cola, um estudo com o objetivo de comparar diferentes tipos de embalagens para as bebidas, determinando qual delas apresentava menores índices de emissão para o meio ambiente, bem como, melhor desempenho com relação à preservação dos recursos naturais. A compilação dos dados usados nesse estudo tornou-se conhecida como REPA (*Resource and Environmental Profile Analysis*), que, muitas vezes é referenciado como o marco para o surgimento do que hoje conceituamos como Análise do Ciclo de Vida [Erro: Origem da referência não encontrado]. Posteriormente, na Europa, foi desenvolvido um procedimento similar chamado *Ecobalance*.

Entretanto, a proliferação de estudos sobre o ciclo de vida dos produtos sem uma metodologia padronizada aliada à falta de banco de dados amplos e confiáveis, bem como aos elevados custos envolvidos à época, resultou na manipulação dos resultados obtidos em muitos dos casos [Erro: Origem da referência não encontrado]. Por conta disso, a ACV passou por um período temporário de abandono, desacreditada por algumas comunidades científicas. A maior parte das análises de ciclo de vida nesses

anos, entre a década de 80 e o início da década de 90, foram realizados em materiais para embalagens, especialmente para embalagens de leite. A principal razão era a diferença de opinião entre embalagens de vidro ou plásticas (recicláveis) e as embalagens *Tetra Pak*.

No entanto, no ano de 1985, a Comunidade Européia (CE) decidiu recomendar a técnica de ACV para o auto-monitoramento no consumo de matérias-primas e energia e a geração de resíduos sólidos na fabricação de seus produtos [Erro: Origem da referência não encontrado,25] que levou um grande número de institutos de pesquisas voltarem a estudar a ACV.

A *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) foi uma das fomentadoras da metodologia na América do Norte, seguida pela mesma organização em Leiden, Holanda. Muitos conceitos adotados pela Setac foram seguidos pela ISO na série de normas sobre gestão ambiental, a ISO 14000. Para tanto, foi criado o comitê técnico TC-207 e seis subcomitês de trabalho, sendo o subcomitê número cinco, SC-05, o elaborador das normas de padronização da ACV, a série 14040 [3].

Na China, as pesquisas sobre a análise de ciclo de vida dos materiais (MLCA) foram enfatizadas em 1998 suportadas pela *National High-Tech R&D Program of the Ninth Five-year Plan* (1996-2000), sendo primeiramente estudada para típicos materiais e processos incluindo aço e ferro, alumínio e cimento [Erro: Origem da referência não encontrado].

O Brasil optou por tomar contato com a ACV por meio de três vertentes: a versão das normas da série 14040 para a língua portuguesa, através da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), órgão normalizador brasileiro; o desenvolvimento de estudos, tanto de aplicação como de aprimoramento de ACV, adaptados às condições brasileiras; e a criação da Associação Brasileira de Ciclo de

Vida, no ano de 2003 Erro: Origem da referência não encontrado].

De forma geral, a NBR ISO 14040 [3] recomenda a ACV para as seguintes aplicações:

- identificar oportunidades de melhoria dos aspectos ambientais de produtos em vários pontos do seu ciclo de vida;
- avaliar a tomada de decisão na indústria, assim como nas organizações governamentais e não-governamentais;
- selecionar indicadores relevantes de desempenho ambiental incluindo técnicas de medição;
- promover marketing institucional e de produto.

Durante o primeiro Simpósio organizado pela *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (Setac), Consoli Erro: Origem da referência não encontrado] subdividiu as aplicações da ACV em duas grandes vertentes. A primeira refere-se à identificação de oportunidades de melhoria de desempenho ambiental, sendo possível após a aplicação, estabelecer a contribuição do sistema em estudo para as diversas categorias de impacto ambiental, podendo propor ações de minimização dos mesmos. A segunda refere-se à comparação ambiental entre produtos de função equivalentes, onde são avaliados os aspectos e respectivos impactos ambientais para diferentes formas de atender a uma mesma função. Nesse caso, procura-se demonstrar a supremacia ambiental de certo produto sobre seus concorrentes diretos, com o intuito exclusivo de conquistar novos mercados.

Entretanto, como toda ferramenta, a ACV possui limitações reconhecidas pela própria NBR ISO 14040 [3], dentre as quais são citadas:

- a natureza das escolhas e suposições feitas

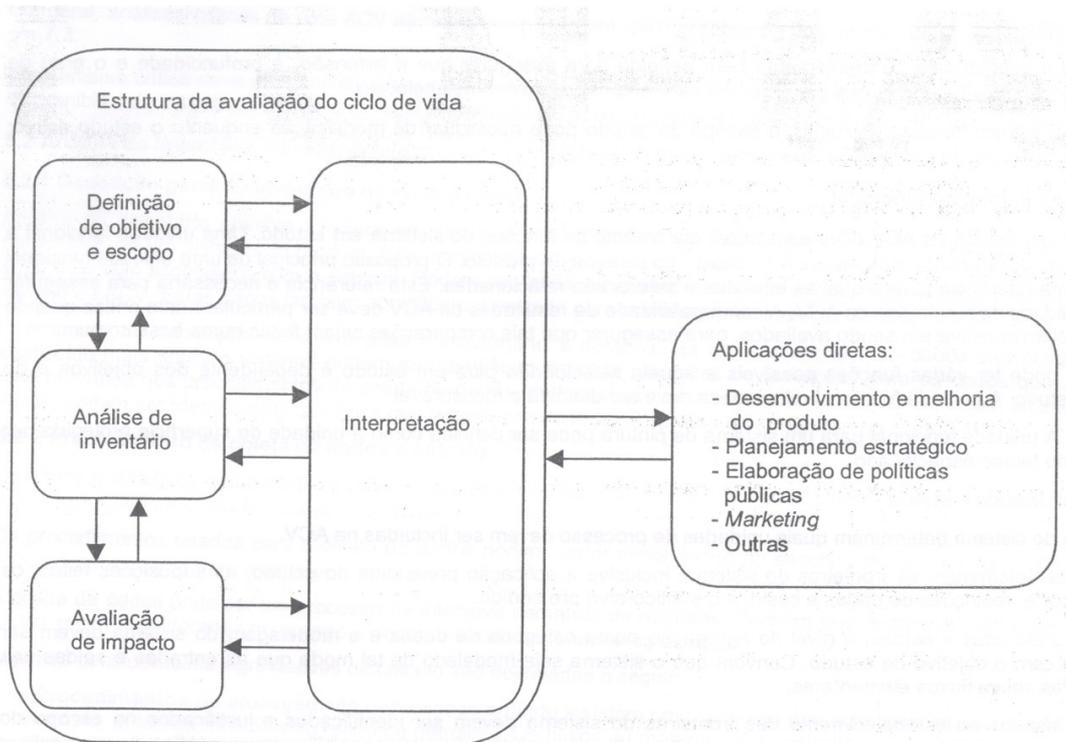
na ACV (estabelecimento das fronteiras do sistema, seleção da fonte de dados e categorias de impacto) pode ser subjetiva;

- os resultados de estudos de ACV focados nas questões regionais podem não ser apropriados para aplicações locais;
- a qualidade dos dados utilizados;
- os modelos utilizados para análise de inventário ou para avaliação de impacto ambiental são limitados por suas hipóteses e podem não ser disponíveis para todos os impactos a aplicações.

Por outro lado, autores Erro: Origem da referência não encontrado,<sup>29</sup>] comentam que a ACV é eficiente na identificação dos focos de problemas ambientais e nos seus efeitos, porém é incapaz de propor soluções para a remediação dos mesmos e, por isso, deve ser associada a outra ferramenta capaz de sanar essa lacuna.

### **2.3.2 Metodologia da ACV**

A norma ISO 14040 descreve a estrutura geral da metodologia da ACV que compreende as etapas de definição de objetivo e escopo do trabalho, análise do inventário do ciclo de vida, avaliação do impacto e interpretação dos resultados Erro: Origem da referência não encontrado], conforme ilustrado na Figura 1.



**Figura 1** - Fases de uma ACV – NBR ISO 14040 [3]

Em princípio, a ACV abrange todos os estágios do ciclo de vida de um sistema de produção, o que inclui a extração dos recursos naturais, processamento, manufatura, uso/reuso, disposição final. Na prática, o delineamento do contorno do sistema a ser estudado deve ser realizado com cuidado, pois somos limitados pelos recursos financeiros, pelo tempo e pela disponibilidade de informações. Regras devem ser adotadas para determinar os limites do sistema, quais insumos, matérias-primas, energias e materiais auxiliares são relevantes para serem incluídos [Erro: Origem da referência não encontrado].

### **Definição de Objetivo e Escopo**

O objetivo da ACV deve deixar clara a aplicação do trabalho, o porquê da realização e a quem se pretende comunicar os resultados. O escopo deve referir-se à

extensão da ACV (início e fim do trabalho), a abrangência da ACV (quantos e quais subsistemas incluir) e a profundidade da ACV (nível de detalhe do estudo). Pela norma, o escopo do estudo envolve ainda: definição da função, unidade funcional e fluxo de referência; fronteiras do sistema inicial; descrição de categorias de dados; e critérios para inclusão inicial de entradas e saídas.

A unidade funcional define a quantificação das características de desempenho do produto. É uma unidade de medida da função realizada pelo sistema [Erro: Origem da referência não encontrado]. Deve ser claramente definida e mensurável, pois um de seus principais propósitos é fornecer uma referência com relação à qual os dados de entrada e saída são padronizados (num sentido matemático). Uma vez definida a unidade funcional, a quantidade de produto que é necessária para cumprir a função deve ser quantificada. O resultado desta quantificação é o fluxo de referência [Erro: Origem da referência não encontrado]. O fluxo de referência é, então, utilizado para calcular as entradas e saídas do sistema. Comparações entre sistemas devem ser feitas com base na mesma função, quantificada pela mesma unidade funcional na forma de seus fluxos de referência.

Definir as fronteiras do sistema consiste em determinar quais unidades de processo devem ser incluídas na ACV [Erro: Origem da referência não encontrado]. A definição das fronteiras representa a delimitação do contorno de aplicação da ACV, considerado segundo suas mais diversas dimensões.

Os dados para um estudo de ACV podem ser coletados nos locais de produção, dentro das fronteiras do sistema ou podem ser obtidos, ou calculados, a partir da literatura. Os títulos principais, sob os quais os dados podem ser classificados, incluem: entradas de energia, entradas de matéria-prima, entradas auxiliares, outras entradas físicas; produtos; emissões para a atmosfera, para a água e para o solo e outros aspectos

ambientais. Devem ser estabelecidos critérios para inclusão inicial de entradas e saídas, que considerem massa, energia e relevância ambiental. O ideal seria que todos os dados de entrada e saída das unidades de processo envolvidas no sistema de produto fossem coletados. Na prática, isso tornaria inviável a realização do estudo [3].

### **Análise de Inventário**

O inventário determina as emissões que ocorrem durante um ciclo e a quantidade de energia e matérias-primas utilizadas. Consiste basicamente num balanço de massa e energia, em que todos os fluxos de entrada devem corresponder a um fluxo de saída quantificada como produto, resíduo ou emissão [Erro: Origem da referência não encontrado].

A análise do inventário envolve a etapa de coleta dos dados e quantificação das variáveis envolvidas durante o ciclo de vida de um produto, processo ou atividade. As variáveis a serem quantificadas podem incluir o uso de recursos (matérias-primas, energia e transporte) e liberações no ar (emissões atmosféricas) no solo e na água (resíduos sólidos e efluentes). A NBR 14041 [37] apresenta a padronização da análise de inventário. Cabe observar que a norma estabelece um padrão de análise de inventário que tanto se presta para a etapa de inventário de uma análise de ciclo de vida de produtos, estabelecido de acordo com a própria norma, quanto para o que se convencionou chamar de Inventário de Ciclo de Vida de produtos (ICV). Na opinião de diversos autores, o inventário, na prática, é difícil e trabalhoso de ser executado, por uma série de razões que vão desde a ausência de dados conhecidos e a necessidade de estimá-los até a qualidade do dado disponível.

Deve-se salientar que a construção de um ICV se dá segundo um processo

interativo o qual deverá ocorrer necessariamente em consonância com os objetivos e o escopo previamente definidos, ainda que, ao longo do desenvolvimento do estudo, esses últimos tenham que ser revistos [Erro: Origem da referência não encontrado].

A coleta de dados pode envolver o envio de questionários a diversas empresas, ou a diversos setores dentro de uma mesma empresa, envolvidos na análise de ciclo de vida do produto. Para tanto, a clareza na formulação das questões é fundamental, pois a maior parte do público que fornecerá as informações não está familiarizada com a ACV. Ciente deste obstáculo, na etapa de preparação para coleta dos dados, cujo objetivo é assegurar uma interpretação uniforme e consistente do sistema a ser estudado, algumas etapas são sugeridas:

- elaboração de um fluxograma que mostre todas as unidades de processo, incluindo suas inter-relações;
- descrição detalhada de cada unidade de processo e lista das categorias de dados associadas a essas unidades;
- descrição das técnicas utilizadas para coleta e cálculo dos dados para cada categoria;
- fornecimento das instruções para documentar claramente qualquer caso especial, irregularidades ou outros itens associados com os dados fornecidos.

A coleta de dados é a tarefa que mais consome tempo e, talvez, recursos da ACV [Erro: Origem da referência não encontrado]. O autor afirma ainda que existem dados primários, coletados por medições diretas e provenientes das empresas participantes do sistema de produto em estudo, e dados secundários, cujas fontes podem ser divididas em quatro categorias principais: banco de dados eletrônicos, dados da literatura (publicações e relatórios de ACV) e dados internos (laboratórios, órgãos do governo,

entre outros).

Dentre os bancos de dados comerciais referentes à análise de ciclo de vida podem ser citados: BUWAL 250 (1998), Idemat (2001), Franklin (1998) e IVAM LCA Data (2003) [Erro: Origem da referência não encontrado].

Outro banco de dados que deve ser referenciado pela reconhecida confiabilidade é o Ecoinvent, desenvolvido pelo *Swiss Center for Life Cycle Inventory*. O Ecoinvent é um banco de dados simples, harmônico, transparente e de alta qualidade [34]. A base contém mais de 2.500 processos originados e validados na Suíça e na Europa Ocidental.

Salienta-se que diversos autores mencionam que esses bancos de dados têm caráter regional e, normalmente, não se aplicam para outros locais, considerando as peculiaridades dos ciclos de vida dos produtos e serviços de cada país, e que seu uso indiscriminado pode resultar em avaliações deturpadas.

Após a coleta dos dados, são necessários procedimentos de cálculo para gerar os resultados do inventário obtidos para cada unidade de processo com a unidade funcional estabelecida. Ao relacionar os dados ao processo elementar, deve ser determinado um fluxo de referência apropriado (por exemplo, 1 kg de material ou 1 MJ de energia) e todos os dados de entrada e saída devem ser calculados em relação a esse fluxo de referência.

Por se tratar de uma técnica mais elaborada, a ACV requer a utilização de ferramentas que auxiliem a sua condução, tornando as aplicações mais praticáveis [Erro: Origem da referência não encontrado]. Neste contexto, tem-se uma grande variedade de programas computacionais disponíveis no mercado, o que pode acarretar dúvidas, por parte dos usuários em potencial, sobre qual programa computacional adquirir.

Cinco programas computacionais de destaque para ACV disponíveis no mercado, atendo-se principalmente às versões cujos usos são voltados para as indústrias,

são: o SimaPro 7.0, o GaBi4, o Umberto5, o KCL-ECO 4.0 e o TEAM 4.5 [32]. A Tabela 1 apresenta os dados básicos de cada um dos programas computacionais. A conclusão é que, apesar de algumas diferenças existentes (as quais podem ser classificadas como vantagens para alguns e desvantagens para outros), pode-se notar uma grande similaridade entre as funções dos programas computacionais e uma proximidade muito grande em termos de performance e qualidade.

**Tabela 1** - Dados básicos dos programas computacionais para ACV [Erro: Origem da referência não encontrado]

Programa computacionais	Fabricantes	Sites: home-page	Descrição resumida
GaBi 4.0	PE Europe GmbH	<a href="http://www.gabiprograma.com/">http://www.gabiprograma.com/</a>	Ferramenta para gerar balanços de ciclo de vida. Oferece auxílio para administrar grande quantidade de dados e modelar ciclo de vida de produtos.
KCL-ECO 4.0	KCL Finnish Paper Institute	<a href="http://www.kcl.fi/">http://www.kcl.fi/</a>	Programa desenvolvido para descrever problemas, como a ACV, em termos de módulos e fluxos. Realiza cálculos de módulos em geral.
SimaPro 7.0	Pré Consultants	<a href="http://www.pre.nl/simapro/default.htm">http://www.pre.nl/simapro/default.htm</a>	Ferramenta profissional para coletar, analisar e monitorar a performance ambiental de produto e serviços. Possibilita a combinação de dados dos seus processos com dados de outros processos que ocorram no ciclo de vida de seus produtos.
TEAM 4.0	Ecobilan Group	<a href="http://www.ecobalance.com/uk_team.php">http://www.ecobalance.com/uk_team.php</a>	Ferramenta para administração e análise ambiental. Permite ao usuário construir bancos de dados e calcular inventários de ciclo de vida de sistemas complexos.
Umberto 5.0	Ifu Hamburg GmbH	<a href="http://www.umberto.de/en">http://www.umberto.de/en</a>	Programa computacional de gestão ambiental e fluxo de materiais e energia. Os principais objetivos de sua utilização nas empresas são detectar pontos cruciais para otimização dos processos no sistema de produção, reduzir os recursos de materiais e energia e minimizar as quantidades de emissões poluentes e, como consequência, reduzir os custos.

Devem ser considerados os fatores custo/benefício e, principalmente, o motivo

da aquisição do programa computacional, para que a escolha satisfaça às necessidades requeridas, considerando que, dependendo da aplicação pretendida, pode não ser necessária a aquisição do programa computacional mais poderoso em certos aspectos ou o detentor do maior banco de dados.

### **Avaliação de Impacto**

O objetivo da Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) é compreender e avaliar a magnitude e importância dos impactos ambientais baseados na análise do inventário Erro: Origem da referência não encontrado]. A AICV pretende avaliar o sistema de produto sob uma perspectiva ambiental, usando categorias de impacto e os indicadores de categoria associados aos resultados do inventário do ciclo de vida Erro: Origem da referência não encontrado]. As categorias de impacto representam, em termos conceituais, as classes de problemas ambientais relevantes que podem ser provocados, ou eventualmente até agravados, pelos aspectos ambientais do sistema em estudo Erro: Origem da referência não encontrado].

Em termos de estrutura geral, a norma apresenta os elementos obrigatórios, classificação e caracterização, que convertem os resultados do inventário em resultados dos indicadores, e os elementos opcionais para normalização, agrupamento ou ponderação dos resultados dos indicadores e técnicas de análise da qualidade dos dados Erro: Origem da referência não encontrado].

Na etapa de classificação, os resultados do inventário são analisados com base no impacto ambiental que podem causar. Para isso, definem-se categorias de impacto,

que são tabeladas e permitem comparação com os dados obtidos durante o inventário. O objetivo é atribuir, a cada uma das categorias selecionadas e identificadas, os dados correspondentes do inventário. A norma regulamenta essa fase e categorias de impacto têm sido definidas por várias instituições [Erro: Origem da referência não encontrado]. Dependendo da metodologia de avaliação selecionada, poderão ser empregados indicadores intermediários de impacto, conhecidos como “*midpoints*”, ou indicadores finais, conhecidos como “*endpoints*”. Os indicadores de “*midpoints*” restringem-se, em sua grande maioria, aos efeitos primários provocados pela disposição ou consumo de determinado aspecto ambiental no meio ambiente. São exemplos: o aquecimento global ou efeito estufa, toxicidade humana, ecotoxicidade aquática e terrestre, depleção de recursos naturais, diminuição da camada de ozônio, acidificação e eutrofização, entre outros. Os indicadores do tipo “*endpoints*” concentram-se, por sua vez, na avaliação dos efeitos terminais provocados por determinado aspecto ambiental. São exemplos: as doenças respiratórias, câncer de pele e as doenças infecciosas [Erro: Origem da referência não encontrado].

Na seqüência, são apresentadas as definições de algumas categorias de impacto:

*Aquecimento Global*: está relacionado à emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera, resultando em aumento na temperatura média global. Pode resultar em efeitos adversos significativos sobre o ecossistema, a saúde e o bem-estar humano. Os resultados normalmente são expressos em escala de kg CO<sub>2</sub>/kg emissão [Erro: Origem da referência não encontrado].

*Depleção da Camada de Ozônio*: determinadas substâncias interferem nas reações normais do ciclo do oxigênio na camada de ozônio, resultando em um aumento dos níveis de radiação ultravioleta (UV) sobre a superfície do planeta. A radiação altera a estrutura celular de organismos vivos podendo causar diversos malefícios. Os

resultados normalmente são expressos em escala de kg de clorofluorcarbono (CFC -11) equivalente/kg emissão Erro: Origem da referência não encontrado].

*Acidificação*: a alteração de pH causada por substâncias ácidas ou das que podem ser convertidas em substâncias ácidas resulta em prejuízos sobre o solo, águas superficiais e subterrâneas. Os resultados normalmente são expressos em escala de kg SO<sub>2</sub> equivalente/kg emissão Erro: Origem da referência não encontrado].

*Ecotoxicidade aquática*: relativa ao impacto sobre os ecossistemas de águas doces, como resultado da emissão de substâncias tóxicas no meio ambiente, em comparação ao efeito da emissão do 1-4-diclorobenzeno na água Erro: Origem da referência não encontrado].

*Eutrofização*: efeito adverso causado pela presença excessiva de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, e pela presença de substâncias orgânicas que podem promover um decréscimo no nível de oxigênio dissolvido. Medida da potencial contribuição de um componente químico para gerar biomassa, em comparação ao fosfato (PO<sub>4</sub>) Erro: Origem da referência não encontrado].

*Toxicidade Humana*: refere-se aos efeitos causados por substâncias tóxicas sobre a saúde humana medidos na antroposfera, fato que exclui os efeitos tóxicos gerados em decorrência de exposições no ambiente de trabalho. Os resultados normalmente são medidos como a massa do corpo humano que estaria exposta ao limite toxicologicamente aceitável em comparação ao efeito da emissão do 1-4-diclorobenzeno na atmosfera Erro: Origem da referência não encontrado].

*Smog de verão e smog de inverno*: traduz-se para o português como fumaça e neblina. O *smog* é uma mistura química de gases. Óxidos de nitrogênio, compostos orgânicos voláteis, dióxido de enxofre, aerossóis ácidos e gases, bem como material particulado. A reação destes compostos com a luz solar produz o chamado *smog*

fotoquímico, cuja característica principal é a presença do ozônio no nível da terra, um composto que pode causar numerosos problemas de saúde. Para o *smog* de verão os resultados são expressos em kg de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> (gás etileno) e para o *smog* de inverno em kg SPM (material particulado suspenso) Erro: Origem da referência não encontrado].

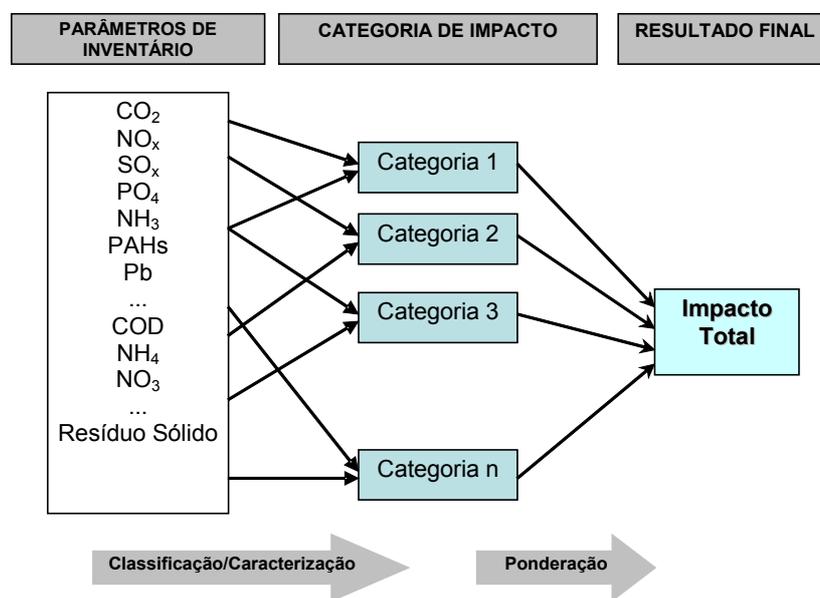
A NBR 14042 [36] destaca ainda o fato de determinados aspectos ambientais contribuírem para mais de uma categoria simultaneamente.

Na etapa de caracterização, as contribuições para cada problema ambiental são quantificadas. Cada impacto ambiental é convertido em um *indicador de categoria* e representado algebricamente Erro: Origem da referência não encontrado]. Para facilitar o entendimento, tomemos como exemplo o caso do aquecimento global. Deve-se converter a contribuição de todos os gases que causam o aquecimento do planeta tomando-se o CO<sub>2</sub> como substância de referência. Para o gás metano, o valor de referência é 21, significando que 1 kg de metano tem o mesmo efeito no aquecimento global do que 21 kg de CO<sub>2</sub> Erro: Origem da referência não encontrado].

Muitas vezes, os resultados expressos nessa etapa são de difícil interpretação, já que os impactos que os constituem estão calculados em unidades diferentes. A normalização tem como objetivo principal relacionar esses resultados com uma informação de referência. A normalização é realizada dividindo-se os valores dos indicadores de impacto por uma base comum. Como exemplo, pode-se relacionar a poluição causada por uma determinada substância à poluição total em um ano, ou seja, se um processo emite 1 tonelada de poluição, e a emissão global de todas as fontes para o mesmo item de poluição é um milhão de toneladas em um ano, o impacto ambiental do processo sobre esse problema é equivalente a um milionésimo de um ano ( $1 \times 10^{-6}$  anos, ou 31,54 segundos) Erro: Origem da referência não encontrado].

Os resultados obtidos podem ser agrupados, reordenando as categorias de

impacto, segundo uma dada hierarquia, por exemplo, alta, média ou baixa prioridade. Surge a etapa de ponderação. A ponderação ou valoração é realizada, na grande maioria dos casos, por equipes multidisciplinares e consiste da atribuição de pesos às categorias de impacto que formam o perfil ambiental do produto, segundo seu grau de importância [Erro: Origem da referência não encontrado]. A Figura 2 representa e sintetiza as etapas acima descritas.



**Figura 2** – Análise de Impacto de Ciclo de Vida [Erro: Origem da referência não encontrado]

Para a etapa de AIVC, estão disponibilizados diferentes métodos de avaliação, tais como, o Eco-indicador 99 (EI'99), o Eco-indicador 95 (EI'95), o *Environmental Design of Industrial Products 97* (EDIP'97), o *Centre of Environmental Science 2000* (CML 2000) e o *Environmental Priority System 2000* (EPS 2000) [31]. Cada método considera diferentes categorias de impacto, bem como diferentes parâmetros para normalização e ponderação.

De forma breve, as principais características de cada método podem ser assim descritas:

No método EI'99, a normalização é executada em nível das categorias dos

danos, segundo terminologia das normas ISO. As categorias de danos são subdivididas em três:

- Saúde humana – unidade: DALY (*Disability Adjusted Life Years*) – contempla o tempo durante o qual um cidadão sofre de uma alteração de saúde com uma determinada gravidade. É calculada com base na sua contribuição para doenças respiratórias ou câncer, por exemplo, e alterações climáticas, diminuição da camada de ozônio, entre outros;
- Qualidade do ecossistema – unidade: PDF.m<sup>2</sup>.ano (*Potentially Disappears Fraction of Plant Species*) – corresponde à percentagem de espécies que desapareceram de uma determinada área durante determinado tempo;
- Recursos – unidade: MJ – corresponde à energia adicional que será necessária gastar para extrair este recurso, quando a humanidade tiver extraído N vezes superiores ao total extraído em 1990.

As categorias de danos são normalizadas em um nível europeu, ou seja, os danos causados por um cidadão europeu por ano. O ano de 1993 é tomado como base na maior parte das vezes, com algumas atualizações das emissões mais importantes [31].

O CML 2000 utiliza indicadores do tipo *midpoints*. As categorias de caracterização estão apresentadas na Tabela 2. O fator de normalização considera três situações: a população mundial (1990), a Holanda (1997) e a população ocidental europeia (1995). Ponderação não está incluída na metodologia.

Para o EI'95, a caracterização procede através do método de CML-92; no entanto, a contabilização da toxicidade é especificada em termos de metais pesados, em substâncias cancerígenas, em pesticidas e em *smog* de inverno. A normalização dos

resultados é baseada nos níveis europeus do ano de 1990.

O EDIP'97 inclui as etapas de caracterização, normalização e ponderação. As categorias de caracterização estão apresentadas na Tabela 2. A normalização está baseada no equivalente por pessoa no ano de 1990, enquanto a ponderação está baseada na aproximação da meta base que considera como referência as emissões de 1990.

O EPS 2000 avalia os impactos ambientais de acordo com as seguintes categorias: saúde humana, capacidade de produção do ecossistema, disponibilidade de recursos, valores de biodiversidade, cultura e recreação. O procedimento de normalização não está incluído na metodologia.

Na Tabela 2 são apresentados os diferentes métodos usados para AICV onde também é possível identificar as categorias que cada método considera.

**Tabela 2** - Categorias de impacto incluindo cada método de AICV Erro: Origem da referência

não encontrado]

CATEGORIA DE IMPACTO	EDIP'97	CML 2000	EI'95	EI'99	EPS'2000
Depleção Abiótica		kg Sb eq			
Aquecimento Global	g CO <sub>2</sub> eq	kg CO <sub>2</sub> eq	kg CO <sub>2</sub>	DALY *	
Depleção da camada de Ozônio	g CFC11 eq	kg CFC- 11 eq	kg CFC11	DALY	
Toxicidade humana	m <sup>3</sup> /g	kg 1,4-DB eq			
Ecotoxicidade	m <sup>3</sup> /g	kg 1,4-DB eq		PAF* m <sup>2</sup> yr	
Acidificação	g SO <sub>2</sub>	kg SO <sub>2</sub> eq	kg SO <sub>2</sub>	PAF* m <sup>2</sup> yr	
Eutrofização	g NO <sub>3</sub>		kg PO <sub>4</sub>	PAF* m <sup>2</sup> yr	
Metais Pesados		kg PO <sub>4</sub> eq	kg Pb		
Carcinogênicos			kg B(a)P	DALY	
<i>Smog</i> Inverno			kg SPM		
<i>Smog</i> Verão		kg C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	g C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	
Pesticidas			kg act.substances		
Recursos energéticos			MJ LHV	MJ surplus	
Recursos	kg				
Resíduo sólido	kg		kg		
Orgânicos/Inorgânicos				DALY	
respiratórios				DALY	
Radiação				PAF* m <sup>2</sup> yr	
Uso do solo					Person yr
Expectativa de vida					
Capacidade de crescimento					kg
e corte da madeira					kg
Produção de peixe e carne					H <sup>+</sup> eq
Acidificação do solo					kg
Prod.cap.irrigação água potável					

\* DALY, Disability Adjusted Life Years; PDF, Potentially Disappeared Fraction; PAF, Potentially Affected Fraction.

## **Interpretação do ciclo de vida**

A interpretação dos resultados consiste em combinar os dados obtidos nas etapas de análise do inventário e de avaliação do impacto, de forma consistente, com objetivo e escopo definido, visando alcançar conclusões e recomendações.

Os objetivos da interpretação do ciclo de vida são os seguintes: analisar os resultados, chegar a conclusões, explicar limitações, oferecer recomendações baseadas nas constatações das fases precedentes da ACV ou ICV e reportar seus resultados de forma transparente [Erro: Origem da referência não encontrado].

Na interpretação dos resultados, pode haver necessidade de uma recomendação clara sobre o uso potencial de outras técnicas de avaliação ambiental, tais como: avaliação de riscos e avaliação de impacto ambiental (não confundir com a fase da análise do ciclo de vida que tem o mesmo nome). Essas outras ferramentas podem ser utilizadas para complementar conclusões preliminares tiradas na ACV [Erro: Origem da referência não encontrado].

A NBR 14043 [38] descreve os elementos que fazem parte da fase de interpretação do ciclo de vida de um estudo de ACV, sendo eles: identificação das questões significativas com base nos resultados das fases de ICV e AICV da ACV; avaliação do estudo, incluindo verificações de “completeza” (verificar se os dados e informações relevantes encontram-se disponíveis e completos), sensibilidade (determinar o grau de confiabilidade dos resultados e das conclusões) e consistência (avaliar a consistência das hipóteses, dos métodos e das informações empregadas na realização do estudo com relação às premissas iniciais); conclusões, recomendações e relatório.

Consta ainda, no método da ACV, a etapa de análise crítica com o intuito de

verificar se o estudo satisfaz os requisitos das normas de desenvolvimento da metodologia. Deve ser definido, no escopo do trabalho, se e como será conduzida a análise crítica, assim como quem a conduzirá.

### **2.3.3 ACV no contexto do trabalho**

Em outubro de 2005, foi realizado, em São Paulo, o Seminário Internacional “Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para a Competitividade da Indústria Brasileira”. Na oportunidade foi apresentada a proposta preliminar do projeto visando à construção de um inventário brasileiro (ICV) [Erro: Origem da referência não encontrado]. Dentre os objetivos, a proposta contemplava a construção de um Inventário do Ciclo de Vida (ICV) de setores do parque industrial brasileiro; construção dos bancos em conformidade com os padrões internacionais estabelecidos; estímulo ao uso e difusão de informações sobre o ciclo de vida dos produtos; capacitação em ICV de equipes de trabalho dos setores produtivos brasileiros para desenvolvimento e manutenção do inventário. Na oportunidade, foi ressaltado pelo autor que as ações para este desenvolvimento já estavam sendo tomadas através do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), no âmbito do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), desde 2002, e que a partir de 2004 estavam sendo intensificadas. No referido seminário, foi apresentado também um panorama da ACV no Brasil e no mundo, sendo enfatizado que a ferramenta é potente, mas que existe a necessidade de capacitação para compreendê-la e para utilizá-la [Erro: Origem da referência não encontrado].

Em outubro de 2006, o governo brasileiro lançou o primeiro projeto de Inventário de Ciclo de Vida (ICV) Brasileiro, contando com membros da Plataforma

Européia Internacional e LBP-GaBi (Universidade de Stuttgart – Alemanha) como suporte no desenvolvimento do conjunto de dados do inventário [56].

Na Conferência Internacional Ciclo de Vida (CILCA) 2007, foi apresentado um levantamento da evolução dos trabalhos de ACV nas instituições acadêmicas brasileiras. Como resultado, tem-se que, até junho de 2006, havia 47 dissertações de mestrado e 17 teses de doutorado registradas nos bancos de dados acadêmicos brasileiros [Erro: Origem da referência não encontrado]. O período mais produtivo foi o biênio 2003 (12 dissertações e 5 teses) a 2004 (13 dissertações e 5 teses). A suposição apresentada no artigo é a de que este aumento está relacionado à divulgação da primeira norma ABNT/ISO 14040 no Brasil, em 2001, o que facilitou o acesso à informação sobre ACV. Já em 2005 e 2006 houve uma queda na produção, causada talvez por falta de incentivos financeiros, ou seja, por falta de verbas por parte dos órgãos de fomento à pesquisa, além do baixo número de grupos de coordenação dentro das universidades.

Três grandes referências acadêmicas a serem citadas nos estudos de ACV são: a Universidade de Santa Catarina, a Universidade de Campinas e a Universidade de São Paulo.

A construção de bancos de dados genuinamente brasileiros faria da ACV um instrumento bastante efetivo para a introdução definitiva da variável ambiental no processo gerencial de tomada de decisão da indústria nacional [Erro: Origem da referência não encontrado]. Também pode auxiliar a minimizar a dificuldade de obtenção de dados em virtude de empresas que alegam problemas de confiabilidade, ou seja, frente à publicação dos dados necessários para a realização de ACV's, já que os bancos de dados internacionais os vêm disponibilizando agregadamente, ou seja, estes são referentes a um certo número de empresas, fazendo com que as informações possam ser publicadas sem que haja exposição das indústrias.

O Centro de Tecnologia de Embalagem (CETEA), em parceria com um consórcio de Associações e Empresas FAPESP, desenvolveu entre 1997-1999 o Projeto Análise de Embalagens para o Mercado Brasileiro. O objetivo era desenvolver estudos de ACV para 13 sistemas, considerando a realidade tecnológica e os recursos disponíveis no país. As questões ambientais são fundamentais para o setor de embalagens no desenvolvimento e preservação da qualidade do produto acondicionado e também pela participação da embalagem no resíduo sólido urbano.

Algumas indústrias estão demonstrando compromisso ambiental na inovação e na criação de novos produtos. Como exemplo, na empresa *Unilever*, para aprovar o lançamento de produto de higiene e beleza, a divisão de inovação deve responder a um detalhado questionário que verifica todos os possíveis impactos do produto no meio ambiente, dentro e fora da fábrica, a fim de avaliar o grau de inovação ambiental do projeto. A divisão de alimentos reduziu o peso unitário das embalagens de maionese representando economia de 1.029,0 toneladas de vidro e 25.738,0 litros de água [57].

Com relação às análises comparativas entre materiais, utilizando a ferramenta ACV, Petersen e Solberg [42] fizeram um *overview* das análises comparativas dos impactos ambientais, especialmente nas emissões de gases do efeito estufa (GEE), e econômicos, entre a substituição da madeira por diferentes materiais alternativos, especialmente o aço e o concreto, nos países Noruega e Suécia [Erro: Origem da referência não encontrado]. O estudo usa a metodologia de ACV descrita em, por exemplo, Consoli [29]. Os estudos mostram que a madeira é a melhor alternativa em relação à emissão de gases do efeito estufa (GEE). Além disso, a madeira causa menores emissões de SO<sub>2</sub> e geralmente produz menos resíduos que os demais materiais comparados. Por outro lado, o tratamento para preservação da madeira pode ter impactos mais significativos na saúde humana e no ecossistema. A madeira também se

mostrou um competitivo material nas construções para os estudos que consideram análises de custos.

O artigo *The influence of impact assessment methods on materials selection for eco-design* [Erro: Origem da referência não encontrado] apresenta um estudo de caso para inventário de ciclo de vida de três (3) diferentes polímeros (policloreto de vinila-PVC, polietileno-PE e polipropileno-PP,) usando como base de dados BUWAL 250, tomando como referência, 1 kg de cada um dos elementos e aplicando os métodos de AICV acima citados. Os resultados obtidos diferem conforme o método aplicado, sendo que, para o EI'95 e o EDIP, o PVC possui impacto superior ao PP e ao PE. Já nos métodos EI'99 e EPS, o PE possui impacto superior ao PP e o PP superior ao PVC. A conclusão do trabalho é de que é muito importante avaliarmos as categorias e parâmetros que estão sendo considerados em cada método para podermos emitir um parecer consistente sobre o resultado do AICV. Com esse propósito, o AICV pode ser usado como determinante na escolha e seleção de materiais.

No artigo *Ecological Toxicity Methods and Metals* [Erro: Origem da referência não encontrado], a análise de ciclo de vida é associada à análise de risco para discutir a utilização da AICV na avaliação de ecotoxicidade dos metais. O trabalho foi aplicado para produção de dois materiais: tubos de cobre e calhas de zinco onde foram selecionados cinco métodos para avaliação: USES-LCA, EI'99, Impact 2000, EDIP 97 e CalTOX-ETP. Todos consideraram o processo desde a extração até o portão da fábrica. O resultado obtido foi que todos os métodos consideraram a substância de maior impacto o próprio cobre. Entretanto, variações foram encontradas quando examinados os resultados na produção de calhas de zinco. Dificuldades no procedimento, nomenclatura e inconsistências foram observadas, inclusive nas fontes de emissões para ar e água. A conclusão é de que precisamos ter cuidado quando

aplicamos a metodologia de AICV para avaliação de ecotoxicidade dos metais. Não é recomendável que nossa interpretação e comunicação dos resultados esteja baseada somente nos resultados da referida metodologia.

Uma abordagem apresentada de forma diferente para a análise de ciclo de vida é encontrada no artigo *Environmental Profile of Brazilian Green Coffee* [Erro: Origem da referência não encontrado]. Foram realizados levantamentos para as colheitas dos anos de 2001/02 e 2002/03 para gerar dados de inventário identificando os potenciais impactos ambientais da preparação do solo. A produção de fertilizantes, corretivos e pesticidas não foi incluída no limite do sistema, mas foram quantificadas. A metodologia foi aplicada de acordo com a NBR 14040 e o levantamento foi realizado a partir de questionários aplicados diretamente nas fazendas de produção ou via e-mail. Os resultados foram apresentados em massa (kg) de entradas e saídas do sistema, ou seja, foi realizado um balanço de massa descrevendo e quantificando as matérias-primas e a energia consumidas no sistema, bem como os resíduos gerados.

Para a etapa de geração de resíduos, um gerenciamento sustentável de resíduos sólidos deve ser ambientalmente efetivo para minimização dos impactos ambientais. Também deve ser economicamente sustentável, apresentando custo aceitável por todos os setores da comunidade atendida. Um sistema sustentável de gerenciamento de resíduos que utiliza a ferramenta de ICV otimiza o gerenciamento integrado de resíduos sólidos [Erro: Origem da referência não encontrado]. O autor apresenta ainda alguns modelos computacionais de ciclo de vida para gerenciamento de resíduos sólidos, sendo eles: WISARD (Agência Ambiental do Reino Unido); Decision Support Tool (EPAUS – Agência Ambiental Estadunidense); CSR/EPIC Tool (Associação Industrial do Canadá); IWM-2 (Procter & Gamble - Reino Unido).

Ainda, segundo o autor, utilizar o ICV é mais recomendado do que outros

métodos empíricos, pois são necessários mais dados e informações de melhor qualidade, propiciando maior credibilidade ao resultado, auxiliando na tomada de decisões. O autor também chama a atenção para que diferentes modelos sejam testados para se adequarem às necessidades locais.

O procedimento para coleta de dados pode variar em função dos objetivos da ACV, mas é fundamental que seja feito o registro de todas as informações, fontes e hipóteses admitidas. É necessário que se tenha presente, nessa etapa, que a credibilidade do resultado dependerá, em grande parte, da qualidade dos dados.

Para a coleta de todos os dados necessários para a realização da ACV nesse trabalho, buscaram-se, primeiramente, os inventários disponíveis nos bancos brasileiros. O objetivo foi obter dados os mais próximos possíveis da nossa realidade, reduzindo as hipóteses e suposições necessárias quando se utilizam dados de bancos estrangeiros, onde muitas são as variáveis que devem ser consideradas. Vale salientar que houve dificuldade nesse sentido, pois a base de dados brasileira ainda é bastante limitada o que exigiu a utilização, em algumas situações, de dados internacionais para alguns materiais e insumos. O primeiro passo foi realizar um levantamento sobre os dados existentes no país, os quais serão apresentados a seguir.

### **Levantamento de dados brasileiros para ACV**

Borges Erro: Origem da referência não encontrado] apresentou um inventário para o PVC produzido no Brasil. De acordo com o autor, apesar de alguns dados terem sido estimados e terem sido usadas bases de dados estrangeiras, de maneira geral, o estudo se aproxima ao sistema real de produção do PVC no Brasil, o que diminui a margem de erro frente à utilização de inventários estrangeiros do produto para estudos

nacionais, já que estes se baseiam em realidades distintas. A busca de resultados para este estudo baseou-se principalmente nas etapas do sistema de produto nacional que se diferenciam das demais, como, atividades de transporte, matérias-primas utilizadas, tecnologias utilizadas, tipo de energia elétrica, entre outras. Esses pontos caracterizaram o inventário como nacional, já que este é o melhor disponível até o presente momento. Para a elaboração do inventário, o sistema trata de um estudo do tipo “berço ao portão da fábrica”, originário da expressão “*cradle-to-gate*” que inclui a extração dos recursos naturais e de todas as transformações industriais necessárias para a geração do produto, ou seja, o trabalho incluiu desde a extração do petróleo e do sal até a produção da resina de PVC.

Dentro da amplitude e complexidade dada a esse levantamento de consolidação do inventário, buscaram-se outras referências para os subsistemas de extração do petróleo e do sal, com o intuito de avaliar se, no decorrer dos anos, novos trabalhos de inventário foram elaborados, sempre dentro do objetivo maior que é o de consolidar dados os mais próximos possíveis da realidade brasileira.

Para o subsistema petróleo, foram encontrados dados de Kulay Erro: Origem da referência não encontrado] e de Borges Erro: Origem da referência não encontrado], sendo que o primeiro autor considerou apenas as operações de extração do petróleo realizadas no mar, enquanto que o segundo considerou a extração do petróleo em terra, em alto mar, a produção nacional e a importação do petróleo, com base nos respectivos percentuais de cada situação.

Para o sal-gema e o sal marinho, também foram adotados os dados apresentados por Borges Erro: Origem da referência não encontrado], por não haver disponibilidade de outras fontes no país e por considerar pertinentes as considerações feitas pelo autor.

Em relação à madeira, informações foram obtidas na dissertação de Brugnara

Erro: Origem da referência não encontrado], intitulada “Florestas, Madeira e Habitações: análise energética e ambiental da produção e uso de madeira como uma contribuição ao desafio da valorização da Floresta Amazônica”. No levantamento bibliográfico realizado, esta dissertação possui os dados que mais se aproximam da necessidade deste estudo, apesar de ter sido assumida a idéia de que a ACV para o *pínus* assemelha-se a do eucalipto. Como premissa, adotou-se, como parâmetro significativo, o fato da madeira ser de reflorestamento, desconsiderando-se o tipo de madeira. O mercado madeireiro da cidade de Campinas foi considerado como padrão de consumo para o ponto final da cadeia produtiva de madeira, levando em conta todas as etapas intermediárias, a partir de dois distintos pontos iniciais como fonte: uma floresta nativa já formada (no caso, a Floresta Amazônica) e uma plantação florestal (hipoteticamente implantada no estado de São Paulo). Foram consideradas somente as demandas energéticas das diferentes formas de energia comercial consumidas ao longo do processo na utilização de máquinas, não incluindo a energia da natureza para a formação da floresta e nem a energia humana necessária à execução de diversos trabalhos. Para o painel produzido com madeira de lei, foram considerados os dados apresentados no chamado “Modelo Convencional”, que caracteriza a madeira proveniente da floresta nativa explorada sem manejo, representando o padrão de produção no Brasil quando publicada a referida dissertação. O consumo de energia considerou as etapas de: extração, com as operações de derrubada, abertura de estradas e pátios de estocagem, e arraste até o pátio; transporte serraria, considerando embarque das toras no caminhão, transporte, e descarregamento na serraria; processamento nas serrarias, com desdobro das toras; e, transporte final, considerando viagem de vinda e de retorno.

Para o painel de *pínus*, os dados considerados foram os apresentados para

madeiras provenientes de plantios florestais no “Modelo Plantação de Eucalipto”. Cabe salientar que, como comentado anteriormente, para este trabalho, foi assumido que a energia consumida nesse processo independe da madeira que está sendo reflorestada, ou seja, que a energia total assumida no modelo de plantação eucalipto é a mesma que se estivesse sendo considerado um modelo de plantação de *pinus*. O consumo de energia considerou as etapas de: implantação da floresta, considerando operações de construção e conservação de estradas e aceiros, retirada da vegetação, aração, enleiramento, descoivara, adubação, plantio, replantio, irrigação e transporte; manutenção e conservação ao longo dos anos de plantio; colheita com operações de corte, empilhamento e transporte primário; transporte na serraria, carregamento, transporte e descarregamento; processamento nas serrarias, considerando desdobro das toras mais tratamento; e, transporte final, considerando viagem de vinda e de retorno.

Já para o aço considerou-se dados e informações apresentados por Ugaya Erro: [Origem da referência não encontrado] e Coelho et al [34]. O primeiro autor apresenta um estudo de caso referente a materiais e componentes automotivos no Brasil. O segundo trabalho explicita dados relativos aos principais processos de produção de aço no Brasil, redução e oxidação, fazendo um comparativo entre os dados de inventário obtidos em um levantamento realizado no ano de 1998 com os obtidos em um levantamento realizado em 2004, considerando que houve alterações nas tecnologias usadas nos processos. Os dados de consumo de matéria-prima, água e de energia, bem como os de emissão de poluentes são apresentados para cada tonelada de aço bruto produzido no Brasil. O banco de dados *Ecoinvent* foi usado para estabelecer o inventário. O levantamento dos dados de emissão de poluentes foi realizado nas empresas CSN e USIMINAS, produtoras de aço.

Para aproximar os resultados desse inventário o máximo possível da realidade

brasileira, os subsistemas eletricidade, óleo diesel e óleo combustível, envolvidos na produção do aço, foram pesquisados em outras fontes bibliográficas, permitindo avaliação e posterior escolha por aqueles considerados como mais coerentes para a realidade deste trabalho, levando em conta as considerações e aproximações feitas pelos diferentes autores.

Os dados de inventário para energia elétrica foram obtidos a partir de um modelo nacional adotado e apresentado no artigo *Life Cycle Inventory for Electric Energy System in Brazil*, publicado em 2003 [Erro: Origem da referência não encontrado]. O levantamento dos dados para elaboração do inventário foi realizado no ano de 2000, e, segundo os próprios autores, os mesmos são plenamente aplicáveis, pois não houve alteração significativa na matriz energética brasileira. No Brasil, 99,9 % de toda energia elétrica produzida é proveniente de fontes hidrelétricas, termelétricas e estações nucleares, sendo que 89 % é de fonte hidrelétrica. A unidade funcional escolhida foi de 1.000 MJ de energia distribuída aos consumidores. Esse foi o primeiro modelo proposto para expressar a geração e distribuição da energia elétrica no Brasil em termos de ACV. Nesse modelo, também foi apresentado um método que considera a emissão de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> das plantas submersas na área inundada pela estação hidrelétrica.

Para o óleo diesel e para o óleo combustível, foram encontradas diferentes formas de apresentação do inventário. Brugnara [Erro: Origem da referência não encontrado] apresenta os resultados de forma sucinta, na forma de emissões de CO<sub>2</sub> originadas na queima do combustível. Para Kulay [Erro: Origem da referência não encontrado], conforme já foi apresentado, a etapa de extração do petróleo considera a extração do mar, que é, sem dúvida, a maior representatividade percentual do petróleo nacional. Porém, foram usados os dados descritos por Borges [Erro: Origem da referência não encontrado] por serem mais completos, conforme justificado para a

extração do petróleo. No trabalho foi admitido que o processo de refino é razoavelmente padronizado entre as refinarias, sendo usados, então, dados de um banco australiano. O autor cita que a empresa Petrobrás, detentora no Brasil da tecnologia de refino, afirma que as tecnologias utilizadas em nosso país não se distanciam das utilizadas internacionalmente, mesmo no que se refere ao controle e prevenção da poluição, pois a mesma declara que todos os recursos de engenharia estão sendo adotados para diminuir os impactos do processo de refino sobre o meio ambiente.

O inventário relativo ao gás natural foi aquele apresentado por Kulay Erro: Origem da referência não encontrado]. Usando como critérios a composição média aproximada do gás natural brasileiro e as tecnologias empregadas para esse processamento, foi selecionada, pelo autor, uma base de dados no SimaPro 5.0 Erro: Origem da referência não encontrado] capaz de representar as etapas de extração, refino e distribuição contidas na ACV desse produto. No que se refere à exploração do gás, foram consideradas apenas extrações realizadas no mar, levando em conta aspectos relacionados à construção das plataformas e das tubulações usadas para transferência do produto para a terra. É também parte integrante do processo a geração de rejeitos ocorrida durante a perfuração dos poços de exploração e consumo de recursos naturais. Quanto à produção de gás, para efeito da elaboração do modelo, mais uma vez foram consideradas as operações ocorridas no mar, com o respectivo consumo energético imputado a tal operação. Na etapa de purificação, foram contempladas as fases de eliminação de água e de óleo, as remoções de hidrocarbonetos de elevado peso molecular e de compostos reduzidos de enxofre. A modelagem de transporte levou em conta os módulos de construção de tubulações e linhas de distribuição, bem como o transporte rodoviário realizado por caminhões. Para a distribuição, foram considerados os processos de produção de aço, ferro fundido e polietileno, usados nas construções das

linhas. Foram também contempladas as produções de concreto usado para encapsulamento das tubulações. Por fim, são também considerados o consumo de energia e as perdas de gás por vazamento.

Para os insumos tinta e adesivo, usados na manufatura dos painéis, na pesquisa bibliográfica realizada, não foram encontrados dados brasileiros de inventário. Como alternativa, selecionou-se junto ao SimaPro 7.0 [Erro: Origem da referência não encontrado] uma base de dados capaz de representar de maneira consistente os aspectos ambientais relacionados às operações de produção e utilização desses elementos, levando em conta as características dos insumos utilizados na empresa. Para a tinta, escolheu-se um sistema de tinta alquídica, base solvente denominada no banco de dados por *Paint ETH S* que contempla as agressões totais do sistema de inventário. Os dados fazem parte do banco *ETH-SEU 96 System Processes* e se aplicam para a Suíça e para o oeste da Europa, levando em conta produção e importação de combustíveis fósseis para produção de energia, produção e comercialização de energia elétrica, emissões primárias do processo de extração de energia, refinamento e distribuição da energia, extração dos recursos minerais, produção da matéria-prima, produção de semi-manufaturados, materiais auxiliares, transporte e serviços de tratamento de resíduos, construção da infra-estrutura e a conversão e transmissão de energia. Essa base foi escolhida em função das similaridades nas características da tinta usada na empresa fabricante dos painéis (tinta alquídica, base solvente).

Já para o adesivo, de base poliuretânica curado a quente, foi selecionada uma base designada de *PUR flex. moulded hot cure A*, cuja base de dados corresponde à produção de 1 kg de espuma poliuretânica flexível, moldada a quente, excluindo o processo de cura. Os dados de inventário fazem parte do banco *Industry Data*, elaborado por uma associação de indústrias, e, da mesma forma que a tinta, essa base foi

selecionada pelas similaridades com o produto usado na empresa, um adesivo poliuretânico de cura a quente, isento de solvente.

No anexo 1 são apresentados os dados dos bancos considerados e que foram apresentados neste subcapítulo.

Na etapa de uso do produto, buscou-se dados para o consumo de combustível (óleo diesel) e o consumo de pneus no transporte de grãos durante a vida útil do produto, principal função do mesmo.

A Associação Brasileira de Transportadores Internacionais (ABTI), em conjunto com a Associação Nacional de Transporte de Cargas [7], realizou levantamento de dados técnicos, com o intuito de determinar o custo do quilômetro rodado para transporte internacional de cargas. Nesse trabalho, publicado em 2003, são apresentados dados para o conjunto caminhão e semi-reboque cinco eixos (bitrem), sendo que o caminhão considerado é um Cavalot Trator Scania - R124GA – 4x2 - 360 CV, quanto ao consumo de combustível, quilometragem rodada por ano, e consumo de pneus. O consumo de combustível está associado a 2,2 km/l, quilometragem igual a 100000 km/ano, e vida útil dos pneus de 160000 km, considerando uma recapagem.

Um estudo comparativo envolvendo três métodos de cálculo de custo operacional do caminhão bitrem, utilizando um estudo de caso, apresentou dados para os mesmos itens, sendo o cálculo realizado para um caminhão NH 12 Volvo, cavalo mecânico com potência de 340 CV e de dois semi-reboques, cujo conjunto se denomina bitrem. Os métodos utilizados são: *Food and Agriculture Organization* (FAO), *Economic Commission for Europe/KWF* (FAO/ECE) e o método Battistella/Scania. Freitas et al. [Erro: Origem da referência não encontrado] afirmam que o consumo de combustível desse veículo é de 2,0 km/l e que o veículo roda uma quilometragem igual a 10000 km/mês, o que corresponde a 120000 km/ano. São consideradas 6 horas

efetivas de trabalho diário, já desconsiderados os tempos de carga e descarga, paradas para refeições, repouso, manutenção, abastecimento, entre outros, em velocidade média de 55,55 km/h. Para a vida útil dos pneus, são consideradas 10000 horas de viagem, e a vida útil do semi-reboque, utilizada como base de cálculo em todos os métodos analisados no estudo, foi definida como sendo de 10 (dez) anos.

Para a vida útil dos pneus, percebe-se uma disparidade significativa entre os autores acima citados, pois as 10000 horas de viagem, citadas por Freitas et al. [52] correspondem a 555500 km rodados, enquanto que, para a Associação Nacional de Transporte de Cargas [7], são considerados 160000 km, com uma recapagem. Dessa forma, buscou-se outra fonte de dados junto ao principal fornecedor dos pneus usados nos semi-reboques em estudo. Segundo o Serviço de Atendimento ao Cliente (SAC) Michelin, em 03 de abril de 2007, diversos são os fatores que interferem na vida útil, dentre eles, manutenção, calibragem, sistema de rodízio entre os pneus, peso transportado e as próprias características do pneu. Como média para os pneus tipo XZE2 Pilote 295 ou 275, é adotado o número de 250000 km, considerando uma recapagem.

Outro número importante para ser apresentado na etapa de uso do produto diz respeito à perda de grãos associada ao transporte rodoviário das safras, visto que uma alteração no processo de vedação do bitrem produzido com os painéis multilaminares foi proposta visando à redução de aproximadamente 10 % dessa perda.

Um estudo inédito do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) [Erro: Origem da referência não encontrado], analisou e quantificou as perdas dos principais grãos da agricultura brasileira e divulgou que as mesmas chegam a cerca de 10 % da colheita, sendo um dos principais fatores associados à perda, a utilização do transporte rodoviário, pois, aproximadamente 67 % da safra são escoados dessa forma.

Na etapa de descarte, para os painéis de madeira, buscaram-se referências gerais sobre a destinação que comumente é dada para os resíduos de madeira. Para tanto, um trabalho de diagnóstico de geração de resíduos, conduzido pela Universidade de Caxias do Sul, no segmento moveleiro da região, apresentado no volume “Pólo Moveleiro da Serra Gaúcha: geração de resíduos e perspectivas para sistemas de gerenciamento ambiental” Erro: Origem da referência não encontrado] serviu de base para a coleta dos dados. As empresas visitadas para o diagnóstico envolveram quatro municípios na pesquisa, sendo eles: Bento Gonçalves, Caxias do Sul, Flores da Cunha e Lagoa Vermelha. Como resultados, são apresentados os dados de geração e destinação dos resíduos da indústria moveleira. Conforme esta pesquisa, do total de resíduos gerados como serragem, maravalha e retalhos de madeira, 42,35 % são reaproveitados como energia, especialmente queima em caldeiras, e 41,92 % são vendidos para utilizações diversas. As demais destinações referem-se a doações, disposição em aterro ou queima a céu aberto. Considerando que o resíduo de retalho de madeira é o que mais se assemelha ao painel de madeira a ser descartado e que, na condição de descarte, o mesmo não apresentaria mais condições de venda para utilizações diversas, foi assumido que o destino empregado foi a queima para aproveitamento energético.

Para a queima do painel de madeira e para o aterro do *pínus*, do PVC e da chapa metálica (aço), a pesquisa bibliográfica realizada não encontrou dados brasileiros de ACV que pudessem ser usados e mencionados como referência. A opção foi a busca por referenciais de tratamento e destinação de resíduos dentro do banco de dados do SimaPro, sendo definida a utilização do processo denominado de *Wood ash mixed to MWI S* para a incineração do painel de madeira e os processos denominados de *Steel (inert) to landfill S*, *Wood to HA chemical landfill S* e *Landfill PVC B250* para aterro dos materiais que compõem o painel multilaminar.

Para o processo de incineração, aterro do aço e aterro do *pínus*, os dados considerados pertencem ao projeto *ETH-SEU 96 System Processes* e descrevem somente as emissões durante o tratamento dos resíduos. O fluxo não considera as etapas de coleta dos resíduos, tratamento de efluentes e geração de energia do biogás no aterro.

### **3. Procedimento**

Para avaliar comparativamente o desempenho ambiental das caixas de carga de um semi-reboque para transporte de grãos confeccionadas com painéis de madeira e painéis multilaminares, em termos de manufatura, uso e descarte, as seguintes etapas foram desenvolvidas:

- caracterização do processo produtivo que envolveu a identificação das entradas e saídas dos processos;
- realização do balanço de massa com a quantificação de matérias-primas e insumos usados e de resíduos gerados;
- levantamento do consumo de água e energia de cada processo;
- aplicação da metodologia de ACV: definição do objetivo e do escopo, análise de inventário e avaliação de impacto.

O desenvolvimento destas está descrito a seguir.

#### **3.1 Caracterização dos Processos Produtivos: caixa de carga de painéis de madeira e caixa de carga de painéis multilaminares**

Um fluxograma de cada processo foi elaborado para se obter informações e conhecimento das etapas de produção das laterais do semi-roboque constituídas ou de painéis de madeira ou de painéis multilaminares. Os fluxogramas foram originados a partir de dados obtidos diretamente na planta de fabricação e de informações disponibilizadas, em meio físico e eletrônico, pela empresa fabricante. Nestes

fluxogramas, foram identificadas as entradas (matérias-primas e insumos) e saídas (produtos, resíduos e emissões) de cada etapa, sem quantificação. Estes levantamentos serviram de base para a elaboração do balanço de massa, o qual permitiu obter as informações necessárias para o estabelecimento dos dados de entrada dos diferentes processos e realização da análise de ciclo de vida. Convém ressaltar que os levantamentos foram baseados na confecção final de um “semi-reboque bitrem graneleiro”, visualizado na Figura 1, com 7,10 m, que originou a definição da unidade de medida. A fabricação de cada caixa de carga do semi-reboque bitrem graneleiro é composta por:

- doze (12) painéis laterais retangulares com dimensões de 2230 mm x 650 mm;
- seis (6) fominhas com dimensões de 2230 mm x 400 mm;
- duas (2) tampas traseiras com dimensões de 2430 mm x 650 mm;
- uma (1) fominha traseira com dimensão de 2430 mm x 400 mm.

Para facilitar os cálculos na realização do balanço de massa, a área dos painéis que constituem cada caixa de carga do semi-reboque bitrem graneleiro 7,10 m foi somada, sendo obtido como área total dos painéis: 26,877 m<sup>2</sup>. Logo, um semi-reboque bitrem tem uma área total de 53,754 m<sup>2</sup>. Todos os dados do balanço foram obtidos em massa por área, sendo definida a unidade padrão de medida em kg/m<sup>2</sup>. Essa definição foi baseada nos dados já existentes para o painel de madeira, conforme será apresentado no item 3.2 Balanço de Massa. Sabendo-se que o produto possui 53,754 m<sup>2</sup>, foi possível relacionar cada item do balanço de massa com a área total do produto e, assim,

comparar os dados entre os dois processos e produtos. A Figura 1 apresenta um semi-reboque bitrem graneleiro.

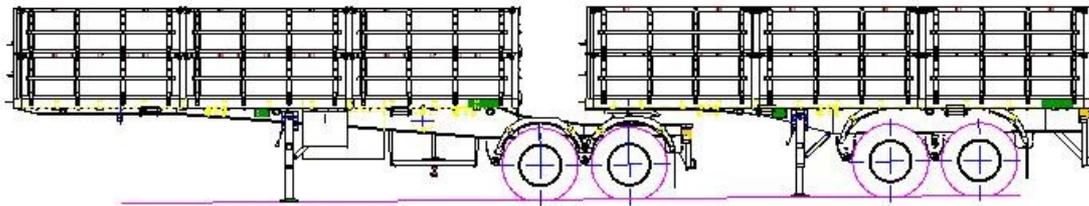
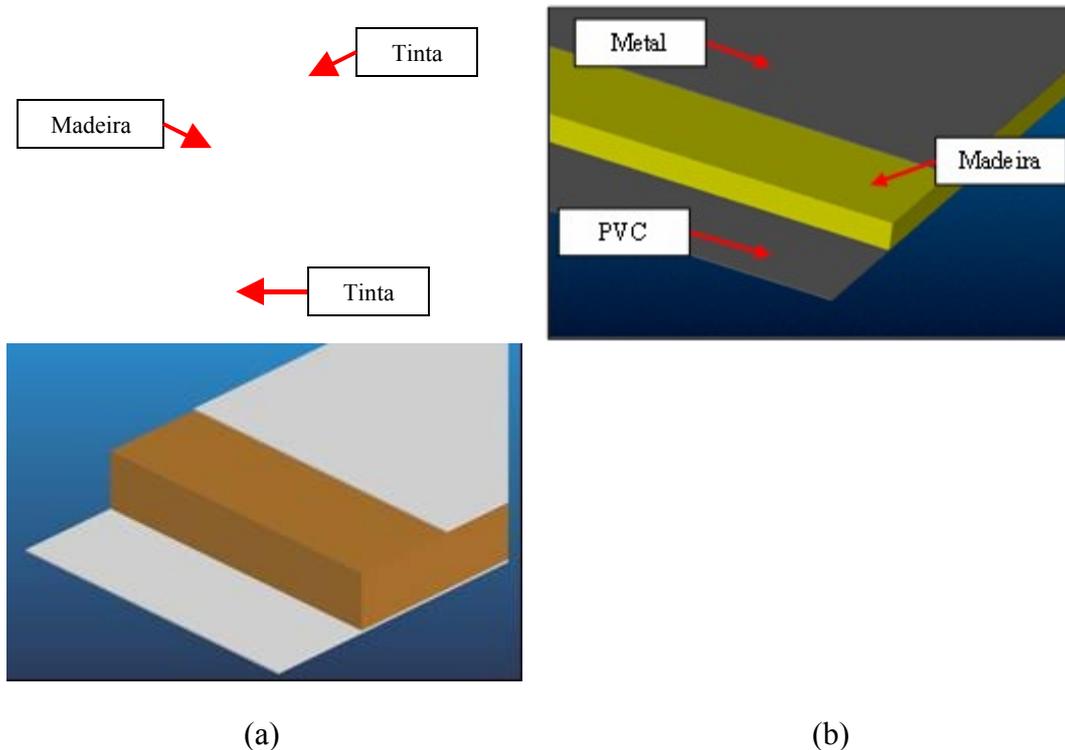


Figura 1 - Bitrem Graneleiro

Na Figura 2, estão apresentados os desenhos esquemáticos tanto dos painéis de madeira quanto dos painéis multilaminares que compõem as laterais do semi-reboque. O painel de madeira é composto por compensado naval com espessura de 14 mm e protegido com tinta látex. O painel multilaminar é fabricado com lâminas de PVC de 1 mm, chapa metálica de 0,43 mm de espessura e madeira (*pínus*) de 10 mm de espessura.



(a)

(b)

Figura 2 - Painel de madeira (a) e painel multilaminar (b)

### 3.2. Balanço de massa

Nesta etapa, foram quantificadas as entradas (insumos e matérias-primas) e saídas (produtos, resíduos, efluentes e emissões) de cada etapa constituinte do processo de fabricação das laterais das caixas de carga dos semi-reboques. O balanço de massa englobou a pesagem de todas as matérias-primas, insumos e resíduos, para que os dados fossem obtidos em unidade de massa (kg). Tanto para o painel de madeira quanto para o painel multilaminar, a quantificação de todos os insumos e materiais necessários durante a realização do balanço de massa foi obtida pelo acompanhamento da listagem de projetos executados no período (produtos fabricados), somando-se as áreas totais de cada um dos projetos.

O balanço de massa para o painel de madeira foi estabelecido a partir dos dados disponíveis sobre esse processo, no qual a quantificação de todas as entradas e saídas foi realizada por um período de 10 (dez) dias úteis consecutivos, no mês de julho/2000.

Para o processo de fabricação do painel multilaminar, a quantificação foi realizada por um período de 10 (dez) dias úteis, não consecutivos, sendo 5 (cinco) dias no mês de fevereiro/2006 e 5 (cinco) dias no mês de junho/2006. O objetivo da medição em diferentes períodos foi levar em consideração as variações da temperatura ambiente e da umidade da madeira, fatores apontados como principais elementos que interferem no processo de produção e que, conseqüentemente, podem interferir na quantidade de painéis rejeitados, aumentando os resíduos gerados. Para cada etapa definida nos fluxogramas dos processos, foram elaboradas as planilhas de controle de entrada de insumos e saída de resíduos.

### **3.3 Consumo de água e energia**

Os processos de fabricação das laterais de semi-reboques estão inseridos em um contexto maior de produção, não tendo redes de abastecimento de água e energia separadas das demais áreas e processo fabris da empresa, os consumos de água e energia foram calculados tomando-se como base os seguintes critérios:

- o consumo de água total correspondeu à água consumida no sistema de retenção das emissões das cabines de pintura dos painéis, pois não há consumo de água nas demais etapas do processo de fabricação.
- o consumo de energia foi calculado em função da potência dos motores elétricos instalados em cada etapa de fabricação dos painéis e das laterais.

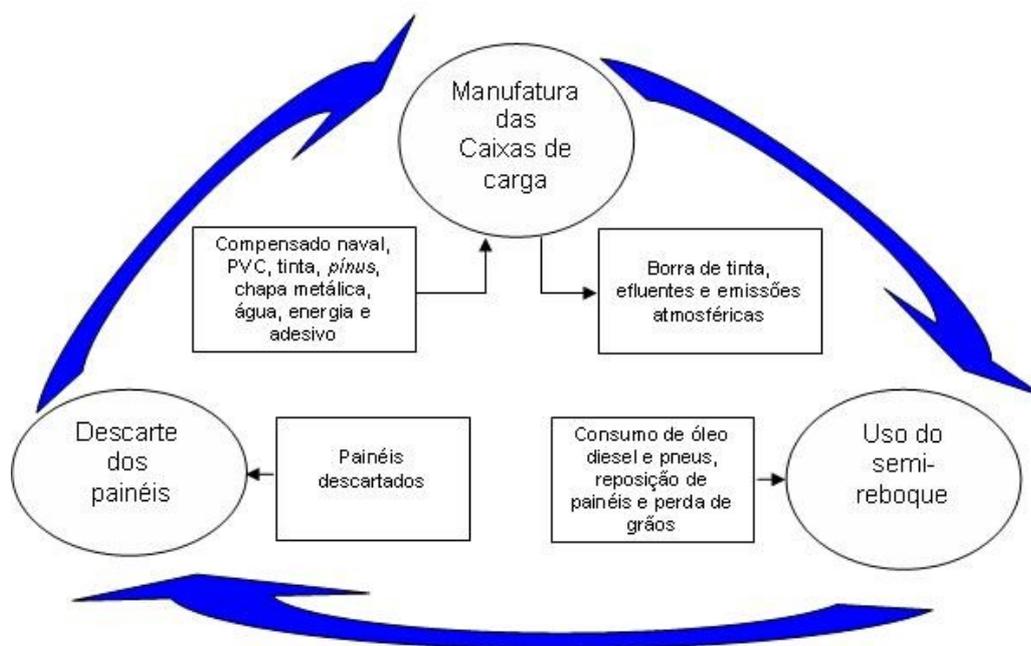
Para o painel de madeira, o consumo de energia foi calculado a partir dos dados arquivados na área de manutenção da empresa, nos quais os valores estão somados para todos os equipamentos utilizados no processo de manufatura. Pode-se obter o consumo de energia usando-se a fórmula: capacidade nominal multiplicada pelo número de horas de operação (17,6 horas/dia, correspondendo a 2 turnos de trabalho) multiplicado pelo fator 0,6, que representa uma utilização de 60 % da disponibilidade total do equipamento.

Para o painel multilaminar, o cálculo foi realizado da mesma forma, apenas alterando-se o número de horas de operação (8,8 horas/dia, correspondendo a 1 turno de trabalho).

### **3.4 Avaliação de desempenho ambiental utilizando ACV**

A partir das informações obtidas nos itens anteriores, desenvolveu-se a etapa de

avaliação comparativa do desempenho ambiental dos produtos, utilizando a metodologia da Análise de Ciclo de Vida. Para avaliação do desempenho ambiental foram consideradas as etapas de manufatura das caixas de carga, uso do semi-reboque e descarte dos painéis. Para cada uma destas etapas, diferentes parâmetros foram considerados. A Figura 3 apresenta uma síntese da definição do escopo.



**Figura 3** - Avaliação de desempenho ambiental – etapas consideradas no ciclo e parâmetros utilizados

Na manufatura foram considerados para a ACV - apresentando os dois painéis na ilustração - o consumo de compensado naval, de PVC, de chapa metálica, de *pinus*, de adesivo, de tinta, de água e de energia com os respectivos inventários. Outros itens foram desconsiderados por dois motivos: ou estão presentes nos dois processos de forma semelhante, não interferindo no resultado final, ou tem pouca representatividade nos processos. Foram considerados como saídas, ou seja, efluentes ou resíduos, a geração de borra de tinta, emissões atmosféricas a partir do uso de solvente, e água usada no processo de retenção das emissões atmosféricas que se converte em efluente

líquido. Estas entradas e saídas estão relacionadas ao processo de produção dos painéis e foram chamadas na ACV de “Manufatura das Caixas de Carga”. Na etapa chamada de “Uso do Semi-reboque”, foi considerado o consumo de óleo diesel e pneus, a reposição de painéis e a perda de grãos. No “Descarte dos Painéis”, foi considerada a geração de resíduos ao final da vida útil do semi-reboque, ou seja, os próprios painéis que se convertem em resíduos.

Cabe salientar que na etapa de manufatura, para as principais matérias-primas e insumos utilizados nos processos, a avaliação de desempenho ambiental considerou os impactos gerados desde a extração dos materiais, utilizando-se de inventários de ciclo de vida já existentes.

As propriedades mecânicas e químicas dos materiais, tais como densidade e resistência, já haviam sido estudadas pela engenharia de produto, responsável pelos projetos da lateral do semi-reboque. Sendo assim, estes dados previamente obtidos em outros estudos foram considerados neste trabalho, sem uma nova coleta de dados.

O detalhamento da aplicação da metodologia de ACV para avaliação comparativa está descrito a seguir.

### **3.4.1 Definição de objetivo e escopo da ACV**

O objetivo definido para a realização deste estudo de ACV consistiu em avaliar comparativamente o desempenho ambiental de painéis (de madeira e compósito multilaminar) que compõem as laterais de uma caixa de semi-reboques para transporte de grãos.

No que se refere ao público-alvo, o estudo quer contribuir com a ciência dos materiais, fornecendo subsídios para avaliações preliminares relativas às variáveis

ambientais, quando do desenvolvimento de novas matérias-primas, novos projetos e novos processos, auxiliando na tomada de decisão.

De forma mais específica, pretendeu-se sistematizar essa aplicação metodológica na indústria metal-mecânica, de onde surgiu a demanda do estudo.

A definição de escopo se refere à definição das premissas e a descrição dos elementos essenciais para a realização da pesquisa, sendo eles: função dos produtos, unidade funcional, fluxo de referência e fronteiras dos sistemas de produção [5].

Os produtos em questão referem-se a caixas de carga produzidas com diferentes painéis e utilizadas em semi-reboque transportador de grãos. Assim, definiu-se a função dos painéis como sendo: permitir e proteger o transporte de cargas a granel e secas, especialmente grãos.

Considerando que a unidade funcional define a quantificação das características de desempenho do produto, o estudo partiu de informações consolidadas sobre a durabilidade de um semi-reboque para transporte de grãos, estruturado a partir dos painéis, levando em conta as variáveis: capacidade de transporte, tempo e distância percorrida.

Como definições deste trabalho, foram adotados os dados de consumo de combustível e quilometragem rodada apresentados por Freitas Erro: Origem da referência não encontrado], sendo o consumo de combustível igual a 2,0 km/l e que o veículo roda quilometragem igual a 10000 km/mês, o que corresponde a 120000 km/ano. São consideradas, pelo autor, 6 horas efetivas de trabalho diário, já desconsiderados os tempos de carga e descarga, paradas para refeições, repouso, manutenção, abastecimento, entre outros, em velocidade média de 55,55 km/h. Um caminhão semi-reboque bitrem graneleiro roda efetivamente 6 horas/dia, em velocidade média de 55 km/h, transportando 40 toneladas de carga por viagem. Em um dia são

rodados 330 km e em um ano 120000 km. Ainda, segundo a literatura, um semi-reboque possui vida útil média de 10 (dez) anos, o que resulta em 1200000 km rodados.

De posse destes dados, estabeleceu-se como **unidade funcional**: permitir e proteger o transporte de 40 toneladas por viagem de carga a granel e seca, por um período de 10 anos, considerando uma distância percorrida de 120000 km por ano.

Uma vez definida a unidade funcional, fez-se, então, a avaliação do desempenho técnico de cada produto, resultando na quantidade de produto necessária para cumprir essa unidade funcional, ou seja, definiu-se o fluxo de referência. Cabe salientar que as propriedades mecânicas e químicas dos materiais, tais como densidade e resistência, já haviam sido estudadas pela engenharia de produto, responsável pelos projetos da lateral do semi-reboque. Sendo assim, estes dados previamente obtidos em outros estudos foram considerados neste trabalho, sem uma nova coleta de dados.

De acordo com a engenharia de desenvolvimento do produto, os testes mecânicos e químicos, dentre eles, resistência à flexão em três pontos e resistência às intempéries, realizados com os painéis multilaminares apontam uma vida útil média de 7 (sete) anos <sup>1</sup>. Logo, seu fluxo de referência será igual a 1,43 reposições para cumprimento da unidade funcional.

Para os painéis de madeira, de acordo com as informações registradas pelo setor de pós-vendas da empresa, responsável pela reposição dos painéis, a vida útil média é de 2 (dois) anos. Logo, seu fluxo de referência será igual a 5,0 reposições para cumprimento da unidade funcional.

Para o presente estudo, os subsistemas a serem considerados são: o subsistema da etapa de manufatura dos painéis, o subsistema do uso dos semi-reboques fabricados a partir dos painéis e o subsistema do descarte dos painéis após término da vida útil.

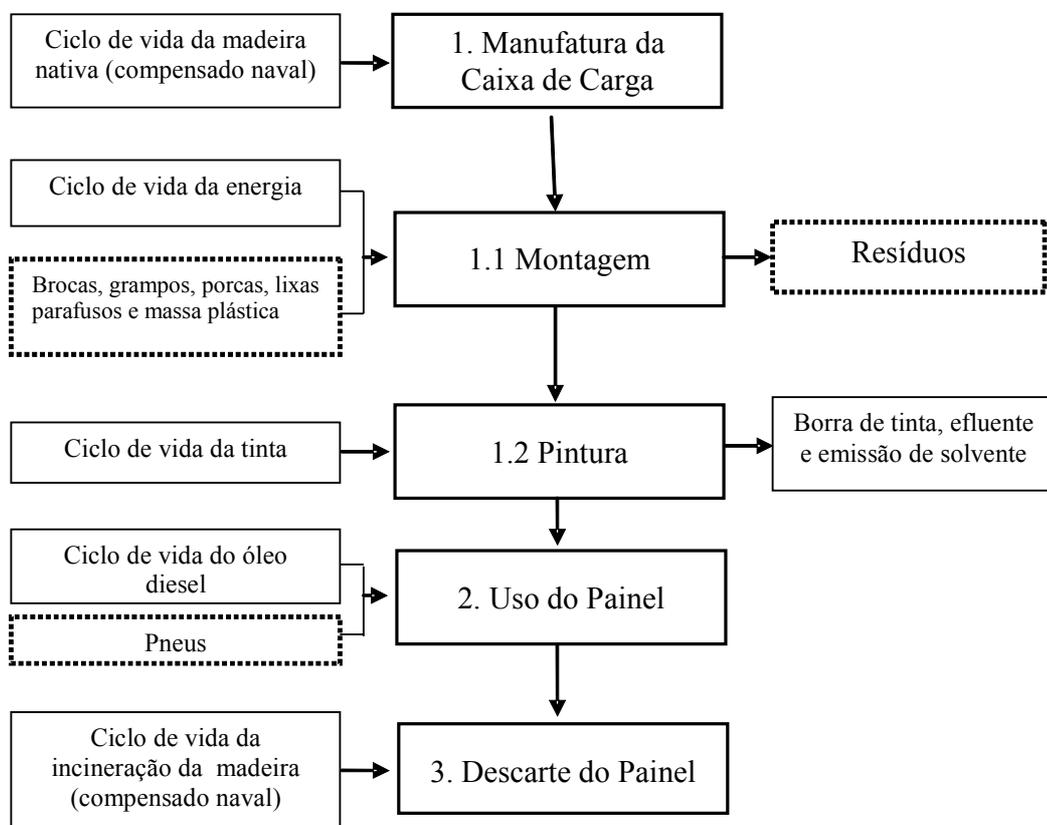
---

<sup>1</sup> Dados de relatórios de testes pertencentes à empresa fabricante do semi-reboque.

Para melhor entendimento, serão apresentados, na seqüência, os sistemas para o painel de madeira e para o painel multilaminar, bem como os subsistemas que os constituem.

### a) Sistema do painel de madeira

Na estão apresentados o sistema para o painel de madeira e os respectivos subsistemas (manufatura da caixa de carga, uso e descarte dos painéis). Os subsistemas expressos por linhas cheias referem-se aos que foram contemplados nesse estudo, enquanto que os subsistemas indicados por linhas tracejadas representam os que não foram contemplados.



**Figura 4** - Fronteiras do Sistema do Painel de Madeira

A partir dos dados apresentados no fluxograma dos processos produtivos, as atividades na etapa de manufatura dos painéis foram reagrupadas de forma a facilitar a inserção de dados para análise comparativa, definindo a manufatura em entrada de

matérias-primas, montagem e pintura dos painéis.

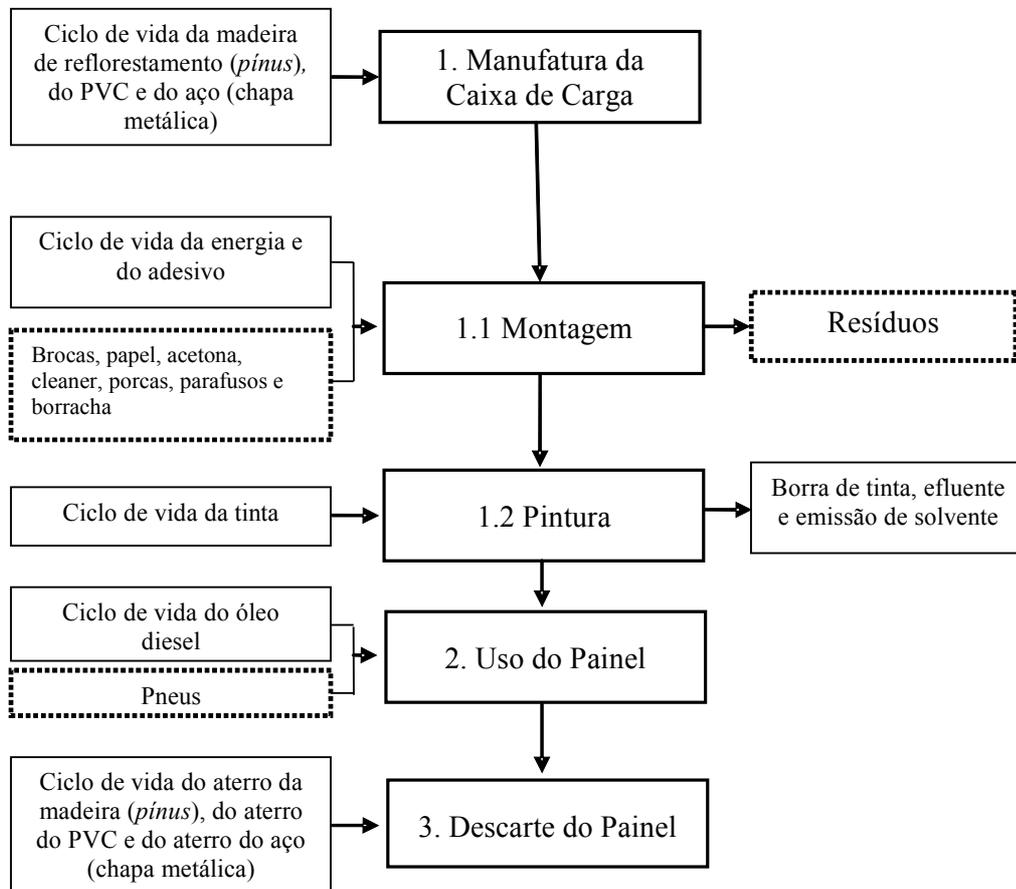
A seguir está apresentada uma descrição para cada subsistema, a saber:

1. Subsistema manufatura das caixas de carga: nesse subsistema, para o painel de madeira, foram considerados: a entrada de madeira nativa com os dados de inventário desde a extração da madeira até a entrega aos distribuidores; o processo de montagem (etapas de furação e fixação) dos painéis, inserido no programa computacional como a energia consumida no processo; a pintura dos painéis (pintura de emborrachamento e pintura de acabamento) considerando o inventário da tinta aplicada, conforme mencionado no capítulo de revisão bibliográfica, e saída das emissões de xileno, borra de tinta e efluente.
2. Subsistema uso do semi-reboque painel madeira: associado ao cumprimento da função definida, o uso dos painéis implica permitir e proteger o transporte de cargas a granel da unidade de produção dos mesmos até o destino final. Na etapa de uso foi considerado o consumo de óleo diesel.
3. Subsistema descarte do painel: os dados de vida útil média do painel de madeira apontam para dois anos, sendo que, após esse período, o mesmo deve ser descartado. O material de descarte é basicamente madeira impregnada com tinta.

#### **b) Sistema do painel multilaminar**

O sistema para o painel multilaminar e os respectivos subsistemas que o constituem estão apresentados na . Da mesma forma que no diagrama anterior, os subsistemas expressos por linhas cheias referem-se aos que foram contemplados nesse

estudo, enquanto que os subsistemas indicados por linhas tracejadas representam os que não foram contemplados.



**Figura 5** – Fronteiras do Sistema do Painel Multilaminar

A descrição dos subsistemas está apresentada a seguir:

1. Subsistema manufatura das caixas de carga: nesse subsistema, para o painel multilaminar, foram considerados: a entrada da madeira de reflorestamento (pínus), do PVC e do aço (chapa metálica) com os respectivos dados de inventário, conforme mencionado no capítulo de revisão bibliográfica; o processo de montagem dos painéis inserido no programa computacional como a energia consumida nas etapas de escovação do painel de pínus, aplicação do adesivo, revestimento com chapa de aço e

com chapa de PVC e prensagem. No processo de montagem também foi inserido o adesivo aplicado aos painéis com o respectivo inventário, previamente selecionado; o processo de pintura dos painéis (pintura de acabamento) considerando o inventário da tinta aplicada à saída das emissões de solvente (xileno), borra de tinta e efluente.

2. Subsistema uso do painel: da mesma forma que o painel de madeira, o multilaminar cumpre a mesma função, não diferindo nos fatores de impacto associados ao uso. Os fatores a serem considerados nessa etapa dizem respeito à diferença de peso dos produtos e a introdução de um perfil de vedação nos painéis multilaminares, impedindo a perda de grãos. Ambos influenciam diretamente no consumo de óleo diesel.
3. Subsistema descarte do painel: os dados de vida útil média do painel multilaminar, de acordo com informações fornecidas pela engenharia de desenvolvimento do produto, apontam para sete anos, sendo que, após esse período, o mesmo deve ser descartado. Os materiais de descarte foram o pínus, o PVC e a chapa metálica (impregnada com tinta).

### **3.4.2 Análise de Inventário**

Para a etapa de análise de inventário, foi utilizado o sistema computacional SimaPro, uma ferramenta que possibilita coletar, analisar e monitorar o desempenho ambiental dos produtos, processos e serviços, seguindo as recomendações das séries ISO 14040. Conforme apresentado na revisão bibliográfica, o programa é definido por Mariotoni [Erro: Origem da referência não encontrado] como um dos programas computacionais de destaque para ACV disponíveis no mercado, por possuir versões

cujos usos são voltados para as indústrias. Destaca-se, ainda, por possuir uma completa base de dados de inventário, incluindo diferentes processos, além dos métodos mais importantes para a avaliação do impacto. Entretanto, a maior parte desses bancos são europeus ou americanos. Porém, essa ferramenta permite a inserção de bancos de dados obtidos por outras fontes, para que sejam calculados os impactos, o que motivou a busca de bancos brasileiros.

Para tornar possível a realização da ACV nas etapas propostas nesse trabalho, com dados adequados à realidade brasileira, fez-se necessário introduzir dados obtidos na revisão bibliográfica, conforme apresentado, e dados obtidos através do banco fornecido e disponibilizado pela empresa fabricante do produto.

A Tabela 1 apresenta a base de inventário para os produtos que utilizam dados brasileiros para análise de ciclo de vida com as respectivas referências bibliográficas. As informações contidas nesses inventários serviram de entrada para o desenvolvimento das análises realizadas nesse trabalho. Cabe mencionar que não foram encontradas bases brasileiras para todas as entradas, mas houve a preocupação pela busca para consolidação dos inventários. O inventário para cada insumo ou processo usado traz entradas de matérias-primas e saídas de poluentes. Sempre que nas entradas havia dados brasileiros, esses foram usados. Nas tabelas que seguem, os mesmos foram destacados por um asterisco.

**Tabela 1** – Inventários de ACV base de dados brasileira

Produto	Referência Bibliográfica
Petróleo	BORGES, Fúlvia Jung, 2004 Erro: Origem da referência não encontrado].
Sal-gema e sal marinho	BORGES, Fúlvia Jung, 2004 Erro: Origem da referência não encontrado].
PVC	BORGES, Fúlvia Jung, 2004 Erro: Origem da referência não encontrado].
Madeira Nativa	BRUGNARA, Gisela de Andrade, 2001 Erro: Origem da

referência não encontrado].

Madeira de Reflorestamento	BRUGNARA, Gisela de Andrade, 2001 Erro: Origem da referência não encontrado].
Aço	COELHO, Carla Regina Vitolo et al, 2007 Erro: Origem da referência não encontrado].
Energia Elétrica	COLTRO, Leda et al., 2003 Erro: Origem da referência não encontrado].
Óleo diesel e óleo combustível	BORGES, Fúlvia Jung, 2004 Erro: Origem da referência não encontrado].
Gás Natural	KULAY, Luiz Alexandre, 2004 Erro: Origem da referência não encontrado].

---

A seguir, é apresentado um descritivo dos dados usados para alimentar o sistema, permitindo o cálculo da ACV e a conseqüente avaliação de desempenho ambiental.

## **Etapa de Manufatura dos Painéis**

### ***PVC***

Os dados considerados para a análise do inventário do ciclo de vida do PVC no Brasil foram retirados da dissertação escrita por Fúlvia Jung Borges, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, em 2004, intitulada “Inventário do Ciclo de Vida do PVC Produzido no Brasil”. Antes de apresentar os dados consolidados para a análise de inventário do PVC no Brasil, faz-se necessário apresentar as tabelas dos dados usados para o petróleo e o sal, elementos usados no inventário do PVC, pois fazem parte da sua composição. Os de petróleo estão apresentados na Tabela 2 e foram retirados da dissertação mencionada acima, pelos motivos previamente apresentados na revisão bibliográfica.

**Tabela 2** - Inventário do Ciclo de Vida do Petróleo no Brasil [45]

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>
<i>Entradas</i>		
Bauxita	mg	318
Petróleo	g	1030
Energia (não especificada)	MJ	2,57
Gás natural *	g	44,1
Água	g	7,35
<i>Saídas</i>		
<i>Emissões para o ar</i>		
Aldeídos	µg	73,4
Amônia	µg	36,7
CO	mg	262
CO <sub>2</sub>	g	228
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	g	1,56
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> alifático	mg	516
MP	mg	199
H <sub>2</sub>	mg	6,8
H <sub>2</sub> S	mg	2,27
HCl	mg	7,73
Metais	µg	217
N <sub>2</sub> O	µg	88,1
NO <sub>x</sub>	g	3,12
SO <sub>2</sub>	g	1,32
Fuligem	mg	2,04
SO <sub>x</sub>	mg	48,4
COV	mg	3,77
<i>Emissões para a água</i>		
DBO	µg	11
Cl <sup>-</sup>	µg	217
DQO	mg	2,32
Petróleo	mg	30,4
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	µg	434
SDT	mg	23,3
Íons metálicos	mg	3,98
Óleo	µg	126
Fenol	µg	773
SST	µg	11
<i>Resíduos sólidos</i>		
Resíduos minerais	mg	881
Óleo	mg	300
Resíduos não inertes	mg	2,86
Escória	mg	7,78

\* Dados brasileiros de inventário

Para o sal-gema e o sal marinho, também foram adotados os dados apresentados por Borges, por não haver disponibilidade de outras fontes no país e por considerar

pertinentes as considerações feitas pela autora. A Tabela 3 e a Tabela 4 apresentam os inventários.

**Tabela 3 - Inventário da Extração de Sal-gema [45]**

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade / 1 kg de sal-gema extraído</b>
<i>Entradas</i>		
<i>Outro Sistema</i>		
Energia térmica (óleo diesel) *	MJ	1,287
<i>Meio Ambiente</i>		
Sal-gema	kg	1,135
<i>Saídas</i>		
<i>Emissões para o ar</i>		
MP	kg	$3.10^{-4}$
NO <sub>x</sub>	kg	$7.10^{-4}$
SO <sub>2</sub>	kg	0,001
CO	kg	$6.10^{-5}$
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	kg	$3.10^{-4}$
CO <sub>2</sub>	kg	1,03
<i>Emissões para a água</i>		
SDT	kg	$8.10^{-5}$
Fe	kg	$2.10^{-5}$
Emissões não especificadas	kg	$5.10^{-5}$
<i>Resíduos sólidos</i>		
Resíduos sólidos não inertes	kg	0,132

\* Dados brasileiros de inventário

**Tabela 4 - Inventário do Ciclo de Vida de 1 t de Sal Marinho Transportado [45]**

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>
<i>Entradas</i>		
Sal marinho	kg	1
Bauxita	g	9,08
Petróleo *	kg	25
Energia não especificada	MJ	62,06
Gás natural *	kg	1,58
Água	g	3,82
<i>Saídas</i>		
<i>Emissões para o ar</i>		
Aldeídos	mg	75,6

Amônia	mg	37,8
CH <sub>4</sub>	mg	1,67
CO	g	212
CO <sub>2</sub>	kg	75,6
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	g	172
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> alifático	mg	216
Particulado	g	10,85
H <sub>2</sub>	mg	2,85
H <sub>2</sub> S	µg	967
HCl	mg	3,24
Metais	mg	224
Metilmercaptana	µg	961
N <sub>2</sub> O	mg	90,8
NO <sub>2</sub>	g	2,72
NMVOC	mg	84,9
NO <sub>x</sub>	kg	1,37
SO <sub>2</sub>	kg	1,12
Fuligem	g	2,42
SO <sub>x</sub>	g	9,01
VOC	g	3,88
<i>Emissões para a água</i>		
DBO	mg	11,3
Cl <sup>-</sup>	mg	225
DQO	mg	57,4
Petróleo	g	1,1
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	mg	447
SDT	g	24
Íons metálicos	mg	113
Na	mg	1,25
Óleo	mg	131
Fenol	µg	324
SST	mg	11,3
<i>Resíduos sólidos</i>		
Resíduos minerais	g	31,7
Óleo	g	309
Resíduos sólidos não inertes	g	2,95
Escória	mg	48

\* Dados brasileiros de inventário

A Tabela 5 apresenta o resultado final obtido pela autora no processo de consolidação dos dados do inventário do ciclo de vida do PVC no Brasil.

**Tabela 5 - Inventário do Ciclo de Vida do PVC produzido no Brasil [45]**

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>
<i>Entradas</i>		
Aditivos	g	3,4
Água (termelétrica – evaporada)	g	1030

Água utilizada (hidroelétrica)	g	516
Bauxita	mg	260
Carvão	g	57
Petróleo *	g	156
Petróleo (matéria-prima)	g	688
Energia não especificada	MJ	2,1
Material secundário	l	516
Gás natural *	g	39,4
Óleo *	g	5,37
Oxigênio	g	150
Reservas bióticas	g	21,6
Sal marinho *	mg	73,9
Sal-gema *	g	508
Urânio	µg	799
Água	g	154
<i>Saídas</i>		
<i>Emissões para o ar</i>		
1,2-dicloroetano	mg	602
Aldeídos	µg	75,1
Amônia	µg	37,6
CFC	mg	14,3
CH <sub>4</sub>	mg	245
CH <sub>4</sub> renovável	g	2,15
Cl <sub>2</sub>	mg	1,38
CO	g	1,39
CO <sub>2</sub>	kg	1,76
CO <sub>2</sub> não-fóssil	g	73,3
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	g	1,75
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> alifático	g	1,24
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> aromático	mg	15,1
Diclorometano	mg	1,48
MP	mg	779,78
H <sub>2</sub>	mg	263
H <sub>2</sub> S	mg	1,86
HCl	mg	6,27
Hg	µg	184
Metais	µg	222
Metilmercaptana	µg	709
N <sub>2</sub> O	mg	48,9
NO <sub>2</sub>	mg	843
NMCOV	mg	119
NO <sub>x</sub>	g	6,71
Percloroetileno	µg	802
Radioatividade para o ar	Bq	43,4
SO <sub>2</sub>	g	2,45
Fuligem	mg	41
SO <sub>x</sub>	g	2,2
Tetraclorometano	mg	1,52
Tricloroetileno	µg	301
MVC	mg	660

COV	mg	3,86
Água	g	1020
<i>Emissões para a água</i>		
Ácidos	ng	754
Asbestos	mg	6,59
DBO	mg	470
Br	mg	1,93
Cl <sup>-</sup>	g	77,9
DQO	mg	444
Compostos de enxofre	µg	2
Compostos de nitrogênio	µg	20
Petróleo	mg	24,9
Cu	ng	36,1
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	µg	577
1,2-dicloroetano	mg	30,1
COD	µg	222
EOCl	µg	223
Fé	mg	8,95
Hg	µg	12
Metais pesados (Cr, Pb)	ng	799
Íons metálicos	g	3,72
Na	mg	180
NH <sub>3</sub>	µg	1000
Óleo	mg	1,37
Fenol	µg	627
Radioatividade para a água	Bq	66,8
Sulfato	g	3,45
SST	mg	590,4
SDT	g	1,46
Emissões não especificadas	mg	22,4
MVC	µg	360
<i>Resíduos sólidos</i>		
Asbestos	mg	39,8
Resíduos minerais	mg	721
Óleo	mg	307
Resíduos processuais	g	48,6
Resíduos sólidos (não inerte)	g	7,63
Resíduos sólidos (contendo Cu)	mg	40,1
Resíduos do solo	cm <sup>3</sup>	59,3
Escória	mg	6,32

\* Dados brasileiros de inventário

### ***Madeira***

Conforme apresentado no referencial teórico, para a madeira de lei e para o

painel de *pínus*, os dados foram retirados da dissertação “Florestas, Madeira e Habitações: análise energética e ambiental da produção e uso de madeira como uma contribuição ao desafio da valorização da Floresta Amazônica”, escrita por Gisela de Andrade Brugnara, da Universidade Estadual de Campinas, em 2001.

A Tabela 6 apresenta o resultado final obtido pela autora no processo de consolidação dos dados do inventário da madeira nativa, e a Tabela 7 a consolidação dos dados para o plantio de eucalipto. Como é possível visualizar, as tabelas não seguem o formato até então apresentado, pois para a madeira nativa, a autora consolidou as operações de extração, transporte até a serraria e transporte final em consumo de óleo diesel e o processamento em consumo de eletricidade. Para a madeira de reflorestamento, as etapas de implantação da floresta, manutenção, colheita, transporte até a serraria e transporte final foram consolidadas em consumo de óleo diesel, e o processamento e o tratamento em consumo de eletricidade. Tanto para o óleo diesel quanto para a eletricidade foram inseridos os dados brasileiros de inventário.

**Tabela 6** – Consumo total de energia, pela soma das etapas, na cadeia produtiva de madeira nativa da Amazônia, adaptado de Brugnara, 2001 [48]

CONSUMO DE ENERGIA POR UNIDADE DE VOLUME			
Subtotais	extração + transporte serraria + transporte final	+	processamento
Energia final	Óleo diesel *	+	Eletricidade *
TOTAL	47,31 l/m <sup>3</sup>		36 kWh/m <sup>3</sup>

\* Dados brasileiros de inventário

**Tabela 7** – Consumo total de energia, pela soma das etapas, na cadeia produtiva de madeira de eucalipto cultivado

CONSUMO DE ENERGIA POR UNIDADE DE VOLUME			
Subtotais	Implantação da floresta + manutenção + colheita + transporte serraria + transporte final	+	Processamento + tratamento
Energia final	Óleo diesel *	+	Eletricidade *
TOTAL	11,49 l/m <sup>3</sup>		30 kWh/m <sup>3</sup>

Equivalência				
em Joules	426 MJ/m <sup>3</sup>		+	108 MJ/m <sup>3</sup>
TOTAL		534 MJ/m <sup>3</sup>		

Conversões: 1 litro diesel = 37,1 MJ; 1 kWh = 3,6 MJ \* Dados brasileiros de inventário

## Aço

Já para o aço (Tabela 8), os dados considerados foram os constantes no artigo “*Life Cycle Inventory of Steel Production in Brazil*”, escrito por Coelho et al., e apresentado na Conferência Internacional Ciclo de Vida 2007, realizada na cidade de São Paulo.

**Tabela 8 - Inventário do Aço produzido no Brasil [34]**

Aspecto	Unidade	Valor
Eletricidade *	MWh/t aço	0,47
Energia produzida	MWh/t aço	0,12
<i>Energia térmica</i>		
Carvão	t/t aço	0,42
Vapor de carvão	kg/t aço	0,45
Óleo e derivados *	t/t aço	0,01
Gás Natural *	Nm <sup>3</sup> /t aço	34,91
Óleo de aquecimento	kg/t aço	3,43
Diesel *	kg/t aço	0,48
Querosene	m <sup>3</sup> /t aço	3,9E-0,5
Carvão vegetal	t/t aço	0,24
Alcatrão	m <sup>3</sup> /t aço	1,9E-0,3
<i>Água Tratamento</i>		
Água	kg/t aço	435,0
Comercializada	kg/t aço	273,35
Reuso	kg/t aço	19,34
<i>Poluição do ar</i>		
Particulado	kg/t aço	0,79
CO <sub>2</sub>	kg/t aço	853,40
CO	kg/t aço	0,52
HC's	kg/t aço	0,51
NO <sub>x</sub>	kg/t aço	0,52
SO <sub>2</sub>	kg/t aço	2,66
<i>Poluição da água</i>		
Fenóis	mg/t aço	588,46
Amônia	g/t aço	40,06
DQO	g/t aço	435,08
DBO	g/t aço	81,73

Óleos e graxas	g/t aço	158,68
Manganês	g/t aço	1,28
Cianeto	g/t aço	1,31
Sólidos suspensos	g/t aço	750,86
Chumbo	g/t aço	2,05
Cromo	g/t aço	1,06
Níquel	g/t aço	0,73
Cobre	g/t aço	0,13
Cádmio	g/t aço	0,20
Ferro	g/t aço	53,18
Estanho	g/t aço	3,27
<i>Uso de recursos</i>		
Água coletada	m <sup>3</sup> /t aço	16,27
Minério ferro	t/t aço	1,13
Sucata ferro	t/t aço	0,26
Ferro liga	t/t aço	0,16
Ferro fundido	t/t aço	0,80
Ferro esponja	t/t aço	0,01
Calcário	t/t aço	0,16
Minério Manganês	t/t aço	0,01
Dolomita	t/t aço	0,05
Zinco	kg/t aço	2,01

\* Dados brasileiros de inventário

### ***Energia Elétrica***

Os dados de inventário para a energia elétrica foram obtidos a partir de um modelo nacional adotado e apresentado no artigo “*Life Cycle Inventory for Electric Energy System in Brazil*”, publicado em 2003 por Leda Coltro, Eloísa E.C. Garcia e Guilherme de C. Queiroz.

A Tabela 9 apresenta o resultado final obtido pelos autores no processo de consolidação dos dados do inventário da geração e distribuição da energia elétrica no Brasil.

**Tabela 9-** Inventário da geração e distribuição da energia elétrica no Brasil [48]

Parâmetros	Unidade	Quantidade/1 GJ de eletricidade
<i>Entradas</i>		
<i>Energia</i>		
Total	MJ	1584

<i>Recursos naturais</i>		
Reservas Bióticas	kg	4,87
Carvão	kg	12,84
Gás Natural *	kg	0,76
Óleo *	kg	1,21
Água	kg	231,44
Água de uso	m <sup>3</sup>	116,32
<i>Outros recursos</i>		
Menor constituintes	kg	0,90
Uranio	g	0,18
<i>Uso Solo</i>		
Uso solo	m <sup>2</sup> a	0,25
<i>Saídas</i>		
<i>Resíduos Sólidos</i>		
Volume Aterro	dm <sup>3</sup>	13,37
Resíduos Processo	kg	10,70
<i>Emissões atmosféricas</i>		
Ácidos (HCl)	g	0,03 x 10 <sup>-3</sup>
CH <sub>4</sub>	g	54,80
CH <sub>4</sub> – Hidro	g	484,75
CO	g	149,39
CO <sub>2</sub> – não renovável	g	17832,00
CO <sub>2</sub> – renovável– Hidro	g	16512,67
Água evaporada	kg	230,35
Hidrocarbonetos	g	0,75
Metais	g	0,01 x 10 <sup>-3</sup>
NH <sub>3</sub>	g	0,06 x 10 <sup>-4</sup>
NMVOC	g	7,28
NO <sub>x</sub>	g	575,05
N <sub>2</sub> O	g	10,99
Material Particulado	g	67,23
SO <sub>2</sub>	g	116,34
Radioatividade para ar	kBq	9,77
<i>Emissões para Água</i>		
Ácidos	g	0,17 x 10 <sup>-3</sup>
DBO	g	0,07
DQO	g	0,13
Cloretos	g	0,06 x 10 <sup>-3</sup>
DOC	g	0,05
Metais pesados (Cr, Pb)	g	0,18 x 10 <sup>-3</sup>
Hidrocarbonetos	g	0,03
Compostos de Nitrogênio	g	0,45 x 10 <sup>-2</sup>
Óleos e graxas	g	0,14
Compostos sulfúricos	g	0,45 x 10 <sup>-3</sup>
STD	g	0,05
SST	g	0,10
Radioatividade para água	kBq	15,06

\* Dados brasileiros de inventário

## Óleo Diesel e Óleo Combustível

Da mesma forma que para o petróleo, os dados para os derivados do petróleo também foram apresentados na dissertação de Borges (2004). A Tabela 10 apresenta o inventário de ciclo de vida do óleo combustível e óleo diesel.

Para a inserção dos dados no programa computacional, foi necessária a conversão das unidades de medida do óleo diesel, sendo usados os seguintes valores:

Densidade do óleo diesel = 0,8497 g/cm<sup>3</sup> Erro: Origem da referência não encontrado]

1 litro de óleo diesel = 37,1 MJ Erro: Origem da referência não encontrado]

**Tabela 10** - Inventário do ciclo de vida do óleo diesel e óleo combustível [45]

Parâmetros	Unidade	Óleo diesel	Combustível
		Quantidade/1 kg de óleo	Quantidade/1 kg de óleo
		diesel	combustível
<i>Entradas</i>			
Bauxita	mg	319	319
Petróleo *	kg	1,04	1,04
Petróleo (matéria-prima)	kg	-	-
Energia (não especificada)	MJ	2,57	2,57
Gás natural *	g	44,1	44,1
Água	g	7,36	7,36
<i>Saídas</i>			
<i>Emissões para o ar</i>			
Aldeídos	µg	73,5	73,5
Amônia	µg	36,8	36,8
CH <sub>4</sub>	mg	4	1,4
CO	mg	268	265
CO <sub>2</sub>	g	230	229
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	g	1,56	1,56
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> alifático	mg	517	517
MP	mg	2	0,7
H <sub>2</sub>	mg	199	199
H <sub>2</sub> S	mg	6,81	6,81
HCl	mg	2,31	2,28
Metais	mg	7,75	7,75
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> alifático	µg	217	217

Metilmercaptana	mg	2,3	0,8
N <sub>2</sub> O	μg	88,2	88,2
NMCOV	mg	203	70
NO <sub>x</sub>	g	3,13	3,13
SO <sub>2</sub>	g	1,32	1,32
Fuligem	mg	2,04	2,04
SO <sub>x</sub>	mg	49,5	48,8
COV	mg	3,77	3,77
<i>Emissões para a água</i>			
DBO	μg	11	11
Cl <sup>-</sup>	μg	4,22	1,92
DQO	mg	2,32	2,32
Petróleo	mg	30,5	30,5
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	μg	435	435
SSD	mg	23,3	23,3
Íons metálicos	mg	3,98	3,98
Óleo	mg	1,53	7,13
Fenol	μg	775	775
SST	μg	11	11
<i>Resíduos sólidos</i>			
Resíduos minerais	mg	883	883
Óleo	mg	300	300
Resíduos sólidos não inertes	mg	2,87	2,87
Escória	mg	7,79	7,79

\* Dados brasileiros de inventário

### ***Gás Natural***

O inventário relativo ao gás natural foi extraído da tese escrita por Luiz Alexandre Kulay, 2004, conforme descrição no referencial teórico. A Tabela 11 apresenta o resultado final obtido pelo autor para o gás natural no Brasil.

**Tabela 11 - Inventário do gás natural produzido no Brasil [28]**

<b>Gás Natural Brasil – 1,00MJ</b>		
<i>Entradas</i>		
<i>Parâmetro</i>	<i>Unidade</i>	<i>Quantidade</i>
Sulfato de Bário (BaSO <sub>4</sub> )	kg	4,06x10 <sup>-5</sup>
Bauxita	kg	1,30x10 <sup>-7</sup>
Bentonite	kg	3,84x10 <sup>-6</sup>
Cromo	kg	7,81x10 <sup>-9</sup>
Argila	kg	7,58x10 <sup>-6</sup>

Cobre	kg	$3,97 \times 10^{-8}$
Ferro	kg	$1,19 \times 10^{-4}$
Chumbo	kg	$1,24 \times 10^{-8}$
Carbonato de cálcio	kg	$4,79 \times 10^{-5}$
Manganês	kg	$4,55 \times 10^{-9}$
Gás natural	kg	$2,5 \times 10^{-2}$
Níquel	kg	$2,64 \times 10^{-9}$
Petróleo *	kg	$7,13 \times 10^{-5}$
Areia	kg	$1,20 \times 10^{-6}$
Prata	kg	$1,97 \times 10^{-10}$
Cloreto de sódio	kg	$2,84 \times 10^{-7}$
Zinco	kg	$2,89 \times 10^{-10}$
Eletricidade *	kJ	0,015
Água (consumo total)	kg	$9,29 \times 10^{-3}$
Madeira *	kg	$1,43 \times 10^{-6}$
<i>Produtos</i>		
Gás Natural	MJ	1,00
<i>Emissões atmosféricas</i>		
Acetaldeídos	g	$1,06 \times 10^{-6}$
Ácido acético	g	$1,50 \times 10^{-4}$
Acetona	g	$1,78 \times 10^{-7}$
Aldeídos	g	$5,33 \times 10^{-7}$
Alcanos	g	$2,85 \times 10^{-3}$
Alcenos	g	$6,26 \times 10^{-6}$
Alcinos	g	$6,62 \times 10^{-8}$
Alumínio	g	$2,77 \times 10^{-6}$
Amônia	g	$1,08 \times 10^{-6}$
Arsênico	g	$2,99 \times 10^{-8}$
Bário	g	$3,85 \times 10^{-8}$
Benzaldeído	g	$1,20 \times 10^{-11}$
Benzeno	g	$4,01 \times 10^{-4}$
Benzopireno	g	$1,50 \times 10^{-8}$
Berílio	g	$1,65 \times 10^{-10}$
Boro	g	$1,34 \times 10^{-6}$
Bromo	g	$1,29 \times 10^{-7}$
Butano	g	$8,16 \times 10^{-4}$
Buteno	g	$2,72 \times 10^{-7}$
Cádmio	g	$4,52 \times 10^{-8}$
Cálcio	g	$6,55 \times 10^{-6}$
Dióxido de carbono	g	608,075
Monóxido de carbono	g	$1,96 \times 10^{-2}$
Tetrafluoreto de carbono	g	$9,61 \times 10^{-9}$
Cromo	g	$1,58 \times 10^{-7}$
Cobalto	g	$3,38 \times 10^{-8}$
Cobre	g	$2,39 \times 10^{-7}$
Cianida (CN)	g	$3,17 \times 10^{-8}$
Dioxinas (não especificado)	g	$4,48 \times 10^{-13}$
Etano	g	$2,93 \times 10^{-3}$
Etanol	g	$1,17 \times 10^{-7}$
Etilbenzeno	g	$2,71 \times 10^{-7}$

Etileno	µg	1,21x10 <sup>-2</sup>
Formaldeído	µg	1,00x10 <sup>-4</sup>
Halon 1301	µg	2,71x10 <sup>-8</sup>
Heptano	µg	1,26x10 <sup>-6</sup>
Hexano	µg	2,64x10 <sup>-6</sup>
CxHy	µg	1,32x10 <sup>-2</sup>
Ácido clorídrico	µg	2,54x10 <sup>-5</sup>
Ácido fluorídrico	µg	3,60x10 <sup>-6</sup>
Gás sulfídrico	µg	3,84x10 <sup>-4</sup>
Iodo	µg	6,29x10 <sup>-8</sup>
Ferro	µg	8,68x10 <sup>-6</sup>
Chumbo	µg	8,38x10 <sup>-7</sup>
Magnésio	µg	1,24x10 <sup>-6</sup>
Manganês	µg	5,58x10 <sup>-6</sup>
Mercúrio	µg	1,97x10 <sup>-7</sup>
Metano	µg	6,32x10 <sup>-2</sup>
Metanol	µg	1,28x10 <sup>-7</sup>
Níquel	µg	1,02x10 <sup>-6</sup>
Óxidos de nitrogênio (NO <sub>x</sub> )	µg	3,08x10 <sup>-2</sup>
Óxido nitroso	µg	1,23x10 <sup>-4</sup>
Material particulado (não especificado)	µg	1,47x10 <sup>-3</sup>
Pentano	µg	1,20x10 <sup>-3</sup>
Fenol	µg	9,17x10 <sup>-11</sup>
Fósforo	µg	4,11x10 <sup>-8</sup>
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	µg	1,01x10 <sup>-5</sup>
(PAH)		
Potássio	µg	2,08x10 <sup>-5</sup>
Propano	µg	8,80x10 <sup>-4</sup>
Propionaldeído	µg	3,29x10 <sup>-11</sup>
Ácido propiônico	µg	4,34x10 <sup>-8</sup>
Propileno	µg	3,97x10 <sup>-7</sup>
Selênio	µg	3,54x10 <sup>-7</sup>
Silício	µg	7,60x10 <sup>-6</sup>
Sódio	µg	5,33x10 <sup>-7</sup>
Estrôncio	µg	1,00x10 <sup>-8</sup>
Óxidos de enxofre (SO <sub>x</sub> )	µg	1,45x10 <sup>-2</sup>
Titânio	µg	2,58x10 <sup>-8</sup>
Tolueno	µg	2,01x10 <sup>-4</sup>
Vanádio	µg	8,80x10 <sup>-7</sup>
Xileno	µg	1,16x10 <sup>-6</sup>
Zinco	µg	3,28x10 <sup>-6</sup>
<i>Efluentes líquidos</i>		
Aldeídos (não especificados)	µg	2,22x10 <sup>-7</sup>
Alcanos (não especificados)	µg	5,73x10 <sup>-6</sup>
Alcenos (não especificados)	µg	5,22x10 <sup>-7</sup>
Alumínio	µg	2,51x10 <sup>-4</sup>
Amônia	µg	6,71x10 <sup>-6</sup>
AOX (Orgânicos halogenados absorvíveis)	µg	2,05x10 <sup>-8</sup>
CxHy aromáticos (não especificados)	µg	4,09x10 <sup>-5</sup>
Arsênico	µg	4,96x10 <sup>-7</sup>

Bário	3,79x10 <sup>-5</sup>
Barita	7,34x10 <sup>-3</sup>
Benzeno	5,75x10 <sup>-6</sup>
DBO	3,11x10 <sup>-5</sup>
Boro	7,23x10 <sup>-7</sup>
Cádmio	3,16x10 <sup>-8</sup>
Cálcio	2,24x10 <sup>-4</sup>
Cloretos	7,32x10 <sup>-3</sup>
Material clorado (expresso como Cl)	1,16x10 <sup>-3</sup>
Clorofórmio	1,25x10 <sup>-9</sup>
Cromo (Cr <sup>3+</sup> )	5,44x10 <sup>-6</sup>
Cromo (Cr <sup>6+</sup> )	1,02x10 <sup>-10</sup>
Cobalto	3,36x10 <sup>-7</sup>
DQO	3,71x10 <sup>-4</sup>
Cobre	1,19x10 <sup>-6</sup>
Cianidas (CN)	5,15x10 <sup>-7</sup>
Sólidos dissolvidos (não especificado)	9,17x10 <sup>-5</sup>
Carbono orgânico dissolvido (COD)	4,13x10 <sup>-4</sup>
Etilbenzeno	8,40x10 <sup>-8</sup>
Fluoretos	6,53x10 <sup>-5</sup>
Formaldeído	1,59x10 <sup>-11</sup>
Hexacloroetano	2,21x10 <sup>-15</sup>
Hipoclorito (ClO)	3,76x10 <sup>-7</sup>
Ácido hipocloroso (HClO)	3,76x10 <sup>-7</sup>
Iodo	3,57x10 <sup>-8</sup>
Ferro	2,43x10 <sup>-4</sup>
Chumbo	3,36x10 <sup>-6</sup>
Magnésio	2,11x10 <sup>-4</sup>
Manganês	5,99x10 <sup>-6</sup>
Cloreto de metila	3,59x10 <sup>-6</sup>
Níquel	1,28x10 <sup>-6</sup>
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	4,57x10 <sup>-6</sup>
Nitritos (NO <sub>2</sub> )	9,34x10 <sup>-8</sup>
Material nitrogenado (expresso como N)	8,17x10 <sup>-6</sup>
Óleos (não especificado)	1,05x10 <sup>-3</sup>
Fenol	5,86x10 <sup>-6</sup>
Fosfatos (Expressos como P)	3,01x10 <sup>-6</sup>
Fósforo	1,45x10 <sup>-7</sup>
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH, não especificados)	4,70x10 <sup>-8</sup>
Potássio	1,54x10 <sup>-4</sup>
Sais (não especificado)	1,41x10 <sup>-4</sup>
Dióxido de silício (SiO <sub>2</sub> )	1,29x10 <sup>-6</sup>
Sódio	2,41x10 <sup>-3</sup>
Estrôncio	2,49x10 <sup>-5</sup>
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	3,02x10 <sup>-3</sup>
Sulfetos (S <sup>2-</sup> )	1,27x10 <sup>-7</sup>
Sulfitos (SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	6,18x10 <sup>-9</sup>
Sólidos suspensos (não especificado)	2,58x10 <sup>-2</sup>
Tetracloroetileno	5,40x10 <sup>-12</sup>

Titânio	µg	$1,35 \times 10^{-5}$
Carbono orgânico total (TOC)	µg	$5,90 \times 10^{-3}$
Tolueno	µg	$5,18 \times 10^{-6}$
Tricloroetano	µg	$1,22 \times 10^{-11}$
Tricloroetileno	µg	$3,35 \times 10^{-10}$
Trietilenoglicol	µg	$4,13 \times 10^{-4}$
Xileno	µg	$4,16 \times 10^{-6}$
Zinco	µg	$9,48 \times 10^{-5}$
<i>Resíduos sólidos</i>		
Alumínio	µg	$5,18 \times 10^{-4}$
Arsênico	µg	$2,07 \times 10^{-7}$
Cádmio	µg	$9,37 \times 10^{-11}$
Cálcio	µg	$2,07 \times 10^{-3}$
Carbono	µg	$1,55 \times 10^{-3}$
Cromo (Cr <sup>3+</sup> , Cr <sup>6+</sup> )	µg	$2,59 \times 10^{-6}$
Cobalto	µg	$9,50 \times 10^{-11}$
Cobre	µg	$4,76 \times 10^{-10}$
Ferro	µg	$1,03 \times 10^{-3}$
Chumbo	µg	$2,17 \times 10^{-9}$
Manganês	µg	$2,07 \times 10^{-5}$
Mercúrio	µg	$1,73 \times 10^{-11}$
Níquel	µg	$7,14 \times 10^{-10}$
Nitrogênio	µg	$8,11 \times 10^{-9}$
Óleos (não especificados)	µg	$3,07 \times 10^{-6}$
Fósforo	µg	$2,59 \times 10^{-5}$
Enxofre	µg	$3,10 \times 10^{-4}$
Zinco	µg	$7,78 \times 10^{-6}$

\* Dados brasileiros de inventário

Vale ressaltar que, conforme apresentado na revisão bibliográfica, os dados de inventário do gás consideram etapas que não foram inseridas nos demais inventários adotados. Dentre elas, a modelagem de transporte do gás, que levou em conta a construção de tubulações e linhas de distribuição, bem como o transporte rodoviário realizado por caminhões. Para a distribuição, foram considerados os processos de produção de aço, ferro fundido e polietileno, usados nas construções das linhas. Esses itens devem ser considerados na análise dos resultados.

### ***Tinta e Adesivo***

Para os insumos tinta e adesivo, não foram encontrados dados brasileiros de inventário, sendo usada uma base selecionada junto ao SimaPro. Os dados da tinta fazem parte do banco *ETH-SEU 96 System Processes*, e os dados do inventário do adesivo constituem o banco *Industry Data*, conforme apresentado na revisão bibliográfica. Os inventários desses insumos estão apresentados no Anexo 1.

### **Etapa de Uso dos Produtos**

Na etapa de uso do produto, os dados tiveram como base o consumo de combustível, óleo diesel, e o consumo de pneus para executar o transporte de grãos durante a vida útil do produto, principal função do mesmo. Como definições desse trabalho, foram adotados os valores já apresentados na unidade de referência: consumo de combustível de 2,0 litros por km rodado e que o veículo roda uma quilometragem igual a 10000 km por mês, o que corresponde a 120000 km por ano, com vida útil do semi-reboque igual a 10 anos. Para a vida útil dos pneus, foi adotado o referencial de Michelin, sendo igual a 250000 km, considerando uma recapagem. Se o semi-reboque roda 1200000 km ao longo da vida útil, teremos 4,8 reposições de pneus para o produto.

Logo, os semi-reboques consumirão 600000 litros (509820 kg) de óleo diesel e farão 4,8 reposições de pneus ao longo da vida útil. Porém, há a necessidade de considerar as diferenças no desempenho dos produtos, em função das características estruturais dos semi-reboques. Nessa etapa, a maior fonte de referência foi a empresa fabricante do semi-reboque, por serem as informações de grande significância no que tange aos diferenciais entre os produtos fabricados. Dentre esses dados, destacam-se a diferença de peso dos produtos e a perda de grãos, associada ao transporte rodoviário de carga.

O produto com caixa de carga produzida a partir do painel de madeira pesa 10650 kg, enquanto que o produto com caixa de carga produzida a partir do painel multilaminar pesa 10400 kg. Essa diferença não está relacionada somente às características dos materiais que compõem os painéis, mas às alterações decorrentes dessa nova tecnologia que envolveram o sistema de fixação e estruturação das laterais que compõem a caixa de carga.

Na etapa de uso, a redução de 250 kg representa diferença em termos de consumo de combustível e de pneus que foi matematicamente traduzida para ser inserida no programa computacional.

A lógica foi transformar essa diferença de peso em equivalente de produto transportado, fixando a quantidade de produto transportado para os dois semi-reboques, a diferença fica calculada em termos de redução da quantidade de viagens o que representa menor consumo de combustível e de pneus. O caminhão roda, em média, 330 km/dia, conforme mencionado por Freitas et al. [Erro: Origem da referência não encontrado] o que foi considerado, como equivalente a uma viagem, totalizando 363,64 viagens em um ano. Se o semi-reboque com painéis de madeira transporta 40 toneladas por viagem, o semi-reboque com painéis multilaminar, devido à redução de peso, transportará 40,25 toneladas. Se 40 toneladas estão associadas a 330 km/dia, essas 0,25 toneladas representam um ganho de 2,0625 km por viagem. Ao longo vida útil do produto serão realizadas 3636,4 viagens, que representam 7500 km a menos de rodagem. Em termos de consumo de combustível equivale a uma economia de 3750 litros e, em termos de reposição de pneus, o índice passa a ser 4,77 reposições para o produto com menor peso, ou seja, o produzido com os painéis multilaminares.

Com relação à perda de grãos, associada ao transporte rodoviário das safras, adotou-se como base para esse trabalho a redução de 10 % na perda da carga de grãos

transportada após a introdução do painel multilaminar, pois as bordas das laterais da caixa de carga passam a ser vedadas com perfis em PVC. Esse percentual foi o assumido pela área de engenharia do produto, definido a partir dos dados de literatura citados na revisão bibliográfica [Erro: Origem da referência não encontrado]. A perda está relacionada às más condições das estradas que acabam por alterar a estabilidade da caixa de carga, ocasionando a perda dos grãos através dos espaçamentos que acabam sendo formados. Para o painel de madeira significa dizer que, das 40 toneladas transportadas, somente 36 chegavam ao seu destino final. Em termos de desempenho ambiental, esse fator representa a necessidade de mais viagens para transporte da quantidade planejada pelo cliente final. Da mesma forma que anteriormente citado, esse fator precisa ser considerado como diferencial na ACV, na etapa de uso do produto, pois um número maior de viagens resulta em consumo maior de combustível e de pneus.

O raciocínio matemático é o mesmo que o apresentado na diferença de peso dos produtos. Logo, se 40 toneladas (carga total) estão associadas a 330 km/dia, 4 toneladas (perda) representam 33 km/dia. Para as 3636,4 viagens que serão feitas ao longo da vida útil do produto, serão equivalentes a 120001,2 km, o que representa uma redução no consumo de combustível de 60000,6 litros e, em termos de pneus, um índice de 4,32 reposições.

A partir das análises acima descritas, foi adotado que o semi-reboque fabricado com os painéis de madeira consumiu 600000 litros (509820 kg) de óleo diesel e fez 4,8 reposições de pneus, ao longo da vida útil, conforme apresentado inicialmente, e que o semi-reboque fabricado com os painéis multilaminares consumiu 536250 litros (455651,625 kg) de óleo diesel e fez 4,29 reposições de pneus decorrentes das economias acima apresentadas.

Cabe salientar que, em relação às reposições de pneus, os dados foram desconsiderados, pois não foi encontrada uma base de dados brasileira e nem internacional, dentro das bases de dados contidas na versão 7.0 do SimaPro.

Os dados de alimentação do SimaPro na etapa de uso foram os já apresentados para o óleo diesel na etapa de manufatura.

### **Etapa de Descarte dos Painéis**

Para os painéis multilaminares, se considerado o conjunto dos materiais que o constituem, a alternativa atual é a disposição em aterro industrial. Porém, pode ser assumida a possibilidade de desestruturar o painel, voltando a ter as matérias-primas separadas, livres de contaminantes e passíveis de processos de reciclagem. Por não haver esse processo implantado e um levantamento de todos os elementos que deveriam ser considerados nessa etapa, dentre eles, o consumo de energia dispendida nesse processo, a alternativa selecionada foi o aterro. Cabe ressaltar que não foram encontrados dados para o painel multilaminar como um todo, ou seja, dados de aterro para um compósito sintético formado pela junção do *pínus*, PVC e chapa metálica (aço) aderidos entre si pela ação do adesivo. A alternativa encontrada foi buscar inventários de aterro para cada um dos elementos, desconsiderando a presença do adesivo.

Foi assumido que o destino empregado para os painéis de madeira no final de sua vida útil foi a queima, através do processo de incineração e para os painéis multilaminares, foi assumida a disposição em aterro, para cada um dos elementos que compõem o painel (*pínus*, PVC e aço).

Para ambos, não foram encontrados dados brasileiros de inventário, sendo, então, utilizadas bases de dados selecionadas junto ao SimaPro, conforme descrito na

revisão bibliográfica. O processo denominado de *Wood ash mixed to MWI S* foi escolhido para a incineração do painel de madeira, e os processos denominados de *Steel (inert) to landfill S*, *Wood to HA chemical landfill S* e *Landfill PVC B250*, para aterro dos materiais que compõem o painel multilaminar. Para o processo de incineração, aterro do aço e aterro do *pínus*, os dados considerados pertencem ao projeto *ETH-SEU 96 System Processes*. O aterro do PVC considera a base de dados *BUWAL 250*. Os dados que constituíram a base para incineração da madeira são apresentados no Anexo 2, e os que constituíram a base para aterro para cada um dos materiais que constituem o painel multilaminar são apresentados no Anexo 3.

A apresenta a destinação de cada material que compõe os painéis, o banco de dados selecionado e o anexo em que os mesmos estão apresentados.

**Tabela 12** – Destinação selecionada para os painéis e banco de dados correspondente

MATERIAL PARA DESCARTE	DESTINAÇÃO SELECIONADA	BANCO DE DADOS	ANEXO
<b>Painel de Madeira</b>			
Madeira	<i>Wood ash mixed to MWI S</i>	<i>ETH-SEU 96 System Processes</i>	Anexo 2
<b>Painel Multilaminar</b>			
<i>Pínus</i>	<i>Wood to HA chemical landfill S</i>	<i>ETH-SEU 96 System Processes</i>	Anexo 3
PVC	<i>Landfill PVC B250</i>	<i>BUWAL250</i>	Anexo 3
Aço	<i>Steel (inert) to landfill S</i>	<i>ETH-SEU 96 System Processes</i>	Anexo 3

### 3.4.3 Avaliação de Impacto

A avaliação de impacto foi realizada utilizando-se o programa computacional SimaPro versão 7.0 [51]. O programa calcula as etapas de caracterização, normalização e ponderação. Na etapa de caracterização, as contribuições para cada problema ambiental são quantificadas. Cada impacto ambiental é convertido em um indicador de categoria e representado algebricamente [Erro: Origem da referência não encontrado]. A normalização é realizada dividindo-se os valores dos indicadores de impacto por uma base comum. Na etapa de ponderação, os resultados obtidos podem ser agrupados, reordenando as categorias de impacto, segundo uma dada hierarquia, por exemplo, alta, média ou baixa prioridade. Os valores para cada uma destas etapas estão relacionados ao método de avaliação selecionado.

O fato de o estudo concentrar-se na avaliação comparativa de desempenho ambiental de dois produtos, nas etapas de manufatura, uso e descarte, remeteu à definição de um método que considera a geração de resíduos na avaliação dos impactos ambientais. Além disso, entendeu-se que os perfis de impacto fossem constituídos por indicadores do tipo *midpoint*, e, para tanto, selecionaram-se as seguintes categorias de impacto: aquecimento global, depleção da camada de ozônio, toxicidade humana, ecotoxicidade aquática, acidificação, eutrofização, metais pesados, carcinogênicos, recursos energéticos, e resíduo sólido, por serem as que apresentam maior correlação com os efeitos potenciais. Diante de tal decisão, dentre os modelos existentes, aquele cuja concepção mais se enquadra nesse perfil é o Eco-indicador 95 (EI'95), cujas características foram apresentadas na revisão bibliográfica.

Os resultados do SimaPro, usando esse método, são mostrados em fluxogramas que apresentam caixas em diferentes cores, nos quais as caixas amarelas identificam o

ciclo de vida dos produtos, as caixas azuis constituem um *assembly* (montagem), sendo que, a esses *assemblys*, estão ligadas as caixas cinza que identificam os processos que constituem a etapa de manufatura, a etapa de uso e a etapa de descarte. Em cada uma das caixas está apresentada a respectiva distribuição percentual das principais fontes de impactos, bem como, os bancos de dados usados para os cálculos. A interpretação comparativa dos dados foi feita a partir do ícone “compare” disponibilizado pelo programa, onde selecionou-se a ACV dos dois processos e, em seguida, o ícone. Assim, obtém-se os dados na forma de tabela e gráfico, para proceder a análise.

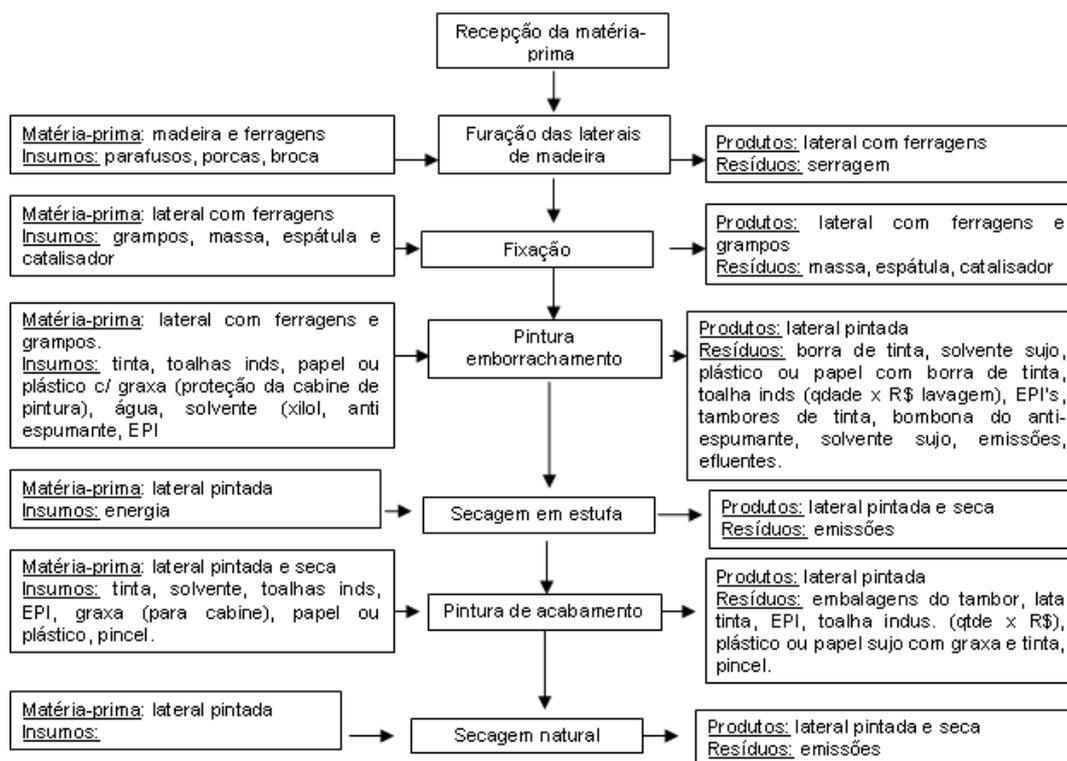
## **4. Resultados e Discussão**

Nesse Capítulo, são apresentados os resultados obtidos, a partir da aplicação da metodologia ora descrita para os produtos conjunto de painéis de madeira e conjunto de painéis multilaminar para fabricação de caixa de carga de um semi-reboque bitrem graneleiro, e é feita a discussão destes resultados no que se refere aos efeitos sobre o meio ambiente e sobre a saúde humana. Por meio dessa abordagem, pretende-se atingir os objetivos propostos nessa dissertação.

### **4.1 Caracterização dos Processos Produtivos**

#### **Processo de fabricação de caixas de carga em painéis de madeira**

A Figura 1 apresenta sumariamente as etapas do processo de fabricação do painel de madeira, bem como entradas e saídas, as quais foram identificadas e subsidiaram as definições subseqüentes em relação a análise comparativa de desempenho ambiental.



**Figura 1** - Fluxograma do processo de fabricação do painel de madeira

As etapas que compõem o processo de fabricação do painel de madeira podem ser individualmente caracterizadas como sendo:

*Recepção da matéria-prima:* o painel de madeira era feito com matéria-prima denominada compensado naval. Esse material é adquirido previamente manufaturado por terceiros, não representando impacto ambiental interno para a empresa.

*Furação:* consistia em furar o painel, utilizando como equipamento uma furadeira pneumática, para posterior fixação da estrutura metálica no painel. A estrutura metálica era responsável pela fixação dos painéis no semi-reboque, formando as laterais da caixa de carga. Para assegurar que a furação fosse realizada nos locais corretos, conforme definição do projeto de engenharia, a mesma era realizada em um gabarito (modelo). Na etapa de furação, o principal resíduo gerado era a serragem, enviada para queima na caldeira de geração de vapor.

*Fixação:* consistia em fixar grampos, utilizando como equipamento uma grampeadeira pneumática. Nesta etapa também eram feitas correções das pequenas imperfeições da madeira utilizando massa plástica, originando, como resíduos, as embalagens dessa massa e as embalagens plásticas do catalisador usado como reagente na massa, ambas destinadas para aterro de resíduos não perigosos.

*Pintura emborrachamento:* a estrutura metálica, nessa etapa já montada no painel, recebia uma pintura com *primer* em outro setor da empresa. O painel de madeira e a estrutura metálica recebiam pintura com tinta látex, base água, comumente denominada de tinta emborrachada. A pintura era realizada com sistema *spray*, utilizando pistola para aplicação, em cabine provida de sistema de exaustão e retenção das emissões geradas, através do sistema de cortina d'água. Essa etapa era crítica, em termos de impactos ambientais, devido aos diversos resíduos gerados, todos classificados como perigosos. Os principais eram os papéis e plásticos usados para proteção da cabine que eram trocados quinzenalmente. Também com a mesma frequência eram trocadas as águas usadas na cortina d'água, como forma de retenção das emissões. Esse efluente era encaminhado para a estação de tratamento, na qual, através de processos físico-químicos, eram removidos os contaminantes, e a água podia ser novamente lançada no meio ambiente. Esse processo de tratamento gerava o chamado lodo da ETE, também resíduo perigoso que posteriormente precisava ser destinado. Proveniente da limpeza quinzenal da cabine de pintura, era recolhida a borra de tinta, originada pela perda de aproximadamente 22 % de tinta. Esse resíduo era armazenado em tambores para posterior destinação, também como resíduo perigoso. Todos esses resíduos perigosos eram destinados para co-processamento, processo que consiste na destruição térmica dos resíduos em fornos de fabricação de cimento.

*Secagem em estufa:* consistia na introdução dos painéis com a estrutura metálica em uma estufa, visando à secagem da tinta sobre eles aplicada. O tempo de secagem era de

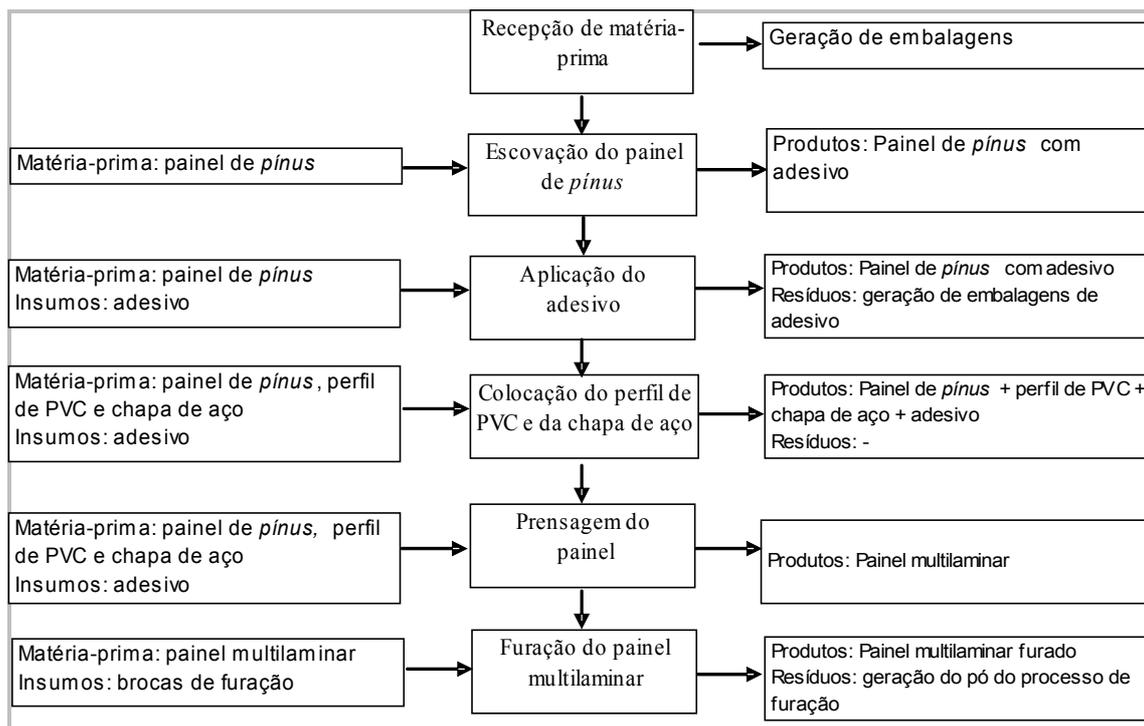
aproximadamente 30 minutos.

*Pintura de acabamento:* após a secagem da tinta, os painéis eram encaminhados para outra cabine de pintura, onde recebiam tinta acabamento, na cor definida pelo cliente. O processo era basicamente o mesmo, exceto o fato de a tinta ser base solvente, o que gerava um impacto ambiental ainda maior. O percentual de solvente presente na composição da tinta era em torno de 55 %, componente totalmente volatilizado e emitido para a atmosfera. A concepção da cabine de pintura era a mesma do sistema de pintura de emborrachamento, gerando papéis e plásticos contaminados e borra de tinta.

*Secagem natural:* processo de secagem da tinta, pela evaporação total do solvente, ao ar livre.

### **Processo de fabricação de caixas de carga em painéis multilaminares**

A Figura 2 apresenta sumariamente as etapas do processo de fabricação do painel multilaminar.



**Figura 2** - Fluxograma do processo de fabricação do painel multilaminar

As etapas que compõem o processo de fabricação do painel multilaminar podem ser individualmente caracterizadas como sendo:

*Recepção de matéria-prima:* o painel multilaminar era fabricado a partir de três diferentes matérias-primas adquiridas: o painel de *pinus*, a chapa de aço e o painel de PVC. Nessa etapa, a geração de resíduos referia-se às embalagens de madeira (destinada para caldeira de geração de vapor), papel e plástico limpos (destinados para reciclagem).

*Escovação do painel de pinus:* primeiramente, o painel de *pinus* passava por um processo de escovação realizado pelo atrito de escovas de corda. O objetivo era retirar qualquer irregularidade, poeiras e sujidades que poderiam afetar as etapas posteriores de fabricação do painel. Nessa etapa, havia um sistema de exaustão que promovia a retirada do pó de madeira e os transportava para um sistema de retenção. Quando realizada a limpeza do sistema, o resíduo era enviado para a caldeira de geração de vapor.

*Aplicação de adesivo:* consistia na passagem do painel de *pinus* por rolos

impregnados com adesivo (produto de base poliuretânica) e aquecidos a uma temperatura de aproximadamente 130°C. O adesivo era o responsável pela fixação das chapas de aço e de PVC nas etapas posteriores. O painel de *pínus* se movimentava a uma velocidade constante, pré-definida, que garantia a uniformidade da camada de adesivo. O processo era contínuo e a movimentação era feita pela mesa transportadora que transferia o painel para a próxima etapa.

*Revestimento com chapa de aço e chapa de PVC:* o painel de *pínus* com adesivo era transferido para uma mesa de vácuo onde já estava previamente posicionado o painel de PVC. Nesse mesmo local, havia um dispositivo que promovia o fechamento das laterais desse painel de PVC. Na seqüência, o painel recebia a chapa de aço e era transferido para a etapa posterior.

*Prensagem do painel:* após receber os três componentes, o painel passava por um equipamento denominado de calandra para ser prensado, visando assegurar a adesão da chapa de PVC, da chapa de aço e do painel de *pínus*.

*Impressão:* era realizada para permitir a rastreabilidade dos painéis. O resíduo gerado nesta etapa era o cartucho de impressão.

*Furação:* consistia em furar o painel utilizando como equipamento uma furadeira pneumática para posterior fixação da estrutura metálica no painel. A estrutura metálica é responsável pela fixação dos painéis no semi-reboque, formando as laterais da caixa de carga. Para assegurar que a furação fosse realizada nos locais corretos, conforme definição do projeto de engenharia, a furação dos painéis era feita em um gabarito (modelo). Na etapa de furação, o principal resíduo gerado era a mistura de serragem de madeira, PVC e metal, enviada para aterro de resíduos não perigosos.

*Pintura de acabamento:* a chapa metálica que compõe o painel multilaminar era adquirida de terceiros e já era recebida pré-pintada, nas cores azul, vermelho e branco. A

estrutura metálica, que nessa etapa já está fixada ao painel, também foi adquirida pintada, utilizando processo de pintura *e-coat*, por imersão, base d'água, onde os níveis de solvente e borra de tinta eram muito baixos, na ordem de 2 %. Para os produtos solicitados pelo cliente nas cores acima, o painel já estava pronto para constituir a lateral da caixa de carga do semi-reboque. Para os produtos solicitados em cores diferentes de azul, vermelho e branco, o painel passava pelo processo de pintura de acabamento, com tinta base solvente, apresentando os mesmos impactos ambientais citados na etapa de pintura de acabamento do painel de madeira. A cabine de pintura também possuía sistema de retenção via úmida, com um equipamento com concepção mais elaborada, assegurando emissão externa de material particulado a níveis inferiores a 10 ppm.

Comparando os dois processos, a diferença na troca dos painéis consiste basicamente nas matérias-primas, no incremento da etapa de prensagem dos painéis multilaminares e na exclusão de uma etapa de pintura, a de emborrachamento.

#### **4.2. Balanço de massa**

Os dados de balanço de massa obtidos para entrada de matérias-primas e insumos para o painel de madeira estão apresentados na Tabela 1, usando-se os valores de massa por área ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ). No período de dez dias úteis foram trabalhados  $116476 \text{ m}^2$  de painéis, sendo que para a fase de pintura considera-se o dobro da área, pois os painéis são pintados em ambos os lados. Na 1ª coluna da Tabela 15, estão apresentadas as fases do processo de fabricação do painel de madeira. Os dados apresentados na 2ª coluna referem-se ao somatório total em kg (massa) de todas as entradas nas diferentes etapas do processo durante dez dias estudados. A 3ª coluna da tabela apresenta o resultado da divisão da massa pela área processada. Por exemplo,  $1218338,96 \text{ kg}$  de compensado dividido por  $116476$

m<sup>2</sup>. O valor apresentado na 3<sup>a</sup> coluna foi multiplicado pela área de um britrem graneleiro (53,754 m<sup>2</sup>), obtendo-se como resultado os dados apresentados na 4<sup>a</sup> coluna. Para obter a 5<sup>a</sup> coluna, os valores de massa para cada produto foram multiplicados por 5, correspondendo às reposições da caixa de carga com painel de madeira ao longo da vida útil do semi-reboque, definida como 10 anos.

**Tabela 1 - Entrada de matérias-primas e insumos para processamento do painel de madeira**

Fases do Processo	Entrada de matérias-primas e insumos (kg *)	Matérias-primas e insumos pela área total processada (kg/m <sup>2</sup> **)	Matérias-primas e insumos para um bitrem com 53,754 m <sup>2</sup> (kg/produto)	Matérias-primas e insumos na unidade funcional (kg/5 reposições)
<b>Fase - Furação</b>				
Compensado	1218338,96	10,46	562,27	2811,33
Viguetas	523049,10	4,49	241,39	1206,94
<b>Fase - Fixação</b>				
Grampos	91,20	0,01	0,30	1,49
Porcas	10479,04	0,64	34,19	170,94
Parafusos	55433,76	3,36	180,86	904,28
<b>Fase - Pintura***</b>				
Tinta emborrachada	104179,37	0,45	24,04	120,20
Água	139244,88	0,60	32,13	160,65
Massa plástica	105,34	0,00	0,02	0,12
Lixas	9,23	0,00	0,00	0,01
<b>Fase - Pintura de acabamento***</b>				
Tinta (alquídica+extra-rápido)	67399,51	0,29	7,78	38,88
Água	139244,88	0,60	16,07	80,33
Área total processada nas etapas de furação e fixação: 116476,0 m <sup>2</sup>				
Área total processada nas etapas de pintura: 232952,0 m <sup>2</sup>				

\* Dados obtidos da observação da produção de 10 dias úteis com quantificação de todos os materiais.

Conversão: 10,46 kg = 0,014 m<sup>3</sup> de madeira.

\*\* Valor obtido pela divisão da quantificação pelo valor de área processada no período (116476,0 m<sup>2</sup>).

\*\*\* O cálculo se refere à pintura realizada nos dois lados dos painéis (232952,0 m<sup>2</sup>).

Os dados de balanço de massa para geração de resíduos para o painel de madeira estão apresentados na Tabela 2. As colunas correspondem às mesmas descrições apresentadas para a Tabela 15, sendo que, nesse caso, se aplica à geração de resíduos.

**Tabela 2- Geração de resíduos no processamento do painel de madeira**

Fases do Processo	Resíduos gerados no processamento (kg *)	Resíduos gerados pela área total processada (kg/m <sup>2</sup> **)	Resíduos gerados pelo processamento de um bitrem com 53,754 m <sup>2</sup> (kg/produto)	Resíduos gerados na unidade funcional (kg/5 reposições)
<b>Fase - Furação</b>				
Rejeito de compensado	27954,24	0,240000000	12,900960000	64,504800000
Rejeito de viguetas	1913,00	0,016423984	0,882854854	4,414274271
Resíduo de tinta	4542,16	0,038996531	2,096219553	10,481097764
Brocas quebradas	7,56	0,000064906	0,003488961	0,017444806
Parafusos danificados	290,60	0,002494935	0,134112713	0,670563567
Serragem (madeira de lei)	2179,50	0,018712009	1,005845350	5,029226751
Pregos	1,09	0,000009358	0,000503038	0,002515190
Porcas danificadas	49,18	0,000422233	0,022696708	0,113483538
<b>Fase - Fixação</b>				
Grampos	12,86	0,000110409	0,005934926	0,029674630
Massa plástica	105,34	0,000904392	0,048614705	0,243073524
Catalisador	4,36	3,74326E-05	0,002012152	0,010060761
Lixas	9,23	7,92438E-05	0,004259671	0,021298354
Massa plástica na embalagem	3,92	3,3655E-05	0,001809091	0,009045455
<b>Fase - Pintura***</b>				
a-Tinta emborrachada				
a'-Borra tinta com água	26604,43	0,11420563	6,139009454	30,69504727
a"-Borra tinta sem água (- 30%)	18623,10	0,079943937	4,297306387	21,48653193
Água da borra de tinta	7981,33	0,034261693	1,841703067	9,208515334
a"-Borra com papel	581,20	0,002494935	0,134112713	0,670563567
Xilol	125,68	0,00053951	0,029000836	0,145004179
b-Água de enchimento das cabines	133864,89	0,574645807	30,889510702	154,4475535
b'-Água para lavar cabines	28943,76	0,124247742	6,678813125	33,39406562
b"-Água de reposição	44139,23	0,189477789	10,185189092	50,92594546
<b>Fase - Pintura de acabamento***</b>				
Borra tinta (alquídica+extra-rápido)	16822,90	0,072216165	1,940953859	9,704769294
Emissão de solvente (Todos A)	6307,50	0,027076393	0,727732226	3,638661130
Emissão de solvente (Todos B)	19189,52	0,082375425	2,214004297	11,070021486
Água de enchimento da cabine	89266,95	0,383198899	10,299236818	51,496184088
Água para limpar cabine	8666,69	0,037203759	0,999925423	4,999627115
Água de reposição da cabine	41311,24	0,177337992	4,766313221	23,831566105
Papel para cabine	12,18	5,22854E-05	0,001405276	0,007026380
Área total processada nas etapas de furação e fixação: 116476,0 m <sup>2</sup>				
Área total processada nas etapas de pintura: 232952,0 m <sup>2</sup>				

\* Dados obtidos da observação da produção de 10 dias úteis com quantificação de todos materiais sendo que 10,46 kg = 0,014 m<sup>3</sup> de madeira.

\*\* Valor obtido pela divisão da quantificação pelo valor de área processada no período (116476,0 m<sup>2</sup>).

\*\*\* O cálculo se refere à pintura realizada nos dois lados dos painéis (232952,0 m<sup>2</sup>).

Para o painel multilaminar, os dados de balanço de massa para entrada de matérias-primas e insumos estão apresentados na Tabela 3 e referem-se ao levantamento realizado na semana 06 de fevereiro de 2006 e na semana 23 de junho de 2006 com o objetivo de verificar a interferência das condições climáticas (verão e inverno) na rejeição de painéis, pela influência da temperatura ambiente e pela umidade da madeira. Essa rejeição está contemplada na Tabela 4 referente às

saídas do processo de fabricação do painel multilaminar.

Na semana 06 foram trabalhados 3991,724 m<sup>2</sup> de painéis e, na semana 23, foram trabalhados 4304,079 m<sup>2</sup>. Diferentemente do painel de madeira, no painel multilaminar foi pintado apenas um dos lados.

Na 1<sup>a</sup> coluna da Tabela 3, estão apresentadas as fases do processo de fabricação do painel multilaminar. Os dados que figuram na 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> coluna referem-se ao somatório total em kg (massa) de todas as entradas nas diferentes etapas do processo durante os dias estudados. As colunas 4 e 5 apresentam o resultado da divisão da massa pela área processada. Esse resultado foi multiplicado pela área de um britem graneleiro (53,754 m<sup>2</sup>), obtendo-se os dados apresentados na 6<sup>a</sup> e 7<sup>a</sup> colunas. Para gerar a 8<sup>a</sup> e 9<sup>a</sup> colunas, os valores de massa para cada produto foram multiplicados por 1,43, correspondendo às reposições ao longo da vida útil da caixa de carga com painel multilaminar.

**Tabela 3 - Entrada de matérias-primas e insumos para processamento do painel multilaminar**

<b>Data do Balanço de massa</b>	<b>Fevereiro/2006 (semana 06)</b>	<b>Junho/2006 (semana 23)</b>	<b>Fevereiro/2006 (semana 06)</b>	<b>Junho/2006 (semana 23)</b>	<b>Fevereiro/2006 (semana 06)</b>	<b>Junho/2006 (semana 23)</b>	<b>Fevereiro/2006 (semana 06)</b>	<b>Junho/2006 (semana 23)</b>
<b>Fases do Processo</b>	<b>Entrada de matérias-primas e insumos</b>		<b>Matérias-primas e insumos pela área total processada</b>		<b>Matérias-primas e insumos para um bitrem com 53,754 m<sup>2</sup></b>		<b>Matérias-primas e insumos na unidade funcional</b>	
	<b>(kg *)</b>	<b>(kg #)</b>	<b>(kg/m<sup>2</sup> **)</b>	<b>(kg/m<sup>2</sup> ##)</b>	<b>(kg/produto)</b>		<b>(kg/1,43 reposições)</b>	
<b>Fase - Recepção de matéria-prima</b>								
Painéis de PVC	6147,25	6499,16	1,54	1,51	82,78	81,16	118,21	116,06
Chapa Metálica	13492,03	13600,88	3,38	3,16	181,69	169,86	259,45	242,90
Painéis de Pinus	19160,28	17130,23	4,80	3,98	258,02	213,94	368,45	305,93
<b>Fase - Escovação do painel de pinus</b>								
Energia								
<b>Fase - Aplicação de adesivos</b>								
Adesivo	146,00	157,42	0,04	0,04	1,97	2,04	2,81	2,92
Papel	236,17	230,54	0,06	0,05	3,18	2,88	4,54	4,11
<b>Fase - Revestimento com chapa de aço e PVC</b>								
Acetona	15,00	15,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,29	0,29
Cleaner	6,00	5,92	0,00	0,00	0,08	0,07	0,12	0,10
<b>Fase - Impressão</b>								
Cartucho Adesivo	12,00	12,00	0,00	0,00	0,16	0,16	0,23	0,23
<b>Fase - Pintura</b>								
Tinta	1296,14	1408,25	0,32	0,33	17,45	17,58	24,92	25,15
Água de enchimento da cabine	2500,00	2500,00	0,63	0,63	33,67	33,67	48,07	48,07
Água para limpar cabine	300,00	325,00	0,08	0,07	4,04	4,06	4,12	5,80
Água de reposição da cabine	1250,00	1190,00	0,31	0,28	16,83	14,86	24,04	21,25
Papel contaminado com graxa	18,21	18,21	0,00	0,00	0,25	0,25	0,35	0,35
<b>Fase - Vedação</b>								
Borracha	641,70	664,57	0,16	0,15	8,06	8,29	12,36	11,86
Área total processada na semana 6: 3991,724 m <sup>2</sup>								
Área total processada na semana 23: 4304,079 m <sup>2</sup>								

\* Dados obtidos da observação da produção de 5 dias úteis na semana 06 com quantificação de todos materiais

\*\* Valor obtido pela divisão da quantificação pelo valor processado no período (3991,724 m<sup>2</sup>)

# Dados obtidos da observação da produção de 5 dias úteis na semana 23 com quantificação de todos materiais sendo que 10,46 kg = 0,014 m<sup>3</sup> de madeira.

## Valor obtido pela divisão da quantificação pelo valor processado no período (4304,079 m<sup>2</sup>)

Os dados de balanço de massa para geração de resíduos do painel multilaminar estão apresentados na Tabela 4. Essa tabela demonstra também a quantidade de rejeitos (painéis descartados) em cada uma das semanas.

**Tabela 4 – Geração de resíduos no processamento do painel multilaminar**

Data do Balanço de massa	Fevereiro/2006 (semana 06)	Junho/2006 (semana 23)	Fevereiro/2006 (semana 06)	Junho/2006 (semana 23)	Fevereiro/2006 (semana 06)	Junho/2006 (semana 23)	Fevereiro/2006 (semana 06)	Junho/2006 (semana 23)
Fases do Processo	Resíduos gerados no processamento		Resíduos gerados pela área total processada		Resíduos gerados pelo processamento de um bitrem com 53,754 m <sup>2</sup>		Resíduos gerados na unidade funcional	
	(kg *)	(kg #)	(kg/m <sup>2</sup> **)	(kg/m <sup>2</sup> ##)	(kg/produto)		(kg/1,43 reposições)	
<b>Fase - Recepção de matéria-prima</b>								
Geração de embalagens de madeira, papel e plástico	15,80000	17,59000	0,00396	0,00409	0,21277	0,21968	0,30383	0,31414
<b>Fase - Escovação do painel de pinus</b>								
Geração de pó de madeira	50,00000	46,00000	0,01253	0,01069	0,67332	0,57450	0,96150	0,82153
<b>Fase - Aplicação de adesivos</b>								
Adesivo								
Embalagens de adesivo	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Papel	236,17000	230,54000	0,05916	0,05356	3,18030	2,87900	4,54790	4,11730
<b>Fase - Revestimento com chapa de aço e PVC</b>								
Resíduo de adesivo e cleaner	39,00000		0,00977	0,00977	0,52518	0,52518	0,74995	0,74995
<b>Fase - Prensagem do painel</b>								
Resíduo de borracha	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
<b>Fase - Impressão</b>								
Cartucho Adesivo	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
<b>Fase - Furação</b>								
Serragem	2,49000	2,50000	0,00062	0,00062	0,03353	0,03353	0,04788	0,04788
<b>Fase - Pintura</b>								
Borra tinta	323,51000	330,54000	0,06432	0,07679	4,35650	4,12814	6,22109	5,90324
Emissão de solvente	369,02900	380,63000	0,10631	0,08843	4,96948	4,75370	7,09641	6,79780
Água de enchimento da cabine	2500,00000	2500,00000	0,00063	0,00063	33,66590	33,66590	48,07491	48,07491
Água para limpar cabine	300,00000	325,00000	0,00008	0,00755	4,03991	4,05895	5,76899	5,80430
Água de reposição da cabine	1250,00000	1190,00000	0,31315	0,27648	16,83295	14,86190	24,03746	21,25252
Graxa para cabine	17,98000	17,98000	0,00450	0,00450	0,24213	0,24213	0,34575	0,34575
Papel para cabine	0,23400	0,23400	0,00489	0,00489	0,00315	0,00315	0,00450	0,00450
<b>Fase - Vedação</b>								
Resíduo de Borracha	4,00000	3,20000	0,00100	0,00074	0,05375	0,03996	0,07676	0,05715
Painéis rejeitados na semana 6: 18 painéis		Painéis rejeitados na semana 23: 25 painéis						
Área total processada na semana 6: 3991,724 m <sup>2</sup>		Área total processada na semana 23: 4304,079 m <sup>2</sup>						

\* Dados obtidos da observação da produção de 5 dias úteis na semana 06 com quantificação de todos materiais

\*\* Valor obtido pela divisão da pesagem pelo valor processado no período (3991,724 m<sup>2</sup>)

# Dados obtidos da observação da produção de 5 dias úteis na semana 23 com quantificação de todos materiais sendo que 10,46 kg = 0,014 m<sup>3</sup> de madeira.

## Valor obtido pela divisão da pesagem pelo valor processado no período (4304,079 m<sup>2</sup>)

As colunas da Tabela correspondem às mesmas descrições apresentadas para a Tabela 17, sendo que, nesse caso, se aplica à geração de resíduos.

Pela Tabela 18, verifica-se que, na semana 06, no período de verão, a quantidade de painéis rejeitados na etapa de manufatura é igual a 18 correspondendo a 26,091 m<sup>2</sup>. Sobre a área total produzida no período de realização do balanço de massa (3991,724 m<sup>2</sup>), esse valor representa 0,6536 % da produção. Já para a semana 23, no período de inverno, os rejeitos correspondem a 36,2375 m<sup>2</sup>, que, sobre a área total produzida na semana, representam 0,8419 % da produção. Essa diferença é atribuída pela engenharia de manufatura da empresa, responsável pela pesquisa e desenvolvimento do processo, às variações de temperatura que ocasionam alterações nas características físico-químicas do PVC, fragilizando o mesmo, facilitando a ruptura, gerando rejeitos. Vale ressaltar que o valor máximo aceitável estabelecido pela engenharia quando da definição do processo era um índice de rejeição inferior a 2 %. Logo, os valores encontrados estão dentro do previsto, lembrando-se que deve haver uma constante busca pela eliminação dos rejeitos. Neste sentido, o processo tem apresentado melhorias desde sua implementação, através de ações de correção ou minimização das interferências de temperatura e umidade.

O uso da metodologia de balanço de massa permitiu verificar quanto de matéria-prima e de insumos foi usado na fabricação do semi-reboque graneleiro e quanto de resíduos foi gerado. De forma mais ampla e com aplicação mais abrangente, a unidade de medida definida (kg/m<sup>2</sup>) permitiu relacionar os dados para qualquer um dos diferentes comprimentos de semi-reboques fabricados ou, ainda, qualquer produto que possa vir a utilizar um dos processos de fabricação citados nesse trabalho.

A quantificação serviu para alimentar os dados de entrada e saída solicitados no programa computacional selecionado para executar a ACV. Os dados usados referem-se ao balanço realizado na semana 06, no período do verão, pois a diferença entre os dados,

quando comparados em kg/m<sup>2</sup> é muito pequena, basicamente atribuída às diferenças nas características da composição dos materiais, variações normais dentro dos limites especificados pela área de processo.

Para possibilitar uma análise comparativa dos dados de balanço de massa, foi elaborada a Tabela 5, com os principais itens de entrada a serem considerados para processamento de cada painel. Para o painel multilaminar, os valores apresentados referem-se à média das duas semanas de realização do balanço de massa. Nessa Tabela, não foi considerado o consumo de água e de energia, pois a análise dos mesmos será abordada na próxima etapa.

**Tabela 5 – Comparativo das principais matérias-primas e insumos para processamento dos painéis**

Matérias-primas e insumos	Painel de Madeira		Painel Multilaminar	
	Matérias-primas e insumos pela área total processada (Kg/m <sup>2</sup> **)	Matérias-primas e insumos na unidade funcional (Kg/5 reposições)	Matérias-primas e insumos pela área total processada (Kg/m <sup>2</sup> **)	Matérias-primas e insumos na unidade funcional (Kg/1,43 reposições)
Principais matérias-primas	10,4600	2.811,3342	9,1300	701,8068
Componentes metálicos	4,0059	1.076,6657	4,0005	307,5113
Tinta	0,7365	197,9490	0,3250	24,9822

Avaliando-se primeiramente os resultados comparativos do balanço de massa em kg/m<sup>2</sup>, verifica-se que a fabricação do painel de madeira apresenta um consumo maior de cada um dos itens apresentados. Nas principais matérias-primas, onde para o painel de madeira foi considerado o compensado naval e para o painel multilaminar o somatório do *pínus*, PVC e chapa metálica, a diferença de peso já era esperada, pois constitui um dos diferenciais do painel multilaminar. Nos componentes metálicos, a estruturação da caixa de carga do painel multilaminar não utiliza o insumo “grampos”, representando uma pequena redução em massa. Já para a tinta, o painel de madeira era pintado em ambos os lados, enquanto que o multilaminar em apenas um dos lados, pois no outro recebia o adesivo para fixação ao *pínus*. Além disso, no painel multilaminar, quem recebia a pintura era a chapa

metálica onde a absorção da tinta é inferior, quando comparada à madeira.

Ao se analisar os dados de consumo de matérias-primas na unidade funcional, ou seja, considerando a vida útil dos painéis, essa diferença passa a ser muito mais significativa, pois a caixa de carga com painel de madeira sofrerá 5 substituições ao longo da vida útil do semi-reboque (10 anos), enquanto que o painel multilaminar, 1,43 substituições.

Para avaliar a geração dos resíduos do processamento dos painéis, através dos resultados do balanço de massa, foi elaborado um comparativo apresentado na Tabela 6.

**Tabela 6 – Comparativo dos principais resíduos gerados no processamento dos painéis**

Resíduos	Painel de Madeira		Painel Multilaminar	
	Resíduos gerados pela área total processada (Kg/m <sup>2</sup> **)	Resíduos gerados na unidade funcional (Kg/5 reposições)	Resíduos gerados pela área total processada (Kg/m <sup>2</sup> **)	Resíduos gerados na unidade funcional (Kg/1,43 reposições)
Rejeito das principais matérias-primas	0,2400	64,5048		
Resíduo de tinta (borra de tinta)	0,1547	41,5787	0,0706	5,4268
Serragem	0,0187	5,0260	0,0131	1,0070
Insumos de acabamento	0,0010	0,2687	0,0108	0,8301
Emissão de solvente	0,1095	29,4303	0,0973	7,4793

Avaliando-se os resultados comparativos do balanço de massa, apresentados em kg/m<sup>2</sup> e na unidade funcional, para as respectivas reposições de painéis ao longo da vida útil do semi-reboque, conforme descrito quando apresentados os dados para os principais itens de entrada, verifica-se que a fabricação do painel de madeira apresenta uma geração maior de resíduos, exceto para os insumos de acabamento.

Nos rejeitos de matérias-primas não há resíduos para o painel multilaminar, pois nesse caso estão sendo considerados separadamente cada um dos componentes do painel (PVC, *pinus* e chapa metálica). Nesse balanço, nenhum deles foi rejeitado como elemento único, sendo contabilizados os rejeitos do compósito (painéis completos), cuja avaliação já foi realizada.

Para os demais resíduos do painel multilaminar, foi feita a média da geração nas

duas semanas.

Quanto à geração de borra de tinta, para o painel de madeira foram somados os resíduos da tinta de emborrachamento e da tinta de acabamento, identificadas na planilha do balanço de massa como borra de tinta sem água, borra com papel e borra alquídica mais extra-rápido. A maior geração de borra de tinta para o painel de madeira é justificada pelos motivos anteriormente apresentados no consumo de tinta.

Para a geração de serragem, não há diferença significativa entre os processos, sendo que em ambos é proveniente da etapa de furação.

Os insumos de acabamento considerados para o painel de madeira foram os resíduos de massa plástica e de lixas e, para o painel multilaminar os resíduos de adesivo, cleaner e borracha. Nesse caso, o painel multilaminar supera a geração do painel de madeira especialmente pela presença da borracha usada para vedação dos painéis.

Quanto à emissão de solvente, a justificativa segue a lógica da utilização de tinta, pois constitui um percentual de aproximadamente 55 % da composição da mesma.

De forma geral, pelos dados de balanço de massa pode-se dizer que o painel multilaminar apresenta desempenho ambiental superior ao painel de madeira por consumir menos matérias-primas e gerar menos resíduos.

Cabe ressaltar que a avaliação dos resultados dos impactos relacionados às principais matérias-primas e insumos (definidos no capítulo “Procedimento”) de cada processo, obtida através da utilização da ferramenta ACV, será descrita na etapa de avaliação de desempenho ambiental. A avaliação dos demais insumos não será realizada, pelos motivos apresentados quando da definição do procedimento.

Ainda a partir do balanço de massa, é possível consolidar os valores para alimentação do SimaPro na etapa de descarte ao longo da vida útil dos painéis, pois o mesmo corresponde ao consumo total de matérias-primas (materiais dos painéis) na

unidade funcional (última coluna das Tabelas). Para facilitar o entendimento, os valores estão apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7 – Massa total para descarte dos painéis**

Parâmetros	Matérias-primas e insumos para um bitrem com 53,754 m <sup>2</sup> (kg/produto)	Matérias-primas e insumos na unidade funcional
<b>Painel de Madeira</b>		
Compensado Naval	562,2668	2811,3342
<b>Painel Multilaminar</b>		
PVC	82,7812	118,3771
Chapa Metálica	181,6885	259,8146
<i>Pinus</i>	258,0192	368,9675

### 4.3 Consumo de água e energia

Os resultados para o consumo de água foram calculados a partir das tabelas do balanço de massa e estão apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8 – Consumo de Água para a etapa de manufatura dos painéis**

Processo	Consumo de Água (m <sup>3</sup> )	Geração de Efluente (m <sup>3</sup> )
<b>Painel de Madeira</b>		
Água de enchimento + água de reposição	321,308	408,61
Água de limpeza	87,302	
<b>Painel Multilaminar</b>		
Água de enchimento + água de reposição	72,11	77,88
Água de limpeza	5,77	

Para o painel de madeira, o consumo de água, considerando a vida útil total do semi-reboque, definida pela unidade funcional como sendo 10 anos, foi de 321,308 m<sup>3</sup>, com geração de efluente correspondente a 408,61 m<sup>3</sup>. Deve-se considerar que a água só foi usada no processo para os sistemas de retenção das emissões atmosféricas existentes nas cabines de pintura, sendo que toda a água que entrou, exceto a perda por evaporação não

contabilizada no balanço de massa, deixou o processo na forma de efluente, onde também foi agregada a água consumida na limpeza dos sistemas.

Para o painel multilaminar, o consumo de água, considerando a vida útil total do semi-reboque, definida pela unidade funcional como sendo 10 anos, foi de 72,11 m<sup>3</sup>, com geração de efluente correspondente a 77,88 m<sup>3</sup>. Para o resultado obtido, deve-se fazer as mesmas considerações que no processo anterior.

As diferenças de volume consumido no processo devem-se ao fato do painel de madeira passar por dois processos de pintura, enquanto que o painel multilaminar passa apenas por um. Além disso, esse consumo está diretamente relacionado às dimensões das cabines de pintura.

Quanto ao consumo de energia, considerando-se os equipamentos utilizados no processo produtivo de manufatura do painel de madeira, totalizou-se uma capacidade nominal de 190 kWh. Considerando-se os equipamentos utilizados no processo produtivo de manufatura do painel multilaminar, totalizou-se uma capacidade nominal de 119 kWh de consumo de energia. Os dados estão apresentados na Tabela 9.

**Tabela 9** – Consumo de Energia para a etapa de manufatura dos painéis

Processo/Equipamento	Capacidade Nominal (kW)	Consumo de Energia durante o Balanço de Massa (kWh)	Consumo por m <sup>2</sup> (kWh/m <sup>2</sup> )**
<b>Painel de Madeira</b>			
Geral	190	20006,4 *	0,171176**
<b>Painel Multilaminar</b>			
Aplicadora de adesivos	30	1580,4	
Mesa posicionadora	15	790,2	
Prensa de rolos	37	1950,36	
Exaustão	11	580,08	
Furadeira CNC	26	1370,28	
Total	119	6271,32 #	0,75596##

\* kWh = kW x 0,6 (eficiência) x 17,6 horas trabalhadas x 10 dias balanço de massa

\*\* 20006,4 kWh/116476 m<sup>2</sup>

# kWh = kW x 0,6 (eficiência) x 8,8 horas trabalhadas x 10 dias balanço de massa

## 6271,32 kWh/8295,803 m<sup>2</sup>

Logo, os dados lançados no SimaPro como consumo de energia na etapa de manufatura dos painéis, no processo identificado por montagem foram 0,171176 kWh/m<sup>2</sup> para o painel de madeira e 0,75596 kWh/m<sup>2</sup> para o painel multilaminar.

Essa etapa apresenta uma diferença significativa, ao comparar o processo do painel de madeira com o processo do painel multilaminar. No primeiro, a energia é consumida na etapa de furação e nas cabines de pintura. No segundo, há a introdução de um processo de prensagem e de aplicação do adesivo, responsáveis por um aumento no consumo de energia, apesar de terem sido definidos motores de alto rendimento visando à minimização desse impacto. Cabe salientar que o processo de secagem da tinta, aplicado aos painéis na etapa de pintura, era realizado em estufas alimentadas por vapor gerado na caldeira à lenha. Esse insumo energético não foi considerado em nenhum dos processos, pois não havia dados armazenados nos arquivos relativos ao painel de madeira, para serem comparados com os atuais. Além disso, nos dois processos, os painéis passavam apenas uma vez pela estufa: o multilaminar, por receber somente uma aplicação de tinta; e o de madeira que, apesar de receber duas camadas de tinta, na última, a secagem era feita ao ar livre, sem passar pela estufa. Logo, o consumo tenderia a ser muito semelhante, praticamente o

mesmo e desta forma não acarretaria grande variação na comparação dos dois materiais.

Fazendo-se uma avaliação do desempenho ambiental através da ferramenta balanço de massa, tem-se que, no consumo de matérias-primas, no consumo de água e na geração de resíduos, o painel multilaminar apresenta melhor desempenho ambiental quando comparado com o painel de madeira. Já para o insumo energia, o painel de madeira apresenta melhor desempenho ambiental. Numa avaliação global dos resultados do balanço de massa, o painel multilaminar supera o painel de madeira em termos de desempenho ambiental.

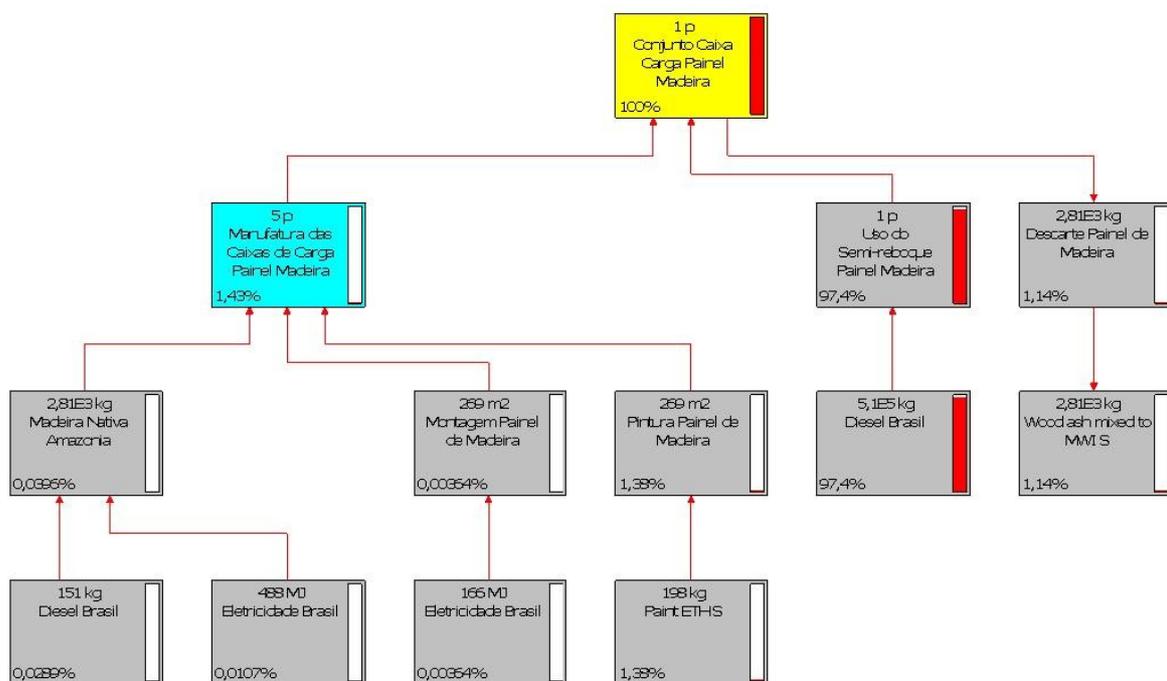
#### **4.4 Avaliação comparativa de desempenho ambiental aplicando ACV: Painel de madeira versus painel multilaminar**

A análise de ciclo de vida para o conjunto caixa de carga com painel de madeira e painel multilaminar, bem como um comparativo entre as duas é apresentada a seguir. Essa etapa pretende responder ao objetivo inicialmente definido, conseguindo-se visualizar qual dos materiais apresenta o melhor desempenho ambiental.

As Figuras 10 e 11 apresentam o fluxograma da análise de ciclo de vida obtida para os painéis de madeira e multilaminares respectivamente. Os fluxogramas apresentam a distribuição percentual das principais fontes de impactos, considerando as etapas de manufatura, uso e descarte dos painéis, utilizando o programa computacional SimaPro, o método Eco-Indicador 95 (EI'95) e os bancos de dados selecionados, alguns brasileiros e outros internacionais, mantidas as nomenclaturas originais, em inglês.

Nas Figuras 10 e 11, as caixas em amarelo identificam o ciclo de vida para um produto (1 p) formado pelo “conjunto caixa carga painel madeira” e pelo “conjunto caixa de carga painel multilaminar”, respectivamente. As caixas em azul constituem um *assembly* (montagem) identificado como a etapa de “manufatura das caixas de carga”, onde o “5 p” para o painel de madeira e “1,43 p” para o painel multilaminar representam a unidade funcional das caixas de carga, ou seja, as reposições que serão realizadas ao longo da vida útil do semi-reboque. A esses *assemblies* estão ligadas as caixas cinza que identificam os processos que constituem a etapa de manufatura, ou seja, a ACV da madeira nativa Amazônia, a montagem e a pintura, para o painel de madeira, e a ACV da madeira de reflorestamento, do PVC Brasil e do aço bruto Brasil, a montagem e a pintura, para o painel multilaminar, cada um com os respectivos valores correspondentes para o cálculo da análise de ciclo de vida.

Ao ciclo de vida do conjunto de caixa carga de cada painel (caixa amarela), estão ligados ainda os processos de “uso do semi-reboque”, onde “1 p” indica um produto semi-reboque, e o processo de “descarte” onde o valor apresentado correspondente ao total de madeira nativa usada na fabricação das caixas de carga ao longo da vida útil, para o painel de madeira, e ao total de madeira de reflorestamento, PVC e aço, ao longo da vida útil, para o painel multilaminar.



**Figura 3** - Fluxograma da ACV do semi-reboque com caixa de carga painel de madeira

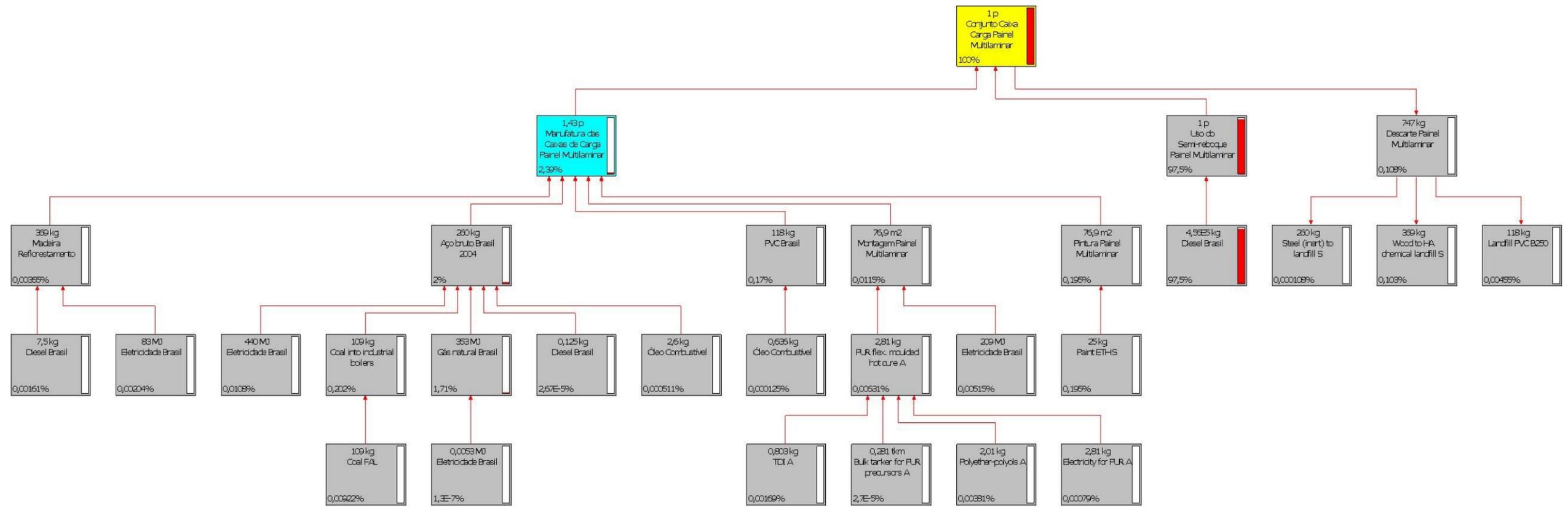


Figura 4 - Fluxograma da ACV do semi-reboque com caixa de carga painel multilaminar

A Tabela 10 apresenta o resultado do comparativo entre a análise de ciclo de vida de um conjunto de caixa de carga painel madeira com um conjunto de caixa de carga painel multilaminar.

**Tabela 10** - Comparativo ACV para um conjunto Caixa de Carga Painel Madeira com um conjunto Caixa de Carga Painel Multilaminar

No	Processos	Unidade	Conjunto Caixa Carga Painel Madeira	Conjunto Caixa Carga Painel Multilaminar
	Total dos Processos	Pt	321,661730	287,275700
1	Diesel Brasil	Pt	313,504760	280,116460
2	Gás natural Brasil	Pt	x	4,919410
3	Pintura ETH S	Pt	4,453437	0,561496
4	Carvão para aquecimento industrial	Pt	x	0,552629
5	PVC Brasil	Pt	x	0,489403
6	Madeira para aterro alta atividade química	Pt	x	0,296425
7	Aço bruto Brasil 2004	Pt	x	0,228273
8	Eletricidade Brasil	Pt	0,046213	0,051769
9	Carvão FAL	Pt	x	0,026494
10	Aterro PVC B250	Pt	x	0,013069
11	Poliol-polieter A	Pt	x	0,010937
12	TDI A	Pt	x	0,004858
13	Eletricidade para PUR A	Pt	x	0,002269
14	Óleo Combustível	Pt	x	0,001827
15	Aço (inerte) para aterro S	Pt	x	0,000310
16	Volume de abastecimento dos insumos para PUR	Pt	x	0,000077
17	PUR flex. Moldado cura quente A	Pt	x	0,000000
18	Pintura Painel Multilaminar	Pt	x	0,000000
19	Uso do Semi-reboque Painel Multilaminar	Pt	x	-
20	Montagem Painel Multilaminar	Pt	x	-
21	Madeira Reflorestamento	Pt	x	-
22	Descarte Painel Multilaminar	Pt	x	-
23	Madeira mista cinza (incinerador resíduos municipal)	Pt	3,657325	x
24	Uso do Semi-reboque Painel Madeira	Pt	-	x
25	Pintura Painel de Madeira	Pt	0,000000	x
26	Montagem Painel de Madeira	Pt	-	x
27	Madeira Nativa Amazonia	Pt	-	x
28	Descarte painel de madeira	Pt	-	x

Pt = pontos de impacto ambiental

Analisando os resultados obtidos e apresentados nas Figuras 10 e 11, verifica-se que o impacto considerado mais significativo está associado à etapa de uso que considera o consumo do óleo diesel em todas as viagens feitas ao longo de 10 anos de vida útil dos semi-reboques para transporte dos grãos. Considerando que a avaliação, a partir do método EI'95, é realizada sobre as categorias de impacto: aquecimento global, acidificação, metais pesados, carcinogênicos, *smog* de inverno e verão e utilização de recursos energéticos, há coerência nos resultados obtidos, pois o óleo diesel possui interferência sobre todas essas categorias pela emissão de dióxido de carbono e óxidos de enxofre.

A Tabela 10 mostra que o somatório dos processos envolvidos nas etapas avaliadas apresenta valor igual a 321,661730 Pt (indicador igual a 1,0) pontos de impacto ambiental para o painel de madeira, enquanto que para o painel multilaminar, o valor corresponde a 287,275700 Pt. Cabe esclarecer que o menor valor representa o melhor desempenho ambiental. Logo, em percentual, significa dizer que o painel multilaminar apresenta desempenho ambiental 10,69 % superior, se comparado ao painel de madeira, considerando as etapas de manufatura, uso e descarte, utilizando-se o método EI'95 para avaliação e todas as demais considerações citadas ao longo desse trabalho.

Conforme resultados da Tabela, pode-se constatar que os valores mais significativos estão atribuídos à etapa de uso do óleo diesel, conforme se verificou anteriormente. Para a diferença percentual, também há contribuição da etapa de descarte dos painéis de madeira enviados para incineração.

Na Tabela também é possível verificar que, no processo de pintura *Paint ETH S*, o painel de madeira é 87,39 % mais impactante que o multilaminar, resultado coerente, pois, no painel de madeira, a quantidade de tinta agregada era superior, com função de efeito de emborrachamento do painel, conferindo proteção superficial do substrato.

O gás natural, presente no painel multilaminar na produção do aço, representa impacto importante para o mesmo, não sendo constatada participação no painel de madeira pelos dados de entrada informados para o programa computacional.

Conforme pode-se visualizar na Figura 3, comparando as etapas para o painel de madeira, o maior impacto apresentado refere-se ao uso do semi-reboque representando 97,4 % do impacto total sobre o ciclo de vida do conjunto de caixas de carga com painel de madeira. A etapa de manufatura representa 1,43 %, e a etapa de descarte, 1,14 %.

Já para as etapas descritas no painel multilaminar e apresentadas na Figura 4, verifica-se que o maior impacto, da mesma forma que para o painel de madeira, refere-se à

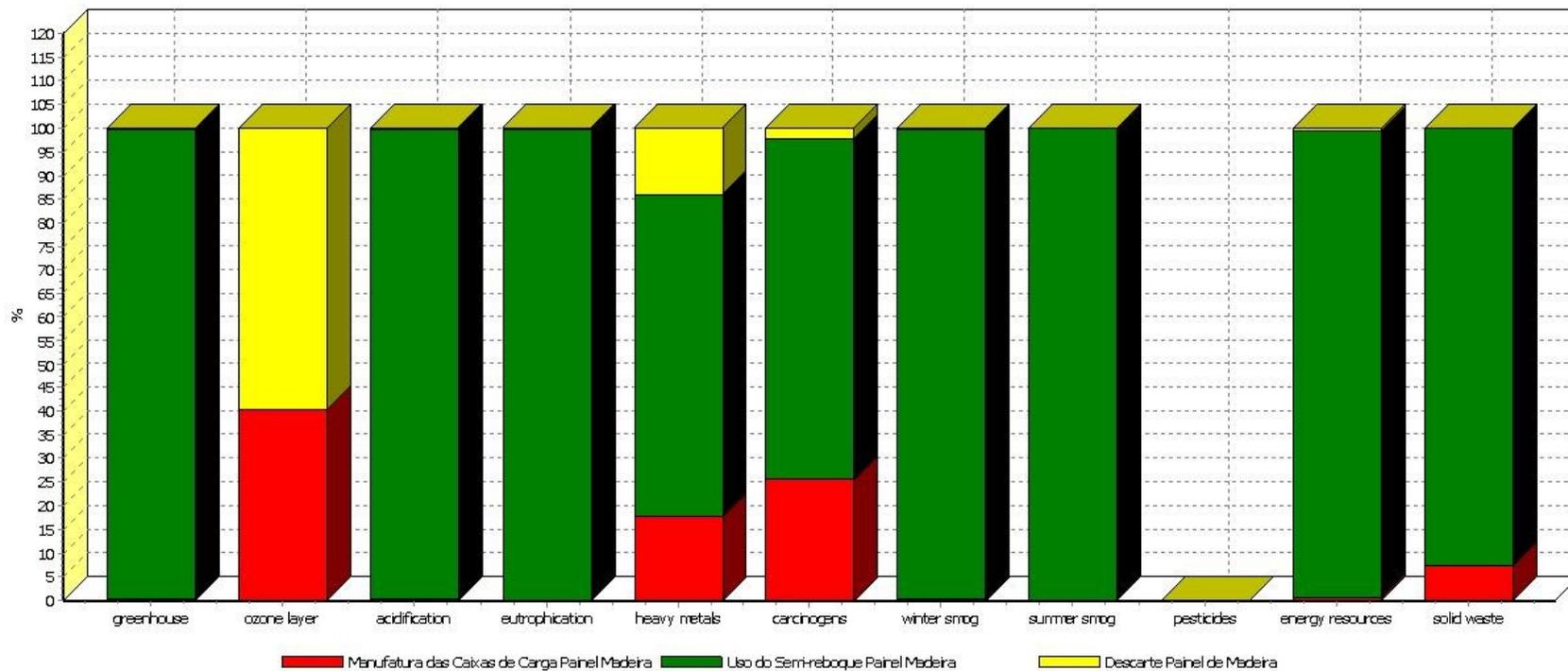
etapa de uso, representando 97,5 % do impacto sobre o ciclo de vida. Para as etapas de manufatura e descarte, os índices percentuais correspondem a 2,39 % e 0,108 %, respectivamente. É importante salientar que, na etapa de manufatura, 2 % do impacto está associado ao uso do aço, pela utilização do gás natural.

Em termos de categorias de impacto, é possível visualizar na Tabela 11 que, para ambos os painéis, os impactos mais críticos estão associados aos recursos energéticos e aquecimento global, seguidos pela acidificação, obviamente pela influência do uso do óleo diesel durante a etapa de uso do semi-reboque para transporte dos grãos.

**Tabela 11** - Comparativo entre as categorias de impacto para o conjunto caixa carga painel madeira e o conjunto caixa de carga painel multilaminar

Categoria de Impacto	Unidade	Conjunto Caixa Carga Painel Madeira	Conjunto Caixa Carga Painel Multi-Laminar
Aquecimento global	kg CO2	118.016,80	106.809,54
Camada ozônio	kg CFC11	0,00	0,00
Acidificação	kg SO2	1.823,49	1.628,52
Eutrofização	kg PO4	208,19	185,88
Metais pesados	kg Pb	0,23	0,15
Carcinogênicos	kg B(a)P	0,00	0,01
<i>Smog</i> Inverno	kg SPM	703,28	628,59
<i>Smog</i> Verão	kg C2H4	361,50	323,13
Pesticidas	kg act.subst	0,00	0,00
Recursos Energéticos	MJ LHV	1.323.268,50	1.175.900,00
Resíduos Sólidos	kg	656,62	614,83

A Figura 12 apresentada a relação entre as etapas de manufatura, uso e descarte com as categorias de impacto consideradas para o painel de madeira e, a Figura 13, para o painel multilaminar. Em ambas pode-se comprovar que o maior impacto é atribuído à etapa de uso do semi-reboque na figura representada pela cor verde. O vermelho representa a etapa de manufatura das caixas de carga e o amarelo a etapa de descarte dos painéis.

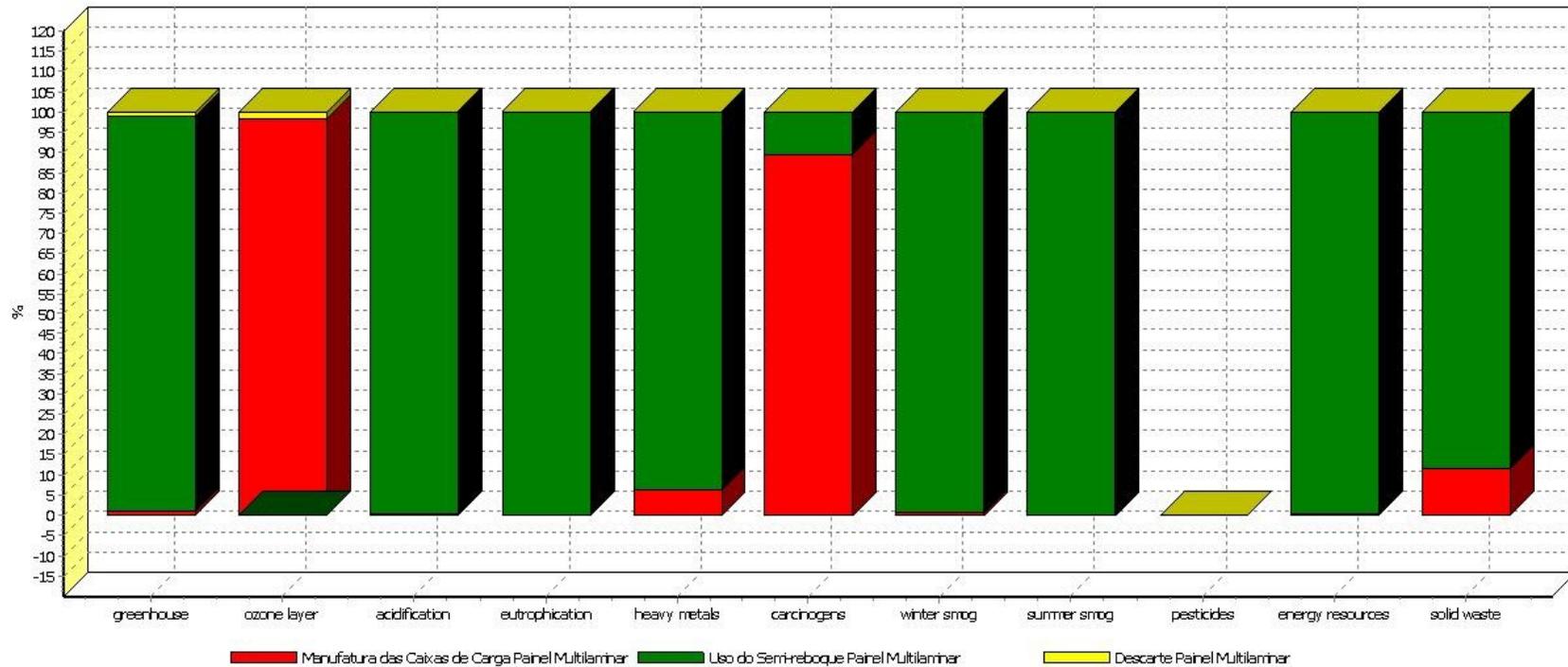


Analyzing 1.p life cycle 'Conjunto Caixa Carga Painei Madeira'; Method: Eco-indicator 95 V2.03 / Europe e / characterization

<i>Greenhouse</i> : gases efeito estufa (aquecimento global)	<i>Winter smog</i> : smog de inverno
<i>Ozone layer</i> : camada de ozônio	<i>Summer smog</i> : smog de verão
<i>Acidification</i> : acidificação	<i>Pesticides</i> : pesticidas
<i>Eutrophication</i> : eutrofização	<i>Energy resources</i> : recursos energéticos
<i>Heavy metals</i> : metais pesados	<i>Solid waste</i> : resíduos sólidos

*Carcinogens*: carcinogênicos

**Figura 5** - Categorias de impacto para o painel de madeira nas etapas de manufatura, uso e descarte



Analyzing 1 p life cycle 'Conjunto Caixa Carga Painel Multilaminar'; Method: Eco-indicator 95 V2.03 / Europe e / characterization

<i>Greenhouse</i> : gases efeito estufa (aquecimento global)	<i>Winter smog</i> : smog de inverno
<i>Ozone layer</i> : camada de ozônio	<i>Summer smog</i> : smog de verão
<i>Acidification</i> : acidificação	<i>Pesticides</i> : pesticidas
<i>Eutrophication</i> : eutrofização	<i>Energy resources</i> : recursos energéticos
<i>Heavy metals</i> : metais pesados	<i>Solid waste</i> : resíduos sólidos
<i>Carcinogens</i> : carcinogênicos	

**Figura 6** - Categorias de impacto para o painel multilaminar nas etapas de manufatura, uso e descarte.

O fato da etapa de uso, associada ao uso dos painéis do semi-reboque no transporte dos grãos, ter apresentado um impacto muito maior que as outras etapas, de forma a praticamente mascarar o impacto daquelas, e também, porque o maior interesse do trabalho é no desempenho ambiental dos materiais empregados, foi feita a separação das etapas e análise da etapa de manufatura, uso e descarte.

#### **4.4.1 Avaliação comparativa de desempenho ambiental na etapa de manufatura**

Na avaliação da etapa de manufatura, estão considerados os processos de entrada de madeira (nativa e de reflorestamento), PVC, aço, tinta, adesivo e energia consumida nos processos de montagem e pintura dos painéis, apresentados na Figura 7 e na Tabela 12.

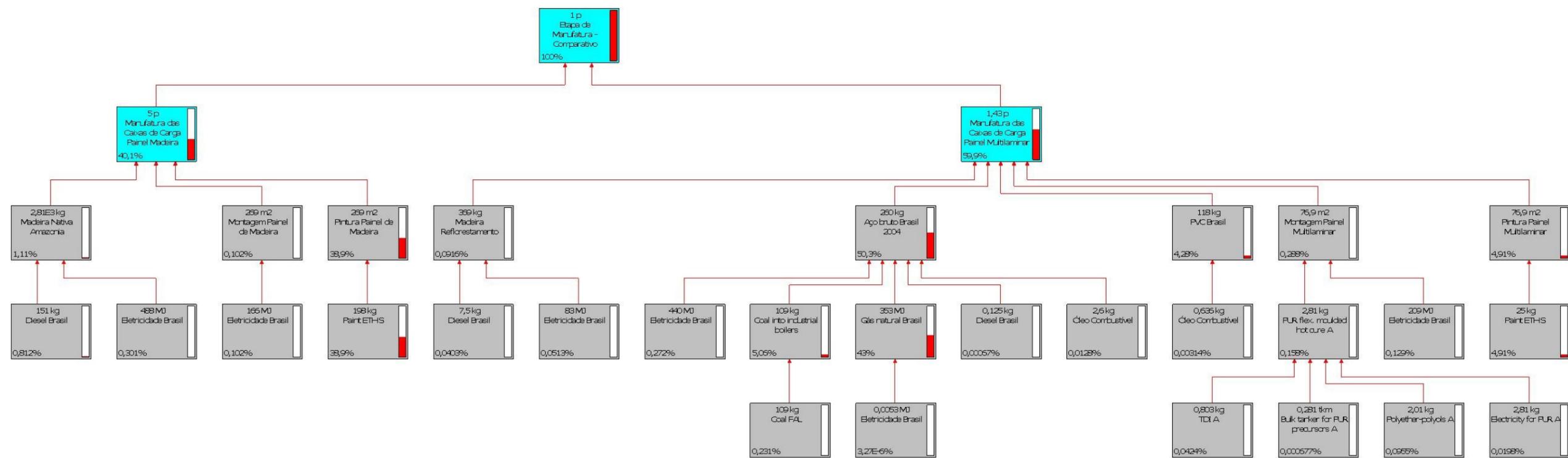


Figura 7 - Comparativo das etapas de manufatura para caixa de carga painel de madeira e caixa de carga painel multilaminar

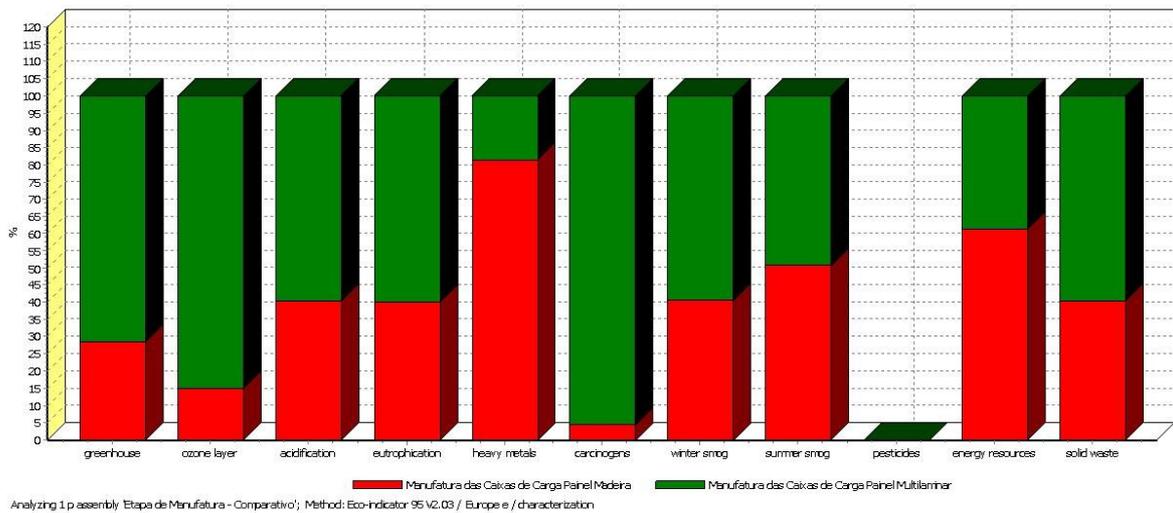
A avaliação comparativa entre os processos mostra que, na etapa de manufatura, o painel de madeira apresenta um percentual de 40,1 % do total dos impactos no cumprimento da unidade funcional, enquanto que, para o painel multilaminar, o impacto corresponde a 59,9 %. No processo do painel multilaminar, a produção do aço representa 50,3 % do impacto, em função da utilização do gás natural, e o processo de pintura, 4,91%. No processo do painel de madeira, a etapa de montagem é a responsável por 0,102 % dos impactos, a madeira 1,11 %, enquanto que 38,9 % são relativos ao processo de pintura, pela utilização da tinta.

Logo, de forma geral, na etapa de manufatura, o painel de madeira demonstra desempenho ambiental superior ao painel multilaminar, contrário ao resultado geral da avaliação de desempenho ambiental. Esse resultado está relacionado de forma significativa a utilização do gás natural, na produção do aço, justificado pelos dados de entrada considerados na ACV do gás natural, onde as fronteiras do sistema são mais abrangentes que os outros sistemas, conforme mostrado no Capítulo 3 - “Procedimento”.

**Tabela 12** - Comparativo das etapas de manufatura para caixa de carga painel de madeira e caixa de carga painel multilaminar

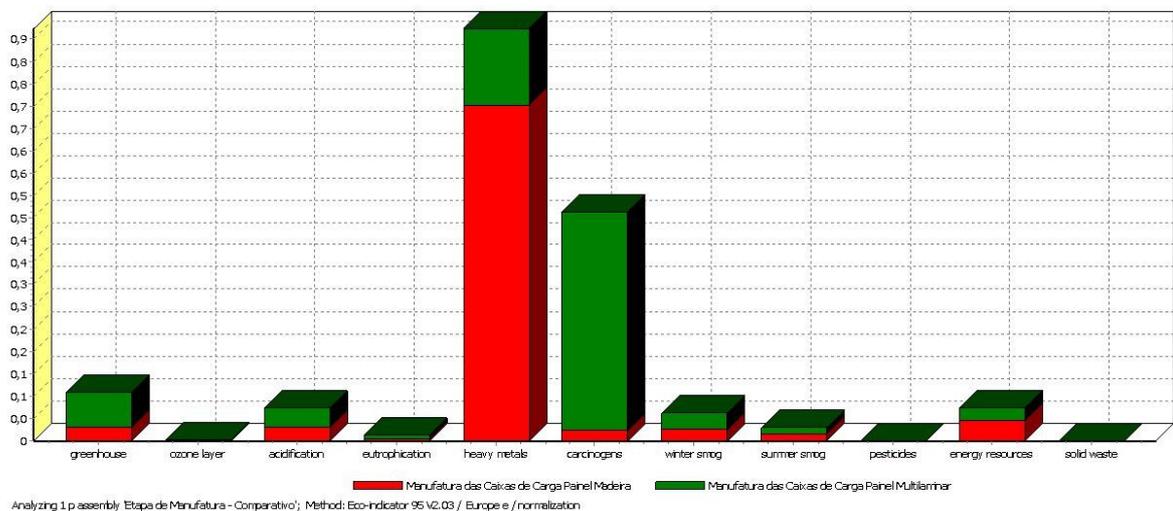
No	Processo	Unidade	Total	Caixas de Carga Painel Madeira	Caixas de Carga Painel Multilaminar
	Total dos Processos	Pt	11,732783	4,592639	6,854131
1	Pintura ETH S	Pt	5,014933	4,453437	0,561496
2	Gás natural Brasil	Pt	4,919410	0,000000	4,919410
3	Carvão para aquecimento industrial	Pt	0,552629	0,000000	0,552629
4	PVC Brasil	Pt	0,489403	0,000000	0,489403
5	Eletricidade Brasil	Pt	0,385824	0,000000	0,228273
6	Aço bruto Brasil 2004	Pt	0,228273	0,046213	0,051769
7	Diesel Brasil	Pt	0,097678	0,092988	0,004690
8	Carvão FAL	Pt	0,026494	0,000000	0,026494
9	Poliol-polieter A	Pt	0,010937	0,000000	0,010937
10	TDI A	Pt	0,004858	0,000000	0,004858
11	Eletricidade para PUR A	Pt	0,002269	0,000000	0,002269
12	Óleo Combustível	Pt		0,000000	0,001827
13	Volume de abastecimento dos insumos para PUR	Pt	0,000077	0,000000	0,000077
14	PUR flex. Mouldado cura a quente A	Pt	0,000000	0,000000	0,000000
15	Pintura Painel Multi-laminar	Pt	0,000000	0,000000	0,000000
16	Pintura Painel de Madeira	Pt	0,000000	0,000000	0,000000
17	Montagem Painel Multi-laminar	Pt	-	-	-
18	Montagem Painel de Madeira	Pt	-	-	-
19	Madeira Reflorestamento	Pt	-	-	-
20	Madeira Nativa Amazônia	Pt	-	-	-

Analisando-se conjuntamente os elementos nas categorias de impacto, verifica-se que o conjunto painel de madeira (representado pelo vermelho na Figura 15) apresenta impacto superior nas categorias de metais pesados, recursos energéticos, eutrofização, acidificação, resíduos sólidos e *smog* de verão. Em contrapartida, o conjunto painel multilaminar (representado pelo verde na Figura 15) apresenta impacto superior nas categorias de compostos carcinogênicos, camada de ozônio, gases do efeito estufa e *smog* de inverno, conforme apresentado Figura 8. É importante salientar que foi desconsiderada a categoria de pesticidas por apresentar resultado igual a zero.



**Figura 8** - Caracterização do inventário comparativo de desempenho ambiental para a etapa de manufatura

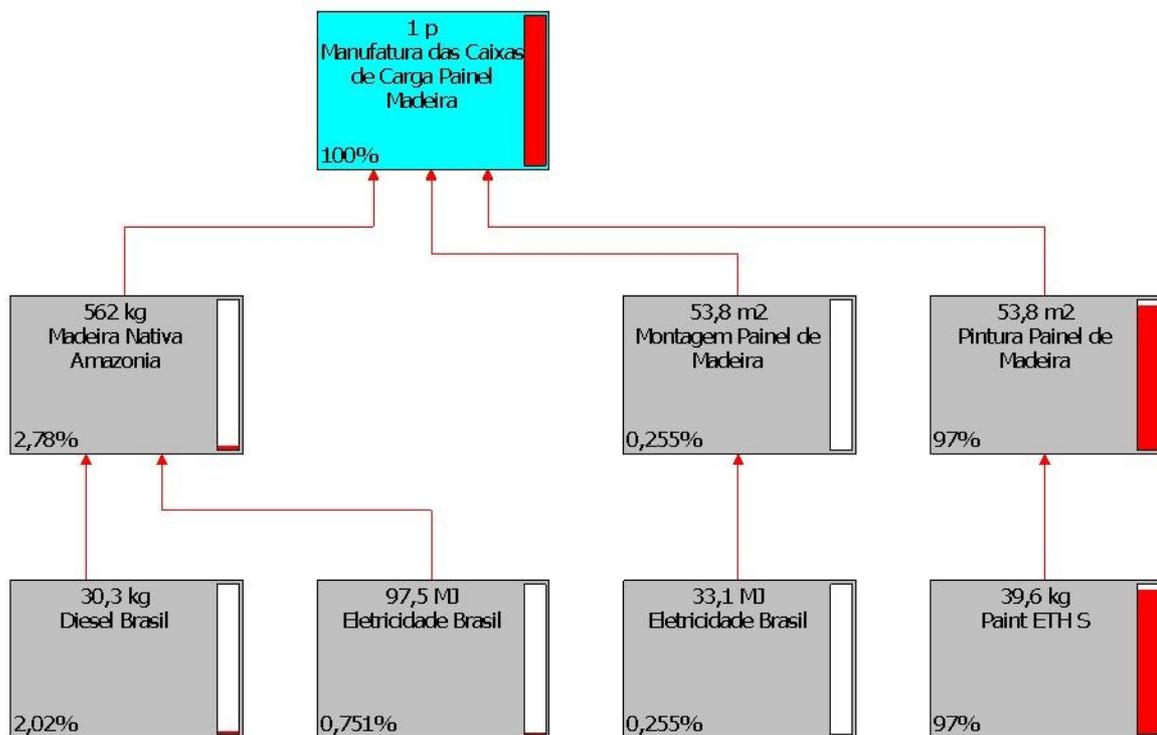
Aplicando-se a normalização à etapa anterior, lembrando que a mesma consiste em converter todos os indicadores de categoria a uma base única de referência, aos resultados obtidos na etapa anterior, tem-se que o painel de madeira causa impacto significativo na categoria de metais pesados, aparecendo ainda com expressão na categoria dos recursos energéticos e se equipara ao multilaminar na acidificação. O painel multilaminar tem impacto significativo na categoria dos carcinogênicos e levemente superior na categoria dos gases do efeito estufa. A Figura 9 apresenta esses dados.



**Figura 9** - Etapa de normalização aplicada ao comparativo de desempenho ambiental para a etapa de manufatura

A etapa de ponderação não foi aplicada aos resultados, pois o método prevê a formação de uma equipe multidisciplinar, o que não foi aplicado durante a execução desse trabalho. A ponderação consiste em atribuir pesos às categorias de impacto, segundo o grau de importância atribuído a cada uma delas. Essa é uma prática comum nas avaliações de impacto ambiental em que a equipe pode optar por atribuir maior importância para uma das categorias de impacto [Erro: Origem da referência não encontrado].

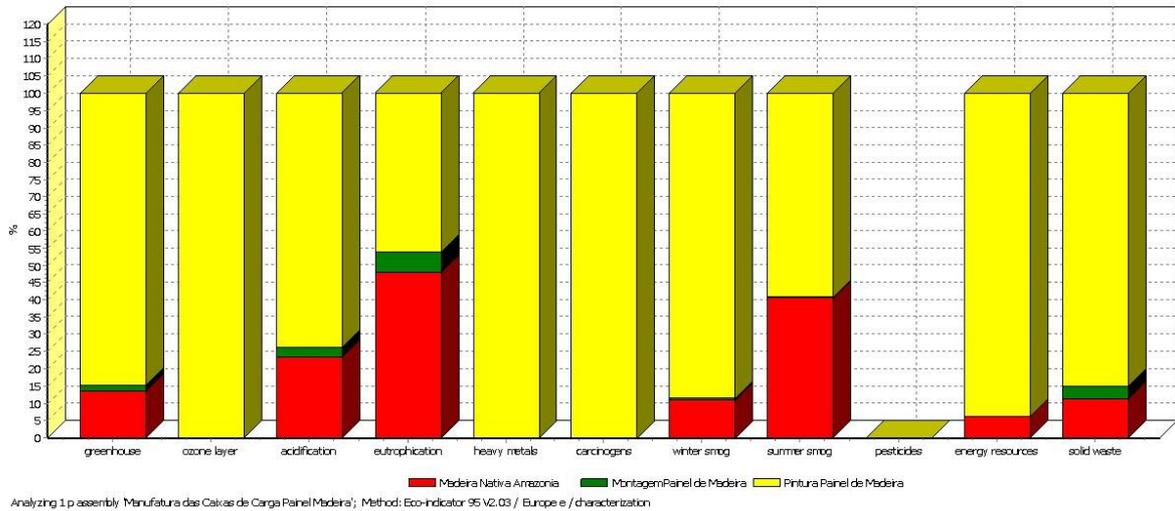
A Figura 10 apresenta a avaliação de impacto obtida para a manufatura dos painéis de madeira, mostrando que 97 % concentra-se no processo de pintura, 0,255 %, no processo de montagem e 2,78 %, no uso do recurso natural, a madeira.



**Figura 10** - Fluxograma da ACV da fase de manufatura do semi reboque com painel de madeira

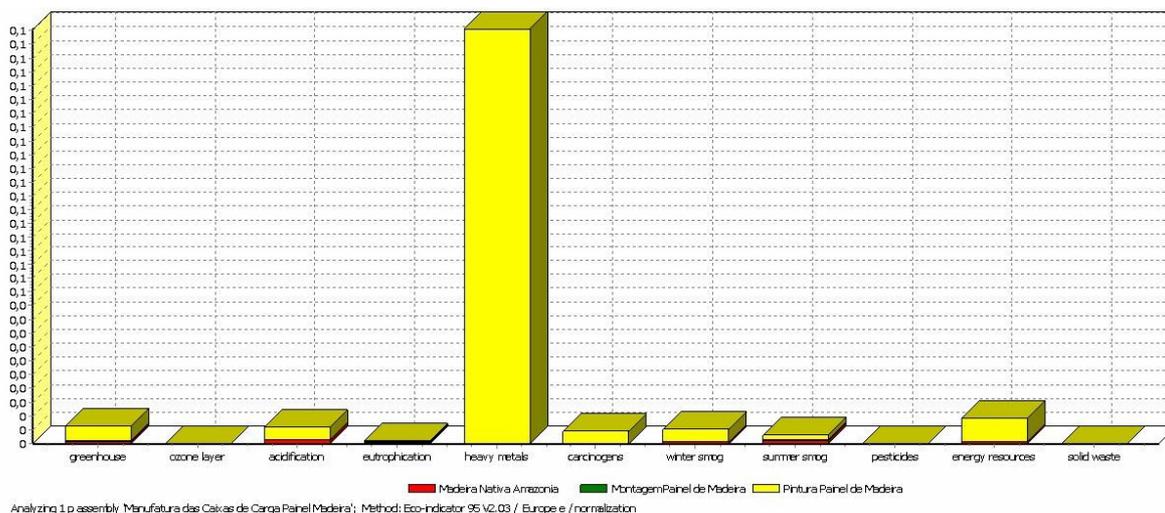
As principais categorias impactadas pela utilização da tinta, no processo de pintura, são: a da camada de ozônio, a de metais pesados e a dos carcinogênicos. Na primeira,

atribuída pela presença de diclorofluoretano e diclorofluormetano; na segunda, pela presença de cádmio e chumbo; e, na terceira, pela presença de benzeno e arsênio. Essa informação é obtida nas tabelas constantes no Anexo 4. Na Figura 11 estão representados os aspectos acima descritos, onde o vermelho representa a etapa de uso da madeira, o verde a etapa de montagem do painel e, o amarelo, a pintura do painel.



**Figura 11** - Categorias de impacto na etapa de manufatura do painel de madeira

Aplicando-se a normalização aos resultados obtidos na etapa anterior, tem-se que o painel de madeira causa impacto significativo na categoria de metais pesados, pela presença dos elementos acima citados, somados à presença de arsênio, manganês, mercúrio, níquel, dentre outros. A Figura 12 apresenta a normalização aplicada aos dados.



**Figura 12** - Normalização para a etapa de manufatura do painel de madeira

Após consulta ao boletim técnico e à ficha de informações de segurança do produto químico (FISPQ) da tinta, elaborados e fornecidos pelo fabricante, verifica-se que a mesma apresenta em sua composição básica resina alquídica, aromático 100 e 150, xileno, cromato/molibdato de chumbo, cromato de chumbo e cromato/sulfato de chumbo. Assim, é possível constatar a coerência dos dados relativos aos metais pesados.

Da mesma forma que para o semi-reboque de compensado, aqui também foi feita a avaliação da etapa de manufatura isoladamente. A Figura 20 apresenta os resultados para a manufatura do painel multilaminar. Os dados mostram que 84 % do impacto concentram-se no processo do aço, 8,19 %, na pintura, 7,15 %, no processo do PVC, 0,481 %, no processo de montagem e 0,153 %, na madeira de reflorestamento. No processo de utilização do aço, o maior contribuinte para o impacto é o gás natural (71,8 %), pelas considerações já argumentadas.

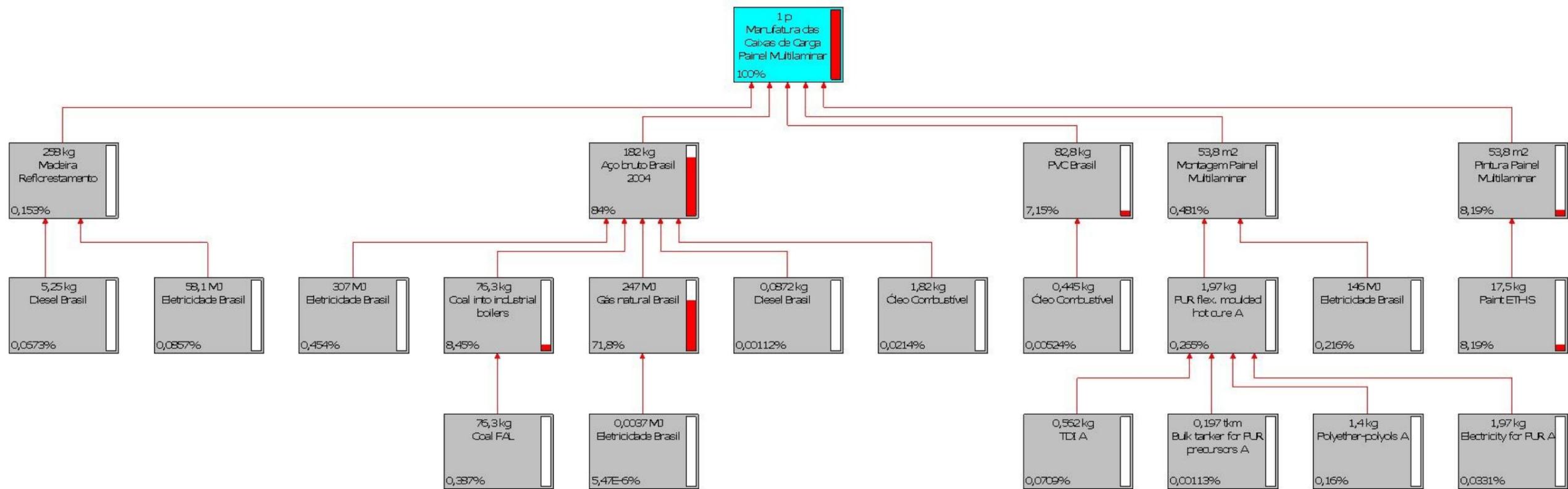
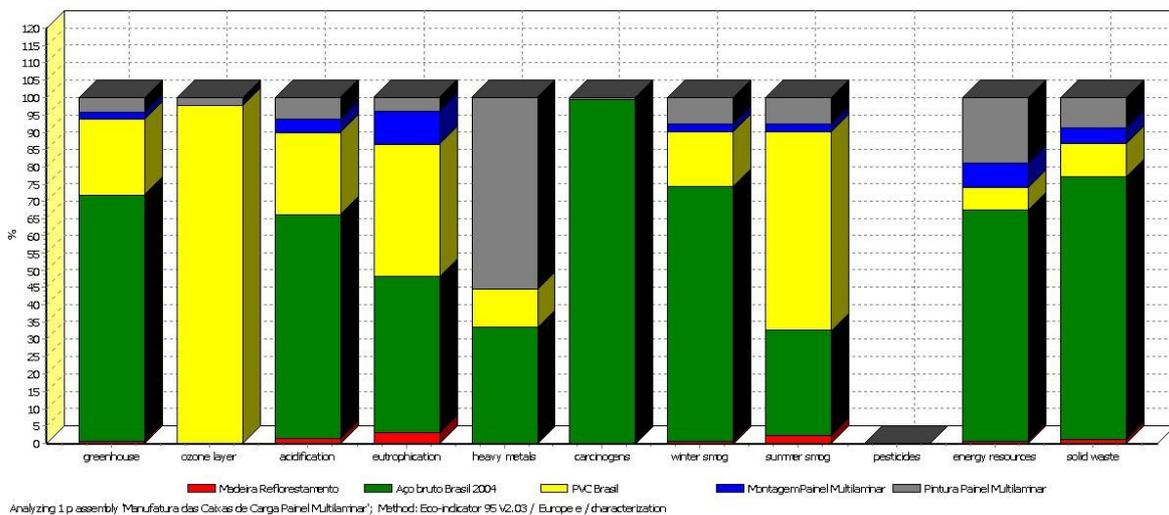


Figura 13 - Fluxograma da ACV da fase de manufatura do semi reboque com painel multilaminar

Para entender quais são as principais categorias impactantes na manufatura, especialmente na produção do aço pela utilização do gás natural, apresentam-se as mesmas estratificadas na Figura 14. As cores vermelho, verde e amarelo identificam respectivamente a utilização da madeira de reflorestamento, do aço bruto e do PVC. A cor azul identifica a etapa de montagem do painel e a cor cinza, a etapa de pintura.

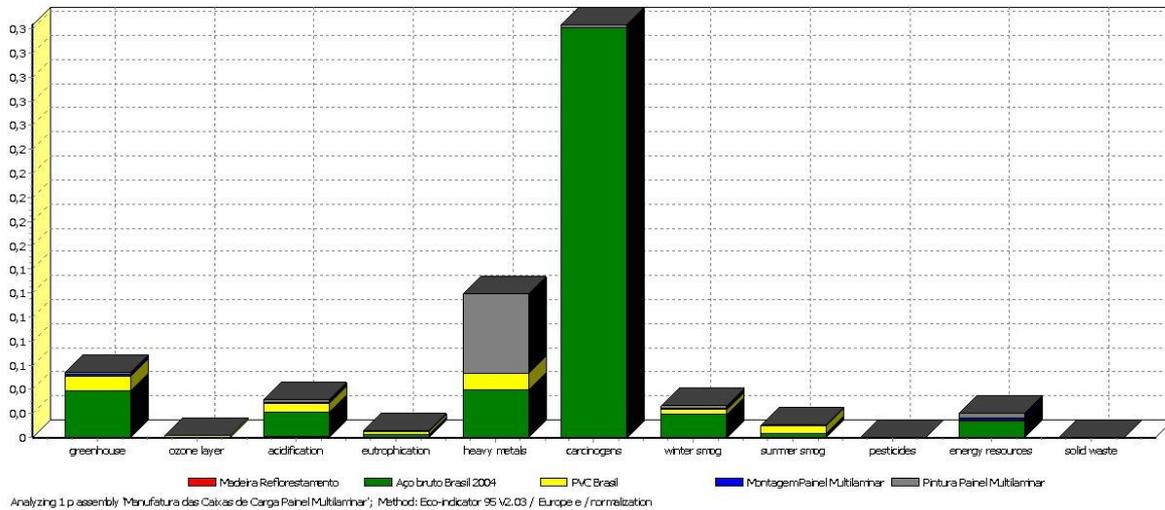


**Figura 14** - Categorias de impacto na etapa de manufatura do painel multilaminar

Fica evidente na análise da Figura 21 que, na categoria de carcinogênicos, o impacto total se deve à utilização do aço, sendo que o mesmo contribui de forma significativa também nas etapas de aquecimento global, acidificação, *smog* de inverno, recursos energéticos e resíduos sólidos. Cabe destacar o impacto significativo na camada de ozônio em função da produção do PVC, justificado pela presença do cloro, elemento referência nessa categoria. Como no painel de madeira, o uso da tinta no processo de pintura é o principal fator de impacto na categoria de metais pesados. Essas informações são evidenciadas nas Tabelas constantes no Anexo 5.

Aplicando-se a normalização aos resultados obtidos na etapa anterior, tem-se que o painel multilaminar causa impacto significativo na categoria de carcinogênicos,

metais pesados e aquecimento global, pelos fatores que já foram apresentados. A Figura 15 apresenta a normalização aplicada aos dados.

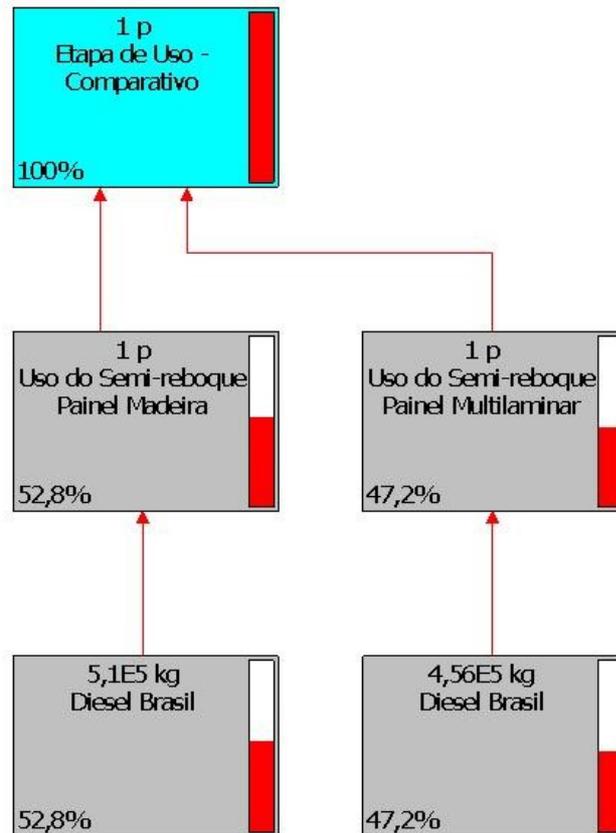


**Figura 15** - Normalização para a etapa de manufatura do painel multilaminar

Da mesma forma e pelos mesmos motivos que para o painel de madeira, a etapa de ponderação não foi aplicada ao painel multilaminar.

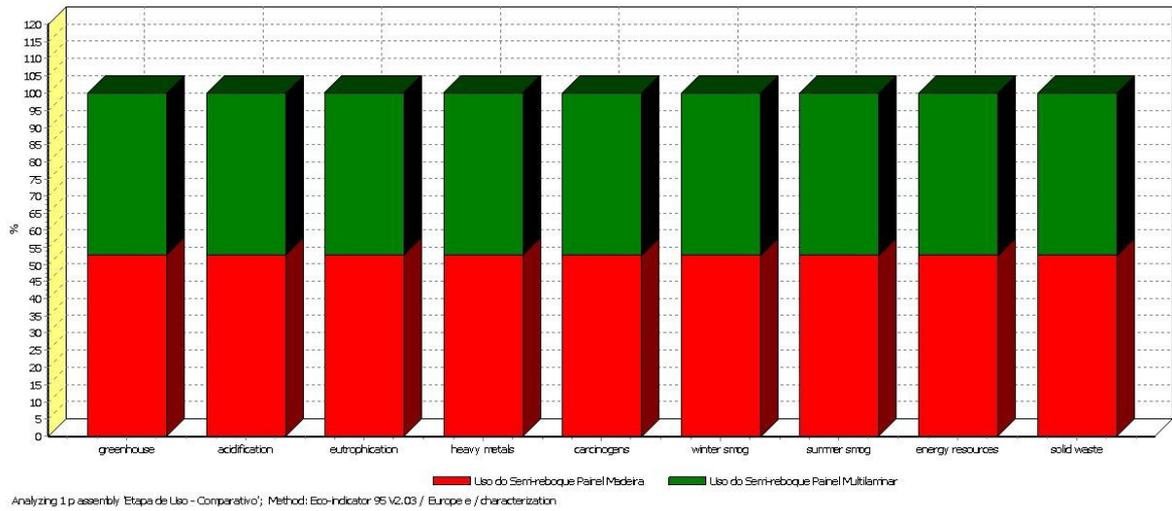
#### 4.4.2 Avaliação comparativa de desempenho ambiental na etapa de uso

A Figura 16 apresenta a avaliação de impacto obtida para o comparativo entre o conjunto da caixa de carga com painel de madeira e o conjunto da caixa de carga com painel multilaminar na etapa de uso, que compreende a utilização do óleo diesel, já que não foi possível a inserção de um banco de dados para a utilização dos pneus.



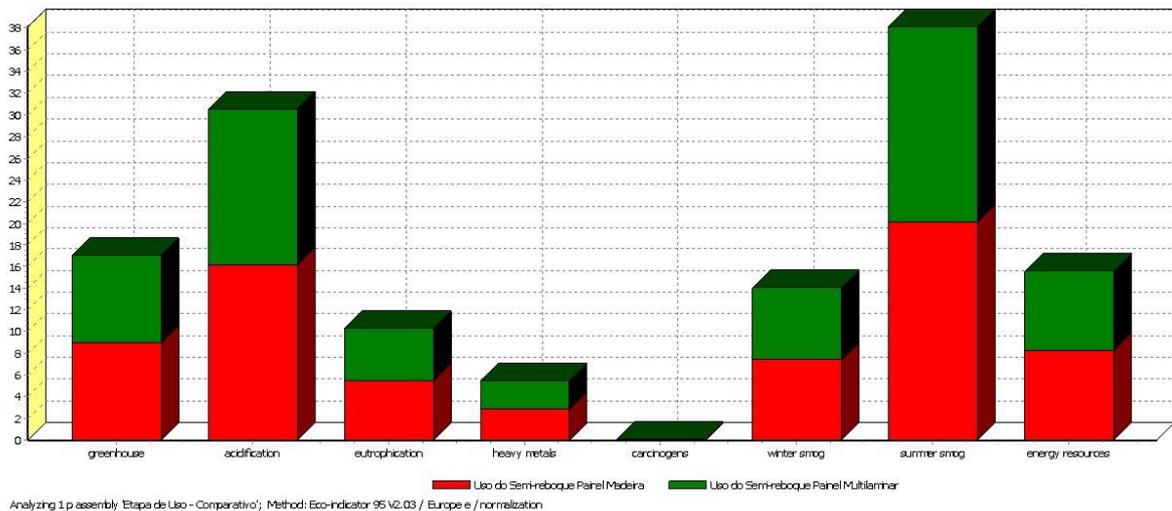
**Figura 16** - Comparativo das etapas de uso para semi-reboque painel de madeira e semi-reboque painel multilaminar

Como se pode visualizar, na etapa de uso, os painéis apresentam comportamento muito similar. A diferença de 5,6 % a menos para o painel multilaminar refere-se ao menor consumo de combustível ao longo da vida útil, devido à redução de peso e às vedações inseridas no produto, evitando a perda de grãos. As categorias camada de ozônio e pesticidas foram eliminadas da etapa de caracterização (Figura 17), pois não foram identificados impactos nas mesmas. Quanto às demais categorias, não faz sentido promover uma análise comparativa, pois, para todas elas, os valores correspondem a 50 % para cada tipo de painel, sendo que o vermelho representa o uso do semi-reboque painel de madeira e o verde o uso do semi-reboque painel multilaminar.



**Figura 17** - Caracterização do inventário comparativo de desempenho ambiental para a etapa de uso

A normalização dos resultados obtidos na etapa anterior mostra que os resultados concentram-se nas categorias de *smog* de verão de forma acentuada, seguida pela acidificação, gases do efeito estufa e recursos energéticos. A categoria de carcinogénicos não apresenta impacto (Figura 18).



**Figura 18** - Etapa de normalização aplicada ao comparativo de desempenho ambiental dos painéis na etapa de uso

Os dados associados à categoria de *smog* de verão referem-se aos hidrocarbonetos. Conforme é possível visualizar na Tabela 13, sobre o processo total, considerando as emissões atmosféricas, os hidrocarbonetos representam 87,7 % .

**Tabela 13 - Comparativo da etapa de uso**

No	Substância	Total	Uso Painel Madeira	Uso Painel Multilaminar
	Total do Compartimento	38,129170	20,134215	17,994955
1	Aldeídos não especificados	0,001754	0,000926	0,000828
2	Hidrocarbonetos não especificados	33,448865	17,662767	15,786098
3	Metano	0,001508	0,000797	0,000712
4	Metil Mercaptana	0,046714	0,024667	0,022046
5	NMVOC, não metano compostos orgânicos voláteis, origem não esp.	4,549494	2,402373	2,147121
6	VOC, compostos orgânicos voláteis	0,080835	0,042685	0,038150

Na etapa de uso, onde está considerado o desempenho da utilização do semi-reboque no transporte dos grãos, o painel multilaminar apresenta desempenho ambiental superior ao painel de madeira em função das diferenças de peso e de perda de grãos, resultando em menor consumo de óleo diesel.

#### 4.4.3 Avaliação comparativa de desempenho ambiental na etapa de descarte

A Tabela 24 apresenta os dados necessários para a avaliação da etapa de descarte. Recorre-se a ela para analisá-los, extraíndo-se somente os dados de descarte que agora formam a Tabela 14.

**Tabela 14 – Avaliação da etapa de descarte**

No	Processo	Unidade	Conjunto Caixa Carga Painel Madeira	Conjunto Caixa Carga Painel Multilaminar
1	Madeira para aterro alta atividade química	Pt	x	0,296425
2	Aterro PVC B250	Pt	x	0,013069
3	Aço (inerte) para aterro S	Pt	x	0,000310
4	Madeira mista com cinza (incinerador resíduo municipal)	Pt	3,657325	x

x – não aplicável

Conforme se visualiza na Tabela, somando-se os impactos relativos à disposição em aterro, prevista para o painel multilaminar, considerando os diferentes materiais que o compõem, tem-se um valor igual a 0,309804 Pt. Para o painel de madeira, tem-se que

o processo de incineração contribui com 3,657325 Pt, tornando-o mais impactante na etapa de descarte. Cabe salientar que há uma quantidade superior de painéis de madeira para destinação, quando comparada com a quantidade de painéis multilaminares ao longo da vida útil, em função das reposições, conforme apresentado na Tabela 18. Ressalta-se também que essa quantidade está contabilizada no somatório apresentado. Ainda é importante mencionar que a própria base de dados selecionada no programa computacional para essa etapa considera que os impactos do aterro podem ser, a longo prazo, mais significativos, mas que, a princípio, por ser um aterro industrial adequado para a disposição dos resíduos, os impactos a curto e médio prazos são menores. Já para o processo de incineração, os impactos são contabilizados no momento da execução do processo.

Sabe-se que o aterro de resíduos, em se tratando de legislação brasileira, possui outras implicações em termos de utilização de área, custo do monitoramento ao longo dos anos e responsabilidade do gerador do resíduo ou co-responsabilidade do gerador quando o mesmo for enviado para um terceiro gerenciar.

Como avaliação geral, ressalta-se que a incineração considerada nessa análise não é exatamente o processo para o qual todos os painéis de madeira foram enviados. Conforme pesquisa apresentada na revisão bibliográfica com as indústrias moveleiras [55], a maior parte da madeira é destinada para queima em caldeiras de geração de vapor ou, até mesmo, queima a céu aberto. Agrava-se a isso o fato dos painéis estarem pintados, o que não foi considerado no inventário da incineração. Portanto, há coerência em relação aos resultados apresentados que apontam o descarte do painel de madeira como mais impactante que o descarte do painel multilaminar.

As considerações acima geraram dúvidas em relação à avaliação da etapa de descarte, pois os processos considerados para destinação dos painéis são completamente

diferentes, o que poderia incorrer em uma avaliação errônea favorável a um dos processos. Tornou-se importante verificar se os impactos estão relacionados diretamente ao processo selecionado para destinação ou à quantidade de material para disposição. Para equilibrar as considerações dos processos, foi realizada uma simulação usando como descarte para o painel de madeira o aterro, da mesma forma que para o painel multilaminar, selecionando no SimaPro a mesma base de dados para aterro da madeira nativa, o processo denominado *Wood to HA chemical landfill S*, pertencente ao projeto *ETH-SEU 96 System Processes*, cujos dados estão apresentados no anexo 3. A ACV foi chamada de “Conjunto Caixa Carga Painel Madeira 1” para diferenciar do processo anterior. A Tabela 15 apresenta o resultado comparativo dos processos que, de forma geral, não sofreu alterações significativas, baixando o impacto total da ACV do painel de madeira de 321,661730 Pt para 320,263000, o que em percentual representa 0,435 %.

**Tabela 15** - Comparativo ACV para um conjunto Caixa de Carga Painel Madeira com um conjunto Caixa de Carga Painel Multilaminar

No	Processos	Unidade	Conjunto Caixa Carga Painel Madeira 1	Conjunto Caixa Carga Painel Multilaminar
	Total dos Processos	Pt	320,263000	287,275700
1	Diesel Brasil	Pt	313,504760	280,116460
2	Gás natural Brasil	Pt	x	4,919410
3	Pintura ETH S	Pt	4,453437	0,561496
4	Carvão para aquecimento industrial	Pt	x	0,552629
5	PVC Brasil	Pt	x	0,489403
6	Madeira para aterro alta atividade química	Pt	2,258596	0,296425
7	Aço bruto Brasil 2004	Pt	x	0,228273
8	Eletricidade Brasil	Pt	0,046213	0,051769
9	Carvão FAL	Pt	x	0,026494
10	Aterro PVC B250	Pt	x	0,013069
11	Poliol-polieter A	Pt	x	0,010937
12	TDI A	Pt	x	0,004858
13	Eletricidade para PUR A	Pt	x	0,002269
14	Óleo Combustível	Pt	x	0,001827
15	Aço (inerte) para aterro S	Pt	x	0,000310
16	Volume de abastecimento dos insumos para PUR	Pt	x	0,000078
17	PUR flex. Moldado cura quente A	Pt	x	0,000000
18	Pintura Painel Multilaminar	Pt	x	0,000000
19	Uso do Semi-reboque Painel Multilaminar	Pt	x	-
20	Montagem Painel Multilaminar	Pt	x	-
21	Madeira Reflorestamento	Pt	x	-
22	Descarte Painel Multilaminar	Pt	x	-
23	Uso do Semi-reboque Painel Madeira	Pt	-	x
24	Pintura Painel de Madeira	Pt	0,000000	x
25	Montagem Painel de Madeira	Pt	-	x
26	Madeira Nativa Amazonia	Pt	-	x
27	Descarte painel de madeira 1	Pt	-	x

x = não aplicável

Extraindo-se da Tabela acima somente os dados relativos ao descarte, obtêm-se as informações apresentadas na Tabela 16.

**Tabela 16** - Avaliação da etapa de descarte para aterro

No	Processos	Unidade	Conjunto Caixa Carga Painel Madeira 1	Conjunto Caixa Carga Painel Multilaminar
1	Madeira para aterro alta atividade química (Wood to HA chemical landfill S)	Pt	2,258596	0,296425
2	Aterro PVC B250	Pt	x	0,013069
3	Aço (inerte) para aterro S	Pt	x	0,000310

x = não aplicável

Se avaliados os valores para o processo de incineração e os valores para o processo de aterro da madeira usando os dados da Tabela 28 e da Tabela 30, verifica-se que a incineração é mais impactante totalizando 3,657325 Pt, enquanto que o aterro totaliza 2,258596 Pt. Porém, visualiza-se na Tabela 30 que o impacto do descarte do painel de madeira continua sendo superior ao descarte do painel multilaminar (2,258596

Pt para o painel de madeira e 0,309804 Pt para o somatório do multilaminar), apesar desse último ter mais materiais dispostos em aterro sendo eles o PVC, o *pínus* e o aço, contra a disposição da madeira nativa.

Percebe-se que, entre os materiais do painel multilaminar, a madeira é a que apresenta maior impacto quando disposta em aterro, porém, a quantidade disposta ao longo da vida útil do semi-reboque é muito superior para o painel de madeira quando comparada com a quantidade do painel multilaminar (2.811,3342 kg contra 368,9675 kg).

Logo, os painéis multilaminares apresentam desempenho ambiental superior ao painel de madeira na etapa de descarte.

É importante salientar que a falta de dados nacionais para avaliação da etapa de descarte levou à seleção de bancos europeus onde os cenários de tratamento e disposição diferem significativamente dos brasileiros. Fica um questionamento em relação à disposição dos painéis multilaminares em aterro no que diz respeito a avaliar até que ponto é interessante dispor, em aterro, materiais passíveis de reciclagem e/ou reutilização como chapa metálica, PVC e madeira.

#### **4.4.4 Item final de comparação**

Possibilitando um breve resumo dos resultados obtidos na avaliação de desempenho ambiental através da utilização das ferramentas balanço de massa e ACV para este trabalho, obtêm-se os resultados da Tabela 17, na qual o “x” representa o painel que apresentou melhor desempenho ambiental, bem como a ferramenta de análise utilizada.

**Tabela 17** – Resumo dos resultados obtidos para avaliação de desempenho ambiental

PAINEL	ETAPA				
	ACV Global	Manufatura		Uso	Descarte
		Balanço Massa	ACV		
Madeira			x		
Multilaminar	x	x		x	x

Pela análise do balanço de massa e da ACV global, ou seja, considerando todos os aspectos estudados em cada uma das ferramentas, sendo, para o balanço de massa, a entrada de matérias-primas e insumos e a saída de resíduos e para a ACV, as etapas de manufatura, uso e descarte, tem-se que o painel multilaminar apresenta desempenho ambiental superior ao painel de madeira.

Avaliando somente a etapa de manufatura pelo balanço de massa, o painel multilaminar apresenta desempenho ambiental superior ao painel de madeira. Porém, pela ferramenta ACV, o painel de madeira apresenta desempenho superior ao multilaminar.

Na etapa de uso, a avaliação foi realizada usando-se apenas a ACV, sendo que o painel multilaminar apresentou desempenho superior ao painel de madeira.

Na etapa de descarte, a avaliação também é favorável ao painel multilaminar.

## 5. AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE ACV NA SELEÇÃO DOS MATERIAIS

Ao longo da execução do trabalho, em decorrência da falta de dados de inventários brasileiros para a avaliação dos impactos na análise de ciclo de vida, especialmente para a etapa de descarte dos materiais, foi necessária a utilização de dados internacionais levando a considerações e aproximações não desejáveis para a seleção de materiais [22]. Daí, a importância da construção de dados brasileiros como instrumento para introdução da variável ambiental na indústria brasileira [40]. Por outro lado, salienta-se a existência de bancos nacionais de inventários de ACV para itens considerados de extrema importância e de aplicação em diversos processos, tais como, energia elétrica, gás natural e combustíveis, entre outros.

Outro aspecto refere-se à definição das fronteiras do sistema. É importante que os estudos deixem muito claro qual é o limite do sistema e o que realmente está sendo considerado, para que não ocorram distorções nos resultados [3], especialmente quando utilizados dados comparativos.

Para uma boa análise de ciclo de vida, é fundamental que o usuário faça uma definição clara e objetiva das categorias que pretende analisar, para, então, selecionar o método de avaliação que será utilizado [31]. Sem essa prévia definição, a interpretação dos resultados poderá ser erroneamente avaliada e, por consequência, a conclusão será equivocada, pois os métodos diferem significativamente uns dos outros.

Da mesma forma, a seleção do programa computacional constitui fator essencial, pois auxilia a busca de aproximações ou similaridades dos processos que pretendemos avaliar. Essas aproximações e similaridades ainda precisam ser realizadas, conforme já mencionado, enquanto não se tem um banco de dados brasileiros completamente formado. Neste estudo, o SimaPro foi de grande auxílio pela base de dados que contém, pela

possibilidade de inserção de novos dados e pelos recursos de interpretação de resultados apresentados. Em relação a este último aspecto, o programa computacional permite que a visualização seja em forma de gráficos, tabelas, valores, percentuais. Assim, o relatório pode ser apresentado em diferentes formatos, dependendo do público que terá acesso ao mesmo e da aplicação pretendida.

Outro fator importante a ser considerado, neste caso específico de estudo comparativo, é que o mesmo foi desenvolvido a partir de uma tecnologia inovadora, sem banco de dados já consolidados sobre o assunto. Há, portanto, uma oportunidade de estudos posteriores envolvendo materiais compósitos, visto que, percebe-se, nas indústrias, tendência de maior utilização desses materiais.

A ferramenta de balanço de massa é conhecida e utilizada por diversas indústrias, especialmente para aplicação no processo de manufatura, sendo que, se realizada de forma a apresentar dados confiáveis, permite uma boa análise [43].

O uso de ACV é um instrumento útil para o desenvolvimento e seleção de materiais, considerando os benefícios econômicos e ambientais que sua sistematização representam. A ACV é considerada uma análise diferenciada, pois vai além da produção interna, dentro da indústria, saindo dos conceitos tradicionais de tratamento e disposição adequada de resíduos, ultrapassando os conceitos de produção e tecnologias limpas, buscando o conceito de desenvolvimento sustentável. Ela visualiza e considera os impactos de forma ampla, desde a extração até a disposição final, atrelando segurança para as indústrias que buscam primeiramente a perpetuação de seus negócios. A seleção dos materiais de engenharia deve visualizar qual a disponibilidade dos mesmos na natureza, quais os impactos de sua utilização sobre os demais processos, além da viabilidade técnica e econômica.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O painel multilaminar apresentou, no balanço de massa, um desempenho ambiental superior em relação ao consumo de materiais e em relação à geração de resíduos, quando comparado com o painel de madeira.

O painel multilaminar apresentou um menor consumo de água, quando comparado com o painel de madeira. Em relação ao consumo de energia, a situação é contrária. No processo de fabricação do painel multilaminar, há a introdução de equipamentos com maior nível de automação, com conseqüente consumo energético associado, apesar da preocupação da empresa fabricante em selecionar motores de alto rendimento (menor consumo de energia).

Quando analisados os resultados da análise de ciclo de vida propriamente dita, o resultado global, considerando as etapas de manufatura das caixas de carga (com as respectivas ACV's das principais matérias-primas e insumos), o uso do semi-reboque e o descarte dos painéis, demonstra que o painel multilaminar apresenta desempenho ambiental superior ao painel de madeira, numa diferença percentual igual a 10,69.

Apesar da etapa de uso do semi-reboque ser a mais impactante no resultado da análise de ciclo de vida, para ambos os painéis, não há diferenças significativas entre os processos. Cabe aqui a recomendação para uma avaliação em relação ao combustível atualmente utilizado, o óleo diesel, e as alternativas vislumbradas para os próximos anos, uso do biocombustível, por exemplo.

Na etapa de manufatura, na qual estão consideradas as ACV's das principais matérias-primas e insumos usados no processo de montagem e pintura dos painéis, o resultado de desempenho ambiental favorece o painel de madeira especialmente pela presença do gás natural no processo de fabricação do painel multilaminar. Esse resultado é

um pouco intrigante, pois o gás natural é tido como uma das fontes energéticas com menor impacto ambiental. Nesse sentido, cabe uma avaliação nos dados lançados como base de cálculo e apresentados no procedimento. É possível identificar que há uma disparidade entre as mesmas, sendo que a fronteira do sistema para a base de dados do gás natural é bem mais abrangente que as demais, podendo levar a esse resultado final. Como análise, fica a recomendação para que haja uma certa padronização nos critérios para elaboração de inventários de ciclo de vida, para que o resultado possa ser o mais compatível possível.

Para a etapa de descarte, o processo de incineração adotado para o painel de madeira apresentou-se como mais impactante, quando comparado à disposição em aterro. Ficou uma dúvida se este resultado estava totalmente relacionado ao tipo de disposição adotada, ou se a quantidade de materiais a serem dispostos era o fator mais representativo. Para sanar esta dúvida foi realizada uma simulação, adotando como destinação para os painéis de madeira o aterro, assim como para os painéis multilaminares. Por esse processo, foi possível verificar que há uma redução de impacto quando comparada a incineração com o aterro, especialmente pelos impactos do aterro serem contabilizados a longo prazo, mas que, em função da quantidade de painéis a serem dispostos durante a vida útil do semi-reboque, considerando a unidade funcional assumida nesse estudo, os painéis multilaminares apresentam desempenho ambiental superior ao painel de madeira na etapa de descarte.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] RIBEIRO, C. M. et al. **Avaliação do Ciclo de Vida (ACV):** uma ferramenta importante da ecologia industrial. São Paulo: Laboratório de Físico-Química, Universidade Paulista, 2003.
- [2] GRAEDEL, T. E. The Evolution of Industrial Ecology. **Environmental Science & Technology**, News, January 1, 2000.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040** – Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001.
- [4] ALLENBY, B.R., GRAEDEL, T.E. **Industrial Ecology**. New Jersey: Prentice Hall, 1995.
- [5] CHEHEBE, J.R.B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos** - Ferramenta Gerencial da ISO 14000, Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 1998.
- [6] RANDON. **Informativo Randonário**. Caxias do Sul, 2005.
- [7] CENTRO DE ESTUDOS EM LOGÍSTICA. **Transporte de Cargas**. Disponível em: <<http://www.centrodelogistica.com.br.html>>. Acesso em: 07 ago. 2005.
- [8] CALLISTER, W.D. **Material Science and Engineering: An Introduction**. Copyright, John Wiley e Sons: Inc, 2000.
- [9] GONÇALVES, M.T. **Processamento de Madeira**. 2ª ed., São Paulo, 2000.
- [10] SHACKELFORD, J.F. **Materials Science for Engineers**. 5ª ed., New Jersey: Prentice Hall, 2000.
- [11] GIANNETTI, B.F., ALMEIDA, C.M.v.b.. **Ecologia industrial: conceitos, ferramentas e aplicações**. 1ª ed., São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2006.
- [12] MOURA, L.A.A. **Qualidade e gestão ambiental: sugestões para implantação das normas ISO 14000 nas empresas**. São Paulo: Oliveira Mendes, 1998.
- [13] UNIDO, SENAI-FIERGS, UNEP. **Centro Nacional de Tecnologias Limpas**. Porto Alegre: CFP SENAI de Artes Gráficas, 1999 (folheto).
- [14] CUNHA, Rudemar Silveria da. **Avaliação de Desempenho Ambiental de uma Indústria de Processamento de Alumínio**. Florianópolis, SC: Curso de Engenharia de Produção, 2001. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.
- [15] TIBOR, T., FELDMAN, I. **ISO 14000: Um guia para as novas normas de gestão ambiental**. São Paulo: Futura, 1996.

- [16] FLORES, L., GARZA, C. L., ROJAS, G. G., **ISO 14000** Overview. International Competitiveness INTB 4365. College of Business Administration - University of Texas: Pan American, 1996. Extraído de <<http://www.cepis.org.pe.html>>
- [17] MELO, J., PEGADO, C. **Ecoblock: A method for integrated environmental performance evaluation of companies and products** (construction case-study), 2006. Disponível em <[http://gasa.dcea.fct.unl.pt/ecoblock/EcoBalance\\_02.pdf](http://gasa.dcea.fct.unl.pt/ecoblock/EcoBalance_02.pdf)> Acesso em: 03 de maio de 2006.
- [18] Resolução **CONAMA 001** de 23.01.1986
- [19] CANTER, L.W. **Manual de Evaluación de Impacto Ambiental** – Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto. Segunda Edición, Aravaca (Madrid): McGraw-Hill Editora, 1998.
- [20] BARROW, C.J. **Environmental and Social Impact Assessment** - An Introduction. New York: Oxford University Press Inc., 1997.
- [21] RYDH, C. J., SUN, M. Life cycle inventory data for materials grouped according to environmental and material properties. **Journal of Cleaner Production**, Volume 13, Issues 13-14, pp 1258-1268, Nov/Dec, 2005.
- [22] EKVALL, T., TILLMAN, A.M.. Normative ethics and methodology for life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, Volume 13, Issues 13-14, pp 1225-1234, Nov/Dec, 2005.
- [23] CURRAN, M.A. **Environmental Life Cycle Assessment**. New York: McGraw Hill, 1996.
- [24] FAVA, J.A. ed. **A Technical Framework for Life Cycle Assessment**. Washington, D.C., Society of Environmental Toxicology and Chemistry: SETAC Foundation for Environmental Education, Vermont, 1991. 134 p.
- [25] CHRISTIANSEN, K. Life Cycle Assessment in a Historical Perspective. *In*. **Anais**. 1º Workshop Internacional sobre Análise de Ciclo de Vida, Rio de Janeiro, 1996.
- [26] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001** – Rio de Janeiro, 2002.
- [27] NIE, Z., ZUO, T. Ecomaterials research and development activities in China. **Science Direct: Current Opinion in Solid State and Materials Science**. Beijing, China, n. 7, p.217-223, setembro 2003.
- [28] KULAY, Luiz Alexandre. **Uso da Análise de Ciclo de Vida para Comparação do Desempenho Ambiental das Rotas Úmida e Térmica de Produção de Fertilizantes Fosfatados**. São Paulo, SP: Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia, 2004. Originalmente apresentada como tese de doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

- [29] CONSOLI, F., ed. **Guidelines for Life Cycle Assessment**: a code of practice. Pensacola, Society of Environmental Toxicology and Chemistry: SETAC Foundation for Environmental Education, 1993. 73 p.
- [30] WENZEL, H., HAUSCHILD, M. ALTING, L. **Environmental Assessment of Products** – Methodology, tools and case studies in product development. Copenhagen: Kluwer Academic Press, V.1., 1997.
- [31] BOVEA, M. D., GALLARDO, A. The influence of impact assessment methods on materials selection for eco-design. **Science Direct: Materials and Design**. Castellón, Spain, 2006. n. 27, p.209-215
- [32] MARIOTONI, C. A., CUNHA, M. E. G., BAPTISTELA, R. Z. Uma discussão de diferentes softwares visando a aplicação da técnica avaliação do ciclo de vida (ACV) em Indústrias. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL CICLO DE VIDA, 1., 2007, São Paulo. Artigo. Campinas: Associação Brasileira de Análise de Ciclo de Vida, 2007. p. 1 - 4. CD-ROM.
- [33] NETO, A. M. In: SEMINÁRIO IMPACTO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NA COMPETITIVIDADE DA INDÚSTRIA BRASILEIRA, 1., 2005, São Paulo. Trabalho de Relatoria. São Paulo: Universidade de Brasília, 2005. p. 1 - 31.
- [34] COELHO, C. R. V., UGAYA, C. M. L., HISCHIER, R. Life Cycle Inventory of Steel Production in Brazil. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL CICLO DE VIDA, 1., 2007, São Paulo. **Artigo**. Curitiba: Associação Brasileira de Análise de Ciclo de Vida, 2007. p. 1 - 4. CD-ROM.
- [35] GLORIA, T. P. et al. Ecological Toxicity Methods and Metals. **International Journal of Life Cycle Assessment**, n. 11, p.26-33, 2006.
- [36] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14042** – Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Avaliação do impacto do ciclo de vida. Rio de Janeiro, 2005.
- [37] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14041** – Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Definição de objetivo e escopo e análise de inventário. Rio de Janeiro, 2005.
- [38] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14043** – Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Interpretação do ciclo de vida. Rio de Janeiro, 2005
- [39] CALDEIRA-PIRES, A. A Proposta Preliminar do "Projeto Brasileiro de Inventário do Ciclo de Vida para a Competitividade da Indústria Brasileira". In: SEMINÁRIO IMPACTO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NA COMPETITIVIDADE DA INDÚSTRIA BRASILEIRA, 1., 2005, São Paulo. Trabalho de Relatoria. São Paulo: Universidade de Brasília, 2005. p. 1 - 31.

- [40] SILVA, G. A. Panorama da avaliação do Ciclo de Vida. In: SEMINÁRIO IMPACTO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NA COMPETITIVIDADE DA INDÚSTRIA BRASILEIRA, 1., 2005, São Paulo. Trabalho de Relatoria. São Paulo: Universidade de Brasília, 2005. p. 1 - 31.
- [41] LIMA, A. M. F., CALDEIRA-PIRES, A., KIPERSTOK, A. Evolução dos Trabalhos de Avaliação do Ciclo de Vida nas Instituições Acadêmicas Brasileiras. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL CICLO DE VIDA, 1., 2007, São Paulo. **Artigo**. Brasília: Associação Brasileira de Análise de Ciclo de Vida, 2007. p. 1 - 4. CD-ROM.
- [42] PETERSEN, A. K., SOLBERG, B. Environmental and Economic impacts of substitution between wood products and alternative materials: a review of micro-level analyses from Norway and Sweden. **Science Direct: Forest Policy and Economics Norway**, 2003. n. 7, p.249-259.
- [43] COLTRO, L. et al. Environmental Profile of Brazilian Green Coffee. **Journal Of Life Cycle**, Campinas: São Paulo, 2006. n. 11, p.16-21.
- [44] REICHERT, G. Análise de Ciclo de Vida. Transcrição **Palestra**. Caxias do Sul, RS: Universidade de Caxias do Sul, 2004.
- [45] BORGES, Fúlvia Jung. **Inventário do Ciclo de Vida do PVC**. São Paulo, SP: Curso de Engenharia, Departamento de Engenharia, 2004. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.
- [46] BRUGNARA, Gisela de Andrade. **Florestas, Madeira e Habitações: análise energética e ambiental da produção e uso de madeira como uma contribuição ao desafio da valorização da Floresta Amazônica**. Campinas, SP: Curso de Engenharia Mecânica, 2001. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Departamento de Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2001.
- [47] UGAYA, Cássia Maria Lie. **Análise de Ciclo de Vida: estudo de caso para materiais e componentes automotivos no Brasil**. Campinas, SP: Curso de Engenharia Mecânica, 2001. Originalmente apresentada como tese de doutorado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2001.
- [48] COLTRO, L. et al. Life Cycle Inventory for Electric Energy System in Brazil. **CETEA – Packaging Technology Center/ITAL – Institute of Food Technology**, Campinas: SP, 2003. n. 8, p.290-296.
- [49] COSTA NETO, P. R. et al. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Química Nova**, São Paulo: São Paulo, 2000. v. 23, n. 4.
- [50] PréConsultants, Amersfoort: Netherlands, 2002.
- [51] SimaPro 7 Single software versão 7.02. **Database Manual ETH-ESU**, 2007.

[52] FREITAS, L. C. et al. Estudo Comparativo envolvendo três Métodos de Cálculo de Custo Operacional do Caminhão Bitrem. **Sociedade de Investigações Florestais**, Viçosa, 2004. n. 28, p.855-863.

[53] IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística** - Os Indicadores Agropecuários 1996-2003, publicado em 15 de março de 2005 pelo Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão.

[54] PARANÁ (Estado). Instituto Ambiental do Paraná – IAP. **Manual de Avaliação de Impactos Ambientais - MAIA**. Curitiba, 1992.

[55] HILLIG, E. , SCHNEIDER, V.E., PAVONI, E.T. **Pólo Moveleiro da Serra Gaúcha: Geração de resíduos e perspectivas para sistemas de gerenciamento ambiental**. Caxias do Sul: EducS, 2004. 165 p.

[56] Projeto Inventário de Ciclo de Vida: Parceria Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia – **IBICT / Plataforma Européia**, 2007. Disponível em: <<http://acv.ibict.br>> Acesso em: 28 de janeiro de 2007.

[57] Centro de Tecnologia de Embalagem – **CETEA**, 2006. Disponível em: <<http://acv.ibict.br>> Acesso em: 22 de dezembro de 2006.

**ANEXO 1 - BANCO DE DADOS PARA A TINTA E PARA O ADESIVO**

SimaPro 7.0 Educational  
Project: Larissa

Process

Date: 16/6/2007 Time: 16:50:53

Process

Category type	Material
Process identifier	CaxdoSul11557600085
Type	
Process name	Paint ETH
Status	
Time period	1990-1994
Geography	Europe, Western
Technology	Average technology
Representativeness	Estimate
Multiple output allocation	Not applicable
Substitution allocation	Not applicable
Cut off rules	Unspecified
Capital goods	Second order (material/energy flows including operations)
Boundary with nature	Not applicable
Infrastructure	No
Date	3/2/2003
Record	PRé Consultants, The Netherlands, MO
Generator	ETH-ESU, Zurich, Switzerland
Literature references	ETH-ESU 1996 Tab. IV.13.13

Collection method

Data treatment

Verification

Comment

Paint ETH, original German title: Deckfarbe.

Total aggregated system inventory. This is a single results record of the similar unit process. Small differences can occur due to rounding.

Rough estimate of the composition of paint. No emissions of VOC included.

Allocation rules

System description

System model Oil

Products

Paint ETH S	1 kg	100 not defined	Construction\I
-------------	------	-----------------	----------------

Avoided products

Resources

Baryte, in ground	in ground	0,00109	kg	Undefined
Bauxite, in ground	in ground	0,0798	kg	Undefined
Clay, bentonite, in ground	in ground	0,000383	kg	Undefined
Lead, in ground	in ground	0,053	kg	Undefined
Chromium, in ground	in ground	0,027	kg	Undefined
Iron, in ground	in ground	0,0107	kg	Undefined
Marl, in ground	in ground	0,0189	kg	Undefined
Gravel, in ground	in ground	0,033	kg	Undefined
Cobalt, in ground	in ground	2,96E-11	kg	Undefined
Copper, in ground	in ground	0,00025	kg	Undefined
Manganese, in ground	in ground	7,03E-6	kg	Undefined
Molybdenum, in ground	in ground	2,31E-10	kg	Undefined
Nickel, in ground	in ground	1,36E-5	kg	Undefined
Palladium, in ground	in ground	2,77E-10	kg	Undefined
Platinum, in ground	in ground	3,12E-10	kg	Undefined
Rhenium, in ground	in ground	2,96E-10	kg	Undefined
Rhodium, in ground	in ground	2,94E-10	kg	Undefined
Sand, unspecified, in ground	in ground	0,00745	kg	Undefined
Silver, in ground	in ground	6,95E-7	kg	Undefined
Sodium chloride, in ground	in ground	0,00178	kg	Undefined
Clay, unspecified, in ground	in ground	0,00088	kg	Undefined
Water, turbine use, unspecified natural ori		10,5	m3	Undefined
Water, unspecified natural origin/kg	in water	45	kg	Undefined
Zinc, in ground	in ground	4,88E-7	kg	Undefined
Tin, in ground	in ground	3,86E-7	kg	Undefined
Gas, petroleum, 35 MJ per m3, in ground	in ground	0,0151	m3	Undefined
Gas, mine, off-gas, process, coal mining/f	in ground	0,00207	kg	Undefined
Wood, dry matter	biotic	4,09E-6	ton	Undefined
Volume occupied, reservoir	in water	0,0421	m3y	Undefined
Energy, potential, stock, in barrage water	in water	2,01E-6	TJ	Undefined
Coal, brown, 8 MJ per kg, in ground	in ground	0,285	kg	Undefined
Coal, 18 MJ per kg, in ground	in ground	0,312	kg	Undefined
Gas, natural, 35 MJ per m3, in ground	in ground	0,0813	m3	Undefined
Oil, crude, 42.6 MJ per kg, in ground	in ground	0,000221	ton	Undefined
Uranium, 560 GJ per kg, in ground	in ground	2,04E-5	kg	Undefined
Land use II-III, sea floor	land	0,0173	m2a	Undefined
Land use II-IV, sea floor	land	0,00179	m2a	Undefined
Land use II-III	land	0,0781	m2a	Undefined

SimaPro 7.0 Educational  
Project: Larissa

Process

Date: 16/6/2007 Time: 16:50:53

Land use II-IV	land	0,00209	m2a	Undefined
Land use III-IV	land	0,00202	m2a	Undefined
Land use IV-IV	land	6,84E-5	m2a	Undefined

Materials/fuels

Electricity/heat

Emissions to air

Acetaldehyde		5,68E-7	kg	Undefined
Acetone		5,65E-7	kg	Undefined
Acrolein		1,08E-11	kg	Undefined
Aluminum		2,30855E-5	kg	Undefined
Aldehydes, unspecified		1,62E-8	kg	Undefined
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspeci		8,29E-6	kg	Undefined
Hydrocarbons, aliphatic, alkenes, unspeci		1,82137E-6	kg	Undefined
Hydrocarbons, aromatic		3,12137E-7	kg	Undefined
Arsenic		1,602075E-5	kg	Undefined
Boron		1,1700349E-	kg	Undefined
Barium		3,3928E-7	kg	Undefined
Benzo(a)pyrene		1,0216E-9	kg	Undefined
Beryllium		4,0818E-9	kg	Undefined
Benzaldehyde		5,62E-12	kg	Undefined
Benzene		3,35553E-6	kg	Undefined
Bromine		1,380464E-5	kg	Undefined
Butane		2,028E-5	kg	Undefined
Butene		4,53E-7	kg	Undefined
Ethane, hexafluoro-, HFC-116		8,68E-7	kg	Undefined
Calcium		1,87284E-5	kg	Undefined
Cadmium		5,620418E-7	kg	Undefined
Methane, tetrafluoro-, FC-14		7,81E-6	kg	Undefined
Methane		0,00302932	kg	Undefined
Cyanide		3,2600101E-	kg	Undefined
Cobalt		2,37913E-7	kg	Undefined
Carbon monoxide		0,000618	kg	Undefined
Carbon dioxide		1,6427	kg	Undefined
Chromium		1,7672E-7	kg	Undefined
Copper		8,5707E-7	kg	Undefined
Methane, dichloro-, HCC-30		8,38E-9	kg	Undefined
Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21		2,74E-8	kg	Undefined
Acetic acid		2,68E-6	kg	Undefined
Ethane		2,031E-5	kg	Undefined
Ethanol		1,1342E-6	kg	Undefined
Ethene		4,8E-6	kg	Undefined
Ethyne		3,28E-7	kg	Undefined
Benzene, ethyl-		1,768E-6	kg	Undefined
Ethane, dichloro-		2,31E-8	kg	Undefined
Iron		1,4486E-5	kg	Undefined
Formaldehyde		3,760698E-5	kg	Undefined
Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301		8,57E-8	kg	Undefined
Hydrogen sulfide		1,796E-6	kg	Undefined
Hydrogen chloride		0,00021826	kg	Undefined
Helium		1,519E-5	kg	Undefined
Heptane		3,98E-6	kg	Undefined
Benzene, hexachloro-		1,13E-12	kg	Undefined
Hexane		8,35E-6	kg	Undefined
Hydrogen fluoride		3,7E-5	kg	Undefined
Mercury		2,30097E-7	kg	Undefined
Iodine		5,66343E-7	kg	Undefined
Potassium		4,12E-6	kg	Undefined
Lanthanum		9,624E-9	kg	Undefined
Methanol		1,33E-6	kg	Undefined
Magnesium		7,9573E-6	kg	Undefined
Manganese		4,209E-7	kg	Undefined
Molybdenum		1,04919E-7	kg	Undefined
t-Butyl methyl ether		3,65E-10	kg	Undefined
Nitrogen		2,26E-5	kg	Undefined
Dinitrogen monoxide		5,0366E-5	kg	Undefined
Sodium		6,0614E-6	kg	Undefined
Ammonia		4,3153E-6	kg	Undefined
Nickel		3,4634E-6	kg	Undefined
NMVOC, non-methane volatile organic co		0,0017752	kg	Undefined
Nitrogen oxides		0,0033328	kg	Undefined
Phosphorus, total		3,28184E-7	kg	Undefined
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons		1,1200819E-	kg	Undefined
Particulates, < 10 um (mobile)		2,88E-5	kg	Undefined
Particulates, > 10 um (process)		0,000604	kg	Undefined
Particulates, < 10 um (stationary)		0,000802	kg	Undefined
Lead		0,00017047	kg	Undefined

SimaPro 7.0 Educational  
Project: Larissa

Process

Date: 16/6/2007 Time: 16:50:53

Benzene, pentachloro-	3,02E-12	kg	Undefined
Phenol, pentachloro-	4,87E-13	kg	Undefined
Pentane	2,599E-5	kg	Undefined
Phenol	1,81E-9	kg	Undefined
Propane	2,232E-5	kg	Undefined
Propene	1,244E-6	kg	Undefined
Acrolein	5,62E-12	kg	Undefined
Propionic acid	5,6E-8	kg	Undefined
Platinum	1,97E-11	kg	Undefined
Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	6,46E-9	kg	Undefined
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, C	1,7E-7	kg	Undefined
Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	1,39E-9	kg	Undefined
Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	8,71E-10	kg	Undefined
Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	1,53E-9	kg	Undefined
Antimony	1,550698E-5	kg	Undefined
Scandium	3,3052E-9	kg	Undefined
Selenium	2,2327E-7	kg	Undefined
Silicon	6,63174E-5	kg	Undefined
Tin	6,1428E-9	kg	Undefined
Sulfur oxides	0,009991	kg	Undefined
Strontium	3,8628E-7	kg	Undefined
Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachloroc	0,0918	ng	Undefined
Methane, tetrachloro-, CFC-10	6,83E-9	kg	Undefined
Thorium	6,3152E-9	kg	Undefined
Titanium	9,9188E-7	kg	Undefined
Thallium	2,6264E-9	kg	Undefined
Toluene	3,8E-6	kg	Undefined
Chloroform	6,1E-10	kg	Undefined
Uranium	6,9428E-9	kg	Undefined
Vanadium	1,27931E-5	kg	Undefined
Ethene, chloro-	3,76E-9	kg	Undefined
Xylene	7,82E-6	kg	Undefined
Zinc	2,2561E-5	kg	Undefined
Zirconium	3,1E-10	kg	Undefined
Silver-110	8,42E-9	kBq	Undefined
Americium-241	1,57E-7	kBq	Undefined
Argon-41	0,0183	kBq	Undefined
Barium-140	3,28E-8	kBq	Undefined
Radioactive species, other beta emitters	1,05E-9	kBq	Undefined
Carbon-14	0,0126	kBq	Undefined
Cerium-141	7,81E-10	kBq	Undefined
Cerium-144	1,67E-6	kBq	Undefined
Curium alpha	2,49E-7	kBq	Undefined
Curium-242	8,26E-13	kBq	Undefined
Curium-244	7,5E-12	kBq	Undefined
Cobalt-57	1,44E-11	kBq	Undefined
Cobalt-58	2,39E-7	kBq	Undefined
Cobalt-60	3,56E-7	kBq	Undefined
Chromium-51	2,95E-8	kBq	Undefined
Cesium-134	5,95E-6	kBq	Undefined
Cesium-137	1,15E-5	kBq	Undefined
Iron-59	3,27E-10	kBq	Undefined
Hydrogen-3, Tritium	0,13	kBq	Undefined
Iodine-129	4,48E-5	kBq	Undefined
Iodine-131	4,96E-6	kBq	Undefined
Iodine-133	2,79E-6	kBq	Undefined
Iodine-135	4,17E-6	kBq	Undefined
Potassium-40	3,45E-5	kBq	Undefined
Krypton-85	771	kBq	Undefined
Krypton-85m	0,000906	kBq	Undefined
Krypton-87	0,000406	kBq	Undefined
Krypton-88	0,0364	kBq	Undefined
Krypton-89	0,000284	kBq	Undefined
Lanthanum-140	2,08E-8	kBq	Undefined
Manganese-54	8,54E-9	kBq	Undefined
Niobium-95	1,51E-9	kBq	Undefined
Neptunium-237	8,21E-12	kBq	Undefined
Protactinium-234	4,98E-6	kBq	Undefined
Lead-210	0,0001774	kBq	Undefined
Promethium-147	4,23E-6	kBq	Undefined
Polonium-210	0,0002774	kBq	Undefined
Plutonium-alpha	4,97E-7	kBq	Undefined
Plutonium-238	1,86E-11	kBq	Undefined
Radium-226	0,0001874	kBq	Undefined
Radium-228	1,7E-5	kBq	Undefined
Radon-220	0,00133	kBq	Undefined
Radon-222	12,00385	kBq	Undefined
Radon-222	1110	kBq	Undefined
Ruthenium-103	8,52E-11	kBq	Undefined

low. pop., long-term

SimaPro 7.0 Educational  
Project: Larissa

Process

Date: 16/6/2007 Time: 16:50:53

Ruthenium-106	4,97E-5	kBq	Undefined
Antimony-124	2,31E-9	kBq	Undefined
Antimony-125	2,92E-10	kBq	Undefined
Strontium-89	1,49E-8	kBq	Undefined
Strontium-90	8,21E-6	kBq	Undefined
Technetium-99	3,48E-10	kBq	Undefined
Tellurium-123m	3,76E-8	kBq	Undefined
Thorium-228	1,44E-5	kBq	Undefined
Thorium-230	5,54E-5	kBq	Undefined
Thorium-232	9,15E-6	kBq	Undefined
Thorium-234	4,98E-6	kBq	Undefined
Uranium alpha	0,000178	kBq	Undefined
Uranium-234	5,97E-5	kBq	Undefined
Uranium-235	2,89E-6	kBq	Undefined
Uranium-238	8,5E-5	kBq	Undefined
Xenon-131m	0,00187	kBq	Undefined
Xenon-133	0,554	kBq	Undefined
Xenon-133m	0,000278	kBq	Undefined
Xenon-135	0,0944	kBq	Undefined
Xenon-135m	0,00928	kBq	Undefined
Xenon-137	0,00023	kBq	Undefined
Xenon-138	0,00251	kBq	Undefined
Zinc-65	3,66E-8	kBq	Undefined
Zirconium-95	5,47E-10	kBq	Undefined
Plutonium-241	1,37E-5	kBq	Undefined
Noble gases, radioactive, unspecified	0,00108	kBq	Undefined
Heat, waste	2,8933E-5	TJ	Undefined
Emissions to water			
Acenaphthylene	1,04E-7	kg	Undefined
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspeci	1,452E-6	kg	Undefined
Hydrocarbons, aliphatic, alkenes, unspeci	1,339E-7	kg	Undefined
Ammonia, as N	1,719E-5	kg	Undefined
AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl	4,24E-8	kg	Undefined
Hydrocarbons, aromatic	6,728E-6	kg	Undefined
Barite	0,000216	kg	Undefined
Benzene	1,456E-6	kg	Undefined
Phthalate, dioctyl-	1,08E-12	kg	Undefined
BOD5, Biological Oxygen Demand	1,964E-6	kg	Undefined
Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	4,29E-12	kg	Undefined
Benzene, chloro-	1,87E-14	kg	Undefined
Ethane, dichloro-	1,19E-8	kg	Undefined
Ethane, hexachloro-	2,64E-13	kg	Undefined
Hypochlorous acid	3,43E-6	kg	Undefined
Chlorinated solvents, unspecified	7,68E-10	kg	Undefined
Methane, dichloro-, HCC-30	9,9E-8	kg	Undefined
Hypochlorite	3,43E-6	kg	Undefined
Ethene, tetrachloro-	3,13E-11	kg	Undefined
Methane, tetrachloro-, CFC-10	4,78E-11	kg	Undefined
Ethene, trichloro-	1,98E-9	kg	Undefined
Chloroform	7,26E-9	kg	Undefined
Chloride	0,00924	kg	Undefined
COD, Chemical Oxygen Demand	3,025E-5	kg	Undefined
Cyanide	8,54E-8	kg	Undefined
Phthalate, p-dibutyl-	1,05E-11	kg	Undefined
Phthalate, p-dimethyl-	6,64E-11	kg	Undefined
DOC, Dissolved Organic Carbon	1,199E-6	kg	Undefined
Benzene, ethyl-	2,655E-7	kg	Undefined
Oils, unspecified	0,00020451	kg	Undefined
Fatty acids as C	5,627E-5	kg	Undefined
VOC, volatile organic compounds as C	3,868E-6	kg	Undefined
Fluoride	3,5184E-6	kg	Undefined
Formaldehyde	7,06E-11	kg	Undefined
Solved substances	0,000212	kg	Undefined
Glutaraldehyde	2,67E-8	kg	Undefined
Aluminum	0,000512016	kg	Undefined
Antimony	7,81E-9	kg	Undefined
Arsenic, ion	1,02331E-6	kg	Undefined
Barium	6,79E-5	kg	Undefined
Beryllium	7,98E-10	kg	Undefined
Lead	3,00336E-6	kg	Undefined
Boron	1,092E-6	kg	Undefined
Cadmium, ion	6,936E-8	kg	Undefined
Cesium	1,115E-8	kg	Undefined
Calcium, ion	0,000922	kg	Undefined
Chromium, ion	5,1399E-6	kg	Undefined
Chromium VI	1,14E-9	kg	Undefined
Iron	0,00061715	kg	Undefined
Iodide	1,106E-6	kg	Undefined

SimaPro 7.0 Educational  
Project: Larissa

Process

Date: 16/6/2007 Time: 16:50:53

Potassium	0,0002049	kg	Undefined
Cobalt	9,96E-7	kg	Undefined
Copper, ion	2,5433E-6	kg	Undefined
Magnesium	0,00043359	kg	Undefined
Manganese	1,2197E-5	kg	Undefined
Molybdenum	1,7733E-6	kg	Undefined
Sodium, ion	0,00414	kg	Undefined
Nickel, ion	2,5631E-6	kg	Undefined
Mercury	1,3283E-9	kg	Undefined
Ruthenium	1,114E-7	kg	Undefined
Selenium	2,56334E-6	kg	Undefined
Silver	7,19E-9	kg	Undefined
Silicon	2,93E-7	kg	Undefined
Strontium	7,3E-5	kg	Undefined
Titanium, ion	3,0E-5	kg	Undefined
Vanadium, ion	2,6733E-6	kg	Undefined
Tungsten	2,63E-8	kg	Undefined
Zinc, ion	5,5031E-6	kg	Undefined
Tin, ion	4,58E-9	kg	Undefined
Hydrocarbons, unspecified	1,38E-7	kg	Undefined
t-Butyl methyl ether	3,1E-11	kg	Undefined
Nitrate	1,641E-5	kg	Undefined
Nitrite	8,0188E-7	kg	Undefined
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	5,78E-7	kg	Undefined
Phenols, unspecified	1,487E-6	kg	Undefined
Phosphate	3,01331E-5	kg	Undefined
Phosphorus compounds, unspecified	6,79E-9	kg	Undefined
Acids, unspecified	1,04E-7	kg	Undefined
Salts, unspecified	0,00101	kg	Undefined
Hydrogen sulfide	1,98E-8	kg	Undefined
Nitrogen, total	1,713E-5	kg	Undefined
Nitrogen, organic bound	2,251E-6	kg	Undefined
Sulfate	0,0046303	kg	Undefined
Sulfide	3,64E-7	kg	Undefined
Sulfur trioxide	4,0E-7	kg	Undefined
TOC, Total Organic Carbon	0,00032	kg	Undefined
Toluene	1,206E-6	kg	Undefined
Tributyltin	4,65E-8	kg	Undefined
Triethylene glycol	1,199E-6	kg	Undefined
Undissolved substances	0,0007383	kg	Undefined
Ethene, chloro-	8,9E-12	kg	Undefined
Xylene	1,051E-6	kg	Undefined
Silver-110	5,75E-5	kBq	Undefined
Radioactive species, alpha emitters	6,8E-9	kBq	Undefined
Americium-241	2,06E-5	kBq	Undefined
Barium-140	1,02E-7	kBq	Undefined
Carbon-14	0,00104	kBq	Undefined
Cadmium-109	5,91E-10	kBq	Undefined
Cerium-141	1,53E-8	kBq	Undefined
Cerium-144	0,00047300	kBq	Undefined
Curium alpha	2,74E-5	kBq	Undefined
Cobalt-57	1,05E-7	kBq	Undefined
Cobalt-58	8,93E-5	kBq	Undefined
Cobalt-60	0,0045724	kBq	Undefined
Chromium-51	2,26E-6	kBq	Undefined
Cesium-134	0,0010519	kBq	Undefined
Cesium-136	5,49E-10	kBq	Undefined
Cesium-137	0,0097267	kBq	Undefined
Iron-59	1,81E-9	kBq	Undefined
Radioactive species, from fission and acti	6,16E-5	kBq	Undefined
Hydrogen-3, Tritium	30,9	kBq	Undefined
Iodine-129	0,00298	kBq	Undefined
Iodine-131	1,98E-6	kBq	Undefined
Iodine-133	4,68E-7	kBq	Undefined
Potassium-40	8,75E-5	kBq	Undefined
Lanthanum-140	2,12E-8	kBq	Undefined
Manganese-54	0,00070017	kBq	Undefined
Molybdenum-99	7,18E-9	kBq	Undefined
Sodium-24	3,15E-6	kBq	Undefined
Niobium-95	5,81E-8	kBq	Undefined
Neptunium-237	1,32E-6	kBq	Undefined
Protactinium-234	9,22E-5	kBq	Undefined
Lead-210	6,97E-5	kBq	Undefined
Polonium-210	6,97E-5	kBq	Undefined
Plutonium-alpha	8,21E-5	kBq	Undefined
Radium-224	0,0005532	kBq	Undefined
Radium-226	0,380984	kBq	Undefined
Radium-228	0,001106	kBq	Undefined
Ruthenium-103	3,43E-8	kBq	Undefined

SimaPro 7.0 Educational  
Project: Larissa

Process

Date: 16/6/2007 Time: 16:50:53

Ruthenium-106		0,00497	kBq	Undefined
Antimony-122		1,02E-7	kBq	Undefined
Antimony-124		1,48E-5	kBq	Undefined
Antimony-125		8,34E-7	kBq	Undefined
Strontium-89		2,31E-7	kBq	Undefined
Strontium-90		0,00099508!	kBq	Undefined
Technetium-99		0,000522	kBq	Undefined
Technetium-99m		4,84E-8	kBq	Undefined
Tellurium-123m		4,31E-9	kBq	Undefined
Tellurium-132		1,77E-9	kBq	Undefined
Thorium-228		0,002215	kBq	Undefined
Thorium-230		0,0144	kBq	Undefined
Thorium-232		1,63E-5	kBq	Undefined
Thorium-234		9,3E-5	kBq	Undefined
Uranium alpha		0,0060272	kBq	Undefined
Uranium-234		0,000123	kBq	Undefined
Uranium-235		0,000184	kBq	Undefined
Uranium-238		0,000317	kBq	Undefined
Yttrium-90		1,19E-8	kBq	Undefined
Zinc-65		6,68E-6	kBq	Undefined
Zirconium-95		4,23141E-5	kBq	Undefined
Plutonium-241		0,00204	kBq	Undefined
Radioactive species, Nuclides, unspecifie		4,46E-8	kBq	Undefined
Heat, waste		1,206E-6	TJ	Undefined
Emissions to soil				
Aluminum		1,42E-5	kg	Undefined
Arsenic	industrial	5,69E-9	kg	Undefined
Carbon	industrial	4,4E-5	kg	Undefined
Calcium	industrial	5,69E-5	kg	Undefined
Cadmium	industrial	2,84E-10	kg	Undefined
Cobalt	industrial	3,02E-10	kg	Undefined
Chromium	industrial	7,11E-8	kg	Undefined
Copper	industrial	1,51E-9	kg	Undefined
Iron	industrial	2,85E-5	kg	Undefined
Mercury	industrial	4,24E-11	kg	Undefined
Manganese	industrial	5,69E-7	kg	Undefined
Nitrogen		1,25E-8	kg	Undefined
Nickel	industrial	2,26E-9	kg	Undefined
Oils, biogenic		6,43E-8	kg	Undefined
Oils, unspecified	industrial	9,65E-6	kg	Undefined
Phosphorus	industrial	7,3E-7	kg	Undefined
Lead	industrial	6,88E-9	kg	Undefined
Sulfur	industrial	8,54E-6	kg	Undefined
Zinc	industrial	2,28E-7	kg	Undefined
Heat, waste		6,31E-8	TJ	Undefined
Final waste flows				
Non material emissions				
Social issues				
Economic issues				
Waste to treatment				
Input parameters				
Calculated parameters				

SimaPro 7.0 Educational  
Project: Larissa

Process

Date: 16/6/2007 Time: 17:03:13

Process

Category type	Material
Process identifier	CaxdoSul11557600086
Type	System
Process name	Input requirements for flexible moulded foam (hot cure), without blowing agent!
Status	
Time period	1990-1994
Geography	Europe, Western
Technology	Average technology
Representativeness	Average of all suppliers
Multiple output allocation	Not applicable
Substitution allocation	Not applicable
Cut off rules	Unknown
Capital goods	Second order (material/energy flows including operations)
Boundary with nature	Not applicable
Infrastructure	No
Date	15/8/1997
Record	PRé Consultants, Amersfoort, The Netherlands
Generator	APME and ISOPA
Literature references	PWMI report 9 PUR table 22
Collection method	
Data treatment	
Verification	
Comment	Production of 1 kg flexible moulded PUR foam (hot cure), used in car seats, furniture etc. Average proces, EXCLUDING BLOWING PROCESS, contact suppliers for details on exact composition and blowing agent used.
Allocation rules	
System description	APME Ecoprofiles

Products

PUR flex. moulded hot cure A	140 kg	100 Plastics	Plastics\Therm
------------------------------	--------	--------------	----------------

Avoided products

Resources

Materials/fuels

TDI A	40	kg	Undefined	33-48 kilo, contact supplier
Bulk tanker for PUR precursors A	14	tkm	Undefined	
Polyether-polyols A	100	kg	Undefined	
Water for PUR A	0	kg	Undefined	Contact supplier
PUR water blowing A	0	kg	Undefined	Contact supplier
Pentane for PUR A	0	kg	Undefined	Contact supplier
PUR pentane blowing A	0	kg	Undefined	Contact supplier

Electricity/heat

Electricity for PUR A	140	kg	Undefined
-----------------------	-----	----	-----------

Emissions to air

Carbon dioxide	0	kg	Undefined
----------------	---	----	-----------

Pentane

0	kg	Undefined
---	----	-----------

Emissions to water

Emissions to soil

Final waste flows

Waste, industrial	2,8	kg	Undefined
-------------------	-----	----	-----------

Non material emissions

Social issues

**ANEXO 2 - BANCO DE DADOS PARA INCINERAÇÃO DOS PAINÉIS DE MADEIRA**

SimaPro 7.0 Educational  
Project: Larissa

Process

Date: 16/6/2007 Time: 17:12:55

Process

Category type	Waste treatment
Process identifier	CaxdoSul11557600090
Type	
Process name	Wood ash mixed to Municipal Waste Incinerator
Status	
Time period	1990-1994
Geography	Europe, Western
Technology	Average technology
Representativeness	Theoretical calculation
Waste treatment allocation	Not applicable
Cut off rules	Unknown
Capital goods	Third order (including capital goods)
Boundary with nature	Not applicable
Infrastructure	No
Date	3/2/2003
Record	PRé Consultants, The Netherlands, MO
Generator	ETH-ESU, Zurich, Switzerland
Literature references	ETH-ESU 1996

Collection method

Data treatment

Verification

Comment

Wood ash mixed to Municipal Waste Incinerator, original German title: Holzasche gemischt in KVA.  
Unit inventory with links to other processes. Data are specifically created for use in the ETH-ESU 96 study on energy systems and should not be used as such in other projects. Describes the emissions during waste treatment. The flow of waste itself is not modelled as a solid emission, which means this waste treatment may be incompatible with some impact assessment methods that assess waste (such as ecopoints 97 and Eco-indicator 95). Small differences with the comparable system process can occur due to omission of small emissions and rounding differences.

Incineration of wood ashes from wood stoves of families and companies. Ashes contain 3% carbon as carbon black or carbonate which are converted to CO<sub>2</sub> in the MWI. Ash content of the wood ashes is assumed to be 97%. Emissions estimated from the element composition of wood ashes. Co-produced heat and electricity from waste incinerators are interpreted as by-products and do not bear any emissions or resource requirements from the process

Allocation rules

System description

System model Waste Management

Waste treatment

Wood ash mixed to MWI S

1 kg All waste types

Incineration\Municipal incineration

Avoided products

Resources

Baryte, in ground	in ground	0,000111	kg	Undefined
Bauxite, in ground	in ground	0,00011	kg	Undefined
Clay, bentonite, in ground	in ground	4,1E-5	kg	Undefined
Lead, in ground	in ground	1,95E-5	kg	Undefined
Chromium, in ground	in ground	1,0E-5	kg	Undefined
Iron, in ground	in ground	0,00246	kg	Undefined
Marl, in ground	in ground	0,00892	kg	Undefined
Gravel, in ground	in ground	0,163	kg	Undefined
Cobalt, in ground	in ground	5,36E-11	kg	Undefined
Copper, in ground	in ground	2,0E-5	kg	Undefined
Manganese, in ground	in ground	5,34E-6	kg	Undefined
Molybdenum, in ground	in ground	6,9E-11	kg	Undefined
Nickel, in ground	in ground	4,65E-6	kg	Undefined
Palladium, in ground	in ground	1,0E-11	kg	Undefined
Platinum, in ground	in ground	1,17E-11	kg	Undefined
Rhenium, in ground	in ground	8,86E-12	kg	Undefined
Rhodium, in ground	in ground	1,07E-11	kg	Undefined
Sand, unspecified, in ground	in ground	0,00262	kg	Undefined
Silver, in ground	in ground	4,94E-7	kg	Undefined
Sodium chloride, in ground	in ground	0,000895	kg	Undefined
Clay, unspecified, in ground	in ground	0,00193	kg	Undefined
Water, turbine use, unspecified natural ori		0,332	m3	Undefined
Water, unspecified natural origin/kg	in water	2,85	kg	Undefined
Zinc, in ground	in ground	1,81E-7	kg	Undefined
Tin, in ground	in ground	2,75E-7	kg	Undefined
Gas, petroleum, 35 MJ per m3, in ground	in ground	0,00168	m3	Undefined
Gas, mine, off-gas, process, coal mining/t	in ground	8,83E-5	kg	Undefined
Wood, dry matter	biotic	1,95E-7	ton	Undefined
Volume occupied, reservoir	in water	0,00144	m3y	Undefined
Energy, potential, stock, in barrage water	in water	6,51E-8	TJ	Undefined
Coal, brown, 8 MJ per kg, in ground	in ground	0,0119	kg	Undefined
Coal, 18 MJ per kg, in ground	in ground	0,0126	kg	Undefined

SimaPro 7.0 Educational Project: Larissa		Process	Date: 16/6/2007 Time: 17:12:55	
Gas, natural, 35 MJ per m3, in ground	in ground	0,0026	m3	Undefined
Oil, crude, 42.6 MJ per kg, in ground	in ground	2,45E-5	ton	Undefined
Uranium, 560 GJ per kg, in ground	in ground	8,54E-7	kg	Undefined
Land use II-III, sea floor	land	0,00167	m2a	Undefined
Land use II-IV, sea floor	land	0,000172	m2a	Undefined
Land use II-III	land	0,0058	m2a	Undefined
Land use II-IV	land	0,00232	m2a	Undefined
Land use III-IV	land	0,000704	m2a	Undefined
Land use IV-IV	land	2,62E-5	m2a	Undefined
Materials/fuels				
Electricity/heat				
Emissions to air				
Acetaldehyde		4,76E-8	kg	Undefined
Acetone		8,9E-8	kg	Undefined
Acrolein		1,62E-8	kg	Undefined
Aluminum		6,8212E-7	kg	Undefined
Aldehydes, unspecified		6,82E-10	kg	Undefined
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspeci		1,048E-6	kg	Undefined
Hydrocarbons, aliphatic, alkenes, unspeci		8,843E-8	kg	Undefined
Hydrocarbons, aromatic		5,0793E-8	kg	Undefined
Arsenic		9,782E-9	kg	Undefined
Boron		4,560445E-7	kg	Undefined
Barium		5,6563E-8	kg	Undefined
Benzo(a)pyrene		2,937E-10	kg	Undefined
Beryllium		1,1012E-10	kg	Undefined
Benzaldehyde		8,44E-9	kg	Undefined
Benzene		1,0584E-6	kg	Undefined
Bromine		4,7226E-8	kg	Undefined
Butane		2,449E-6	kg	Undefined
Butene		3,06E-7	kg	Undefined
Ethane, hexafluoro-, HFC-116		1,2E-9	kg	Undefined
Calcium		3,02444E-6	kg	Undefined
Cadmium		1,0189E-8	kg	Undefined
Methane, tetrafluoro-, FC-14		1,08E-8	kg	Undefined
Methane		0,00019361	kg	Undefined
Cyanide		7,7000019E-	kg	Undefined
Cobalt		7,375E-9	kg	Undefined
Carbon monoxide		0,000385	kg	Undefined
Carbon dioxide		0,11454	kg	Undefined
Chromium		1,12691E-8	kg	Undefined
Copper		3,502E-8	kg	Undefined
Methane, dichloro-, HCC-30		3,75E-9	kg	Undefined
Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21		7,7E-8	kg	Undefined
Acetic acid		8,67E-8	kg	Undefined
Ethane		1,0352E-6	kg	Undefined
Ethanol		3,7374E-8	kg	Undefined
Ethene		8,517E-6	kg	Undefined
Ethyne		1,67E-8	kg	Undefined
Benzene, ethyl-		1,011E-7	kg	Undefined
Ethane, dichloro-		2,1E-9	kg	Undefined
Iron		6,6981E-7	kg	Undefined
Formaldehyde		1,49113E-7	kg	Undefined
Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301		9,53E-9	kg	Undefined
Hydrogen sulfide		1,744E-7	kg	Undefined
Hydrogen chloride		7,25E-6	kg	Undefined
Helium		1,69E-6	kg	Undefined
Heptane		5,04E-7	kg	Undefined
Benzene, hexachloro-		1,04E-9	kg	Undefined
Hexane		1,05E-6	kg	Undefined
Hydrogen fluoride		9,563E-7	kg	Undefined
Mercury		3,50282E-9	kg	Undefined
Iodine		2,12997E-8	kg	Undefined
Potassium		3,583E-6	kg	Undefined
Lanthanum		2,9515E-10	kg	Undefined
Methanol		3,9E-8	kg	Undefined
Magnesium		2,305E-7	kg	Undefined
Manganese		3,89E-7	kg	Undefined
Molybdenum		2,19442E-9	kg	Undefined
t-Butyl methyl ether		8,61E-10	kg	Undefined
Nitrogen		7,11E-7	kg	Undefined
Dinitrogen monoxide		4,47E-6	kg	Undefined
Sodium		3,26015E-7	kg	Undefined
Ammonia		4,88E-6	kg	Undefined
Nickel		7,881E-8	kg	Undefined
NM VOC, non-methane volatile organic co		0,0003054	kg	Undefined
Nitrogen oxides		0,00115957	kg	Undefined

SimaPro 7.0 Educational  
Project: Larissa

Process

Date: 16/6/2007 Time: 17:12:55

Phosphorus, total	5,95128E-6	kg	Undefined
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	1,3139E-8	kg	Undefined
Particulates, < 10 um (mobile)	2,06E-5	kg	Undefined
Particulates, > 10 um (process)	4,48E-5	kg	Undefined
Particulates, < 10 um (stationary)	1,96E-5	kg	Undefined
Lead	1,214E-7	kg	Undefined
Benzene, pentachloro-	2,78E-9	kg	Undefined
Phenol, pentachloro-	4,49E-10	kg	Undefined
Pentane	2,948E-6	kg	Undefined
Phenol	3,27E-10	kg	Undefined
Propane	2,2964E-6	kg	Undefined
Propene	1,737E-7	kg	Undefined
Acrolein	8,44E-9	kg	Undefined
Propionic acid	1,63E-9	kg	Undefined
Platinum	3,26E-11	kg	Undefined
Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	2,68E-10	kg	Undefined
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, (	7,14E-9	kg	Undefined
Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	5,77E-11	kg	Undefined
Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	3,62E-11	kg	Undefined
Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	6,4E-11	kg	Undefined
Antimony	5,88889E-10	kg	Undefined
Scandium	9,881E-11	kg	Undefined
Selenium	4,658982E-7	kg	Undefined
Silicon	2,24204E-6	kg	Undefined
Tin	2,2463E-10	kg	Undefined
Sulfur oxides	0,0005347	kg	Undefined
Strontium	1,0163E-8	kg	Undefined
Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachloroc	24.2	ng	Undefined
Methane, tetrachloro-, CFC-10	1,12E-9	kg	Undefined
Thorium	1,8821E-10	kg	Undefined
Titanium	2,8094E-8	kg	Undefined
Thallium	7,1815E-11	kg	Undefined
Toluene	1,257E-6	kg	Undefined
Chloroform	5,55E-11	kg	Undefined
Uranium	2,0863E-10	kg	Undefined
Vanadium	2,10432E-7	kg	Undefined
Ethene, chloro-	3,42E-10	kg	Undefined
Xylene	5,56E-7	kg	Undefined
Zinc	8,233E-7	kg	Undefined
Zirconium	3,95E-11	kg	Undefined
Silver-110	3,36E-10	kBq	Undefined
Americium-241	6,58E-9	kBq	Undefined
Argon-41	0,000726	kBq	Undefined
Barium-140	1,67E-9	kBq	Undefined
Radioactive species, other beta emitters	8,94E-11	kBq	Undefined
Carbon-14	0,000545	kBq	Undefined
Cerium-141	3,16E-11	kBq	Undefined
Cerium-144	7,0E-8	kBq	Undefined
Curium alpha	1,05E-8	kBq	Undefined
Curium-242	3,28E-14	kBq	Undefined
Curium-244	2,98E-13	kBq	Undefined
Cobalt-57	5,73E-13	kBq	Undefined
Cobalt-58	9,5E-9	kBq	Undefined
Cobalt-60	1,46E-8	kBq	Undefined
Chromium-51	1,22E-9	kBq	Undefined
Cesium-134	2,5E-7	kBq	Undefined
Cesium-137	4,83E-7	kBq	Undefined
Iron-59	1,3E-11	kBq	Undefined
Hydrogen-3, Tritium	0,00527	kBq	Undefined
Iodine-129	1,88E-6	kBq	Undefined
Iodine-131	3,07E-7	kBq	Undefined
Iodine-133	1,12E-7	kBq	Undefined
Iodine-135	1,66E-7	kBq	Undefined
Potassium-40	9,63E-7	kBq	Undefined
Krypton-85	32.4	kBq	Undefined
Krypton-85m	7,07E-5	kBq	Undefined
Krypton-87	2,65E-5	kBq	Undefined
Krypton-88	0,00146	kBq	Undefined
Krypton-89	2,23E-5	kBq	Undefined
Lanthanum-140	8,88E-10	kBq	Undefined
Manganese-54	3,45E-10	kBq	Undefined
Niobium-95	6,15E-11	kBq	Undefined
Neptunium-237	3,45E-13	kBq	Undefined
Protactinium-234	2,09E-7	kBq	Undefined
Lead-210	5,7E-6	kBq	Undefined
Promethium-147	1,78E-7	kBq	Undefined
Polonium-210	8,5E-6	kBq	Undefined
Plutonium-alpha	2,09E-8	kBq	Undefined
Plutonium-238	7,41E-13	kBq	Undefined

SimaPro 7.0 Educational  
Project: Larissa

Process

Date: 16/6/2007 Time: 17:12:55

Radium-226	7,423E-6	kBq	Undefined
Radium-228	4,73E-7	kBq	Undefined
Radon-220	4,39E-5	kBq	Undefined
Radon-222	0,50523	kBq	Undefined
Radon-222	low. pop., long-term 46,5	kBq	Undefined
Ruthenium-103	3,93E-12	kBq	Undefined
Ruthenium-106	2,09E-6	kBq	Undefined
Antimony-124	9,4E-11	kBq	Undefined
Antimony-125	2,01E-11	kBq	Undefined
Strontium-89	6,05E-10	kBq	Undefined
Strontium-90	3,45E-7	kBq	Undefined
Technetium-99	1,46E-11	kBq	Undefined
Tellurium-123m	1,49E-9	kBq	Undefined
Thorium-228	4,0E-7	kBq	Undefined
Thorium-230	2,32E-6	kBq	Undefined
Thorium-232	2,54E-7	kBq	Undefined
Thorium-234	2,09E-7	kBq	Undefined
Uranium alpha	7,48E-6	kBq	Undefined
Uranium-234	2,5E-6	kBq	Undefined
Uranium-235	1,21E-7	kBq	Undefined
Uranium-238	3,198E-6	kBq	Undefined
Xenon-131m	0,000122	kBq	Undefined
Xenon-133	0,023	kBq	Undefined
Xenon-133m	1,11E-5	kBq	Undefined
Xenon-135	0,00446	kBq	Undefined
Xenon-135m	0,000692	kBq	Undefined
Xenon-137	1,57E-5	kBq	Undefined
Xenon-138	0,00019	kBq	Undefined
Zinc-65	1,64E-9	kBq	Undefined
Zirconium-95	2,17E-11	kBq	Undefined
Plutonium-241	5,75E-7	kBq	Undefined
Noble gases, radioactive, unspecified	0,000109	kBq	Undefined
Heat, waste	2,321E-6	TJ	Undefined
Emissions to water			
Acenaphthylene	1,07E-8	kg	Undefined
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspeci	1,529E-7	kg	Undefined
Hydrocarbons, aliphatic, alkenes, unspeci	1,414E-8	kg	Undefined
Ammonia, as N	1,691E-6	kg	Undefined
AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl	3,93E-9	kg	Undefined
Hydrocarbons, aromatic	7,031E-7	kg	Undefined
Barite	2,08E-5	kg	Undefined
Benzene	1,562E-7	kg	Undefined
Phthalate, dioctyl-	3,05E-13	kg	Undefined
BOD5, Biological Oxygen Demand	4,144E-7	kg	Undefined
Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	2,76E-11	kg	Undefined
Benzene, chloro-	7,38E-14	kg	Undefined
Ethane, dichloro-	1,08E-9	kg	Undefined
Ethane, hexachloro-	2,4E-14	kg	Undefined
Hypochlorous acid	1,317E-7	kg	Undefined
Chlorinated solvents, unspecified	2,75E-10	kg	Undefined
Methane, dichloro-, HCC-30	1,06E-8	kg	Undefined
Hypochlorite	1,317E-7	kg	Undefined
Ethene, tetrachloro-	2,85E-12	kg	Undefined
Methane, tetrachloro-, CFC-10	4,35E-12	kg	Undefined
Ethene, trichloro-	1,8E-10	kg	Undefined
Chloroform	6,61E-10	kg	Undefined
Chloride	0,000862	kg	Undefined
COD, Chemical Oxygen Demand	4,14E-6	kg	Undefined
Cyanide	1,472E-8	kg	Undefined
Phthalate, p-dibutyl-	1,08E-12	kg	Undefined
Phthalate, p-dimethyl-	6,81E-12	kg	Undefined
DOC, Dissolved Organic Carbon	3,831E-8	kg	Undefined
Benzene, ethyl-	2,814E-8	kg	Undefined
Oils, unspecified	2,2482E-5	kg	Undefined
Fatty acids as C	5,932E-6	kg	Undefined
VOC, volatile organic compounds as C	4,096E-7	kg	Undefined
Fluoride	5,933E-7	kg	Undefined
Formaldehyde	2,08E-11	kg	Undefined
Solved substances	8,511E-6	kg	Undefined
Glutaraldehyde	2,57E-9	kg	Undefined
Aluminum	2,080142E-€	kg	Undefined
Antimony	3,7E-10	kg	Undefined
Arsenic, ion	4,1885E-8	kg	Undefined
Barium	4,59E-6	kg	Undefined
Beryllium	2,95E-11	kg	Undefined
Lead	1,800287E-€	kg	Undefined
Boron	5,76E-8	kg	Undefined
Cadmium, ion	2,800593E-€	kg	Undefined

SimaPro 7.0 Educational  
Project: Larissa

Process

Date: 16/6/2007 Time: 17:12:55

Cesium	1,174E-9	kg	Undefined
Calcium, ion	0,1220329	kg	Undefined
Chromium, ion	2,77877E-6	kg	Undefined
Chromium VI	3,19E-11	kg	Undefined
Iron	0,000448111	kg	Undefined
Iodide	1,172E-7	kg	Undefined
Potassium	2,362E-5	kg	Undefined
Cobalt	4,04E-8	kg	Undefined
Copper, ion	1,450132E-5	kg	Undefined
Magnesium	1,8368E-5	kg	Undefined
Manganese	5,413E-7	kg	Undefined
Molybdenum	7,0784E-8	kg	Undefined
Sodium, ion	0,000462	kg	Undefined
Nickel, ion	1,1035E-7	kg	Undefined
Mercury	3,17463E-9	kg	Undefined
Ruthenium	1,174E-8	kg	Undefined
Selenium	1,08286E-7	kg	Undefined
Silver	8,68E-10	kg	Undefined
Silicon	1,68E-8	kg	Undefined
Strontium	7,33E-6	kg	Undefined
Titanium, ion	1,22E-6	kg	Undefined
Vanadium, ion	1,08284E-7	kg	Undefined
Tungsten	7,36E-10	kg	Undefined
Zinc, ion	0,000411002	kg	Undefined
Tin, ion	1,57E-10	kg	Undefined
Hydrocarbons, unspecified	1,01E-8	kg	Undefined
t-Butyl methyl ether	6,57E-11	kg	Undefined
Nitrate	2,104E-6	kg	Undefined
Nitrite	3,3776E-8	kg	Undefined
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	1,591E-8	kg	Undefined
Phenols, unspecified	1,57E-7	kg	Undefined
Phosphate	7,16284E-6	kg	Undefined
Phosphorus compounds, unspecified	6,88E-10	kg	Undefined
Acids, unspecified	1,1E-8	kg	Undefined
Salts, unspecified	4,22E-5	kg	Undefined
Hydrogen sulfide	3,5E-9	kg	Undefined
Nitrogen, total	1,988E-6	kg	Undefined
Nitrogen, organic bound	2,99E-7	kg	Undefined
Sulfate	0,06490589	kg	Undefined
Sulfide	3,27E-8	kg	Undefined
Sulfur trioxide	0,000962	kg	Undefined
TOC, Total Organic Carbon	0,00161711	kg	Undefined
Toluene	1,284E-7	kg	Undefined
Tributyltin	1,51E-9	kg	Undefined
Triethylene glycol	3,831E-8	kg	Undefined
Undissolved substances	6,745E-5	kg	Undefined
Ethene, chloro-	8,09E-13	kg	Undefined
Xylene	1,115E-7	kg	Undefined
Silver-110	2,3E-6	kBq	Undefined
Radioactive species, alpha emitters	2,7E-10	kBq	Undefined
Americium-241	8,67E-7	kBq	Undefined
Barium-140	1,03E-8	kBq	Undefined
Carbon-14	4,39E-5	kBq	Undefined
Cadmium-109	5,95E-11	kBq	Undefined
Cerium-141	1,54E-9	kBq	Undefined
Cerium-144	1,9900439E-	kBq	Undefined
Curium alpha	1,15E-6	kBq	Undefined
Cobalt-57	1,06E-8	kBq	Undefined
Cobalt-58	5,82E-6	kBq	Undefined
Cobalt-60	0,00019527	kBq	Undefined
Chromium-51	2,26E-7	kBq	Undefined
Cesium-134	4,4424E-5	kBq	Undefined
Cesium-136	5,52E-11	kBq	Undefined
Cesium-137	0,00040961	kBq	Undefined
Iron-59	1,82E-10	kBq	Undefined
Radioactive species, from fission and acti	2,45E-6	kBq	Undefined
Hydrogen-3, Tritium	1,2953	kBq	Undefined
Iodine-129	0,000125	kBq	Undefined
Iodine-131	1,04E-7	kBq	Undefined
Iodine-133	4,71E-8	kBq	Undefined
Potassium-40	2,99E-6	kBq	Undefined
Lanthanum-140	2,13E-9	kBq	Undefined
Manganese-54	2,958E-5	kBq	Undefined
Molybdenum-99	7,2E-10	kBq	Undefined
Sodium-24	3,17E-7	kBq	Undefined
Niobium-95	5,85E-9	kBq	Undefined
Neptunium-237	5,54E-8	kBq	Undefined
Protactinium-234	3,87E-6	kBq	Undefined
Lead-210	2,38E-6	kBq	Undefined

SimaPro 7.0 Educational  
Project: Larissa

Process

Date: 16/6/2007 Time: 17:12:55

Polonium-210		2,38E-6	kBq	Undefined
Plutonium-alpha		3,45E-6	kBq	Undefined
Radium-224		5,859E-5	kBq	Undefined
Radium-226		0,016103	kBq	Undefined
Radium-228		0,0001172	kBq	Undefined
Ruthenium-103		3,45E-9	kBq	Undefined
Ruthenium-106		0,000209	kBq	Undefined
Antimony-122		1,03E-8	kBq	Undefined
Antimony-124		6,76E-7	kBq	Undefined
Antimony-125		8,4E-8	kBq	Undefined
Strontium-89		2,33E-8	kBq	Undefined
Strontium-90		4,180859E-5	kBq	Undefined
Technetium-99		2,19E-5	kBq	Undefined
Technetium-99m		4,85E-9	kBq	Undefined
Tellurium-123m		4,34E-10	kBq	Undefined
Tellurium-132		1,78E-10	kBq	Undefined
Thorium-228		0,0002344	kBq	Undefined
Thorium-230		0,000605	kBq	Undefined
Thorium-232		5,58E-7	kBq	Undefined
Thorium-234		3,9E-6	kBq	Undefined
Uranium alpha		0,00025272	kBq	Undefined
Uranium-234		5,17E-6	kBq	Undefined
Uranium-235		7,7E-6	kBq	Undefined
Uranium-238		1,3E-5	kBq	Undefined
Yttrium-90		1,19E-9	kBq	Undefined
Zinc-65		6,7E-7	kBq	Undefined
Zirconium-95		1,78142E-6	kBq	Undefined
Plutonium-241		8,57E-5	kBq	Undefined
Radioactive species, Nuclides, unspecifie		2,0E-9	kBq	Undefined
Heat, waste		1,322E-8	TJ	Undefined
Emissions to soil				
Aluminum		1,52E-6	kg	Undefined
Arsenic	industrial	6,08E-10	kg	Undefined
Carbon	industrial	4,7E-6	kg	Undefined
Calcium	industrial	6,08E-6	kg	Undefined
Cadmium	industrial	4,08E-11	kg	Undefined
Cobalt	industrial	3,19E-11	kg	Undefined
Chromium	industrial	7,6E-9	kg	Undefined
Copper	industrial	1,59E-10	kg	Undefined
Iron	industrial	3,04E-6	kg	Undefined
Mercury	industrial	4,49E-12	kg	Undefined
Manganese	industrial	6,08E-8	kg	Undefined
Nitrogen		1,35E-9	kg	Undefined
Nickel	industrial	2,39E-10	kg	Undefined
Oils, biogenic		3,01E-9	kg	Undefined
Oils, unspecified	industrial	1,03E-6	kg	Undefined
Phosphorus	industrial	7,8E-8	kg	Undefined
Lead	industrial	7,29E-10	kg	Undefined
Sulfur	industrial	9,12E-7	kg	Undefined
Zinc	industrial	2,44E-8	kg	Undefined
Heat, waste		3,53E-9	TJ	Undefined
Final waste flows				
Non material emissions				
Social issues				
Economic issues				
Waste to treatment				
Input parameters				
Calculated parameters				

**ANEXO 3 - BANCO DE DADOS PARA ATERRO DOS MATERIAIS QUE CONSTITUEM OS PAINÉIS  
MULTILAMINARES**

SimaPro 7.0 Educational  
Project: Larissa

Process

Date: 16/6/2007 Time: 17:21:15

Process

Category type Waste treatment  
 Process identifier CaxdoSul11557600092  
 Type System  
 Process name Final disposal of PVC packaging waste in a landfill  
 Status  
 Time period 1995-1999  
 Geography Europe, Western  
 Technology Average technology  
 Representativeness Mixed data  
 Waste treatment allocation Not applicable  
 Cut off rules Unspecified  
 Capital goods Second order (material/energy flows including operations)  
 Boundary with nature Not applicable  
 Infrastructure No  
 Date 5/5/1997  
 Record PRé Consultants, Amersfoort, The Netherlands, RS  
 Generator ETH Zürich, Institut für Verfahrens- und Kältetechnik (IVUK), Switzerland.  
 EMPA, St. Gallen, Switzerland.  
 Literature references BUWAL 250 (1996)  
 Part 2, Table 17.30

Collection method

Data treatment

Verification

Comment

Final disposal of PVC packaging waste in a landfill for municipal waste according to present technology (1995). The inventory is based on the average composition of PVC in municipal waste in Switzerland, with material specific transfer coefficients. The inventory includes waste collection, waste water treatment, sludge treatment by landfarming and sludge incineration and energy recovery from biogas. The inventory is derived from the Swiss scenario for waste disposal in a landfill (DEPONIE-Szenario 100%). Only the controlled phase is included!

Allocation rules

System description

Municipal landfill (1995)

Waste treatment

Landfill PVC B250

1000 kg PVC

Landfill/Sanitary landfill

Avoided products

Resources

Coal, brown, 8 MJ per kg, in ground	in ground	0,0584	kg	Undefined
Gas, natural, 36.6 MJ per m3, in ground	in ground	0,268	m3	Undefined
Coal, 18 MJ per kg, in ground	in ground	0,0522	kg	Undefined
Oil, crude, 42.6 MJ per kg, in ground	in ground	4,19	kg	Undefined
Uranium, 451 GJ per kg, in ground	in ground	0,012	g	Undefined
Wood, unspecified, standing/kg	biotic	0,000511	kg	Undefined
Energy, potential, stock, in barrage water	in water	1,33	MJ	Undefined
Water, process, unspecified natural origin	in water	0,0006	m3	Undefined

Materials/fuels

Electricity/heat

Emissions to air

Particulates	12,9	g	Undefined
Benzene	0,0512	g	Undefined
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	0,000127	g	Undefined
Hydrocarbons, aromatic	0,0855	g	Undefined
Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	0,001	g	Undefined
Hydrocarbons, halogenated	2,55E-6	g	Undefined
Methane	7850	g	Undefined
NM VOC, non-methane volatile organic co	89	g	Undefined
Carbon dioxide	75500	g	Undefined
Carbon monoxide	78	g	Undefined
Ammonia	0,324	g	Undefined
Hydrogen fluoride	1,35	g	Undefined
Dinitrogen monoxide	0,393	g	Undefined
Hydrogen chloride	334	g	Undefined
Sulfur oxides	57,6	g	Undefined
Nitrogen oxides	197	g	Undefined
Lead	0,00101	g	Undefined
Cadmium	0,00051	g	Undefined
Manganese	1,74E-5	g	Undefined
Nickel	0,00671	g	Undefined
Mercury	0,00569	g	Undefined
Zinc	0,162	g	Undefined
Metals, unspecified	0,0489	g	Undefined
Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachloroc	1,43E-8	g	Undefined

SimaPro 7.0 Educational Project: Larissa	Process			Date: 16/6/2007 Time: 17:21:15
Radioactive species, unspecified	1040	kBq	Undefined	
Emissions to water				
BOD5, Biological Oxygen Demand	0,0188	g	Undefined	
COD, Chemical Oxygen Demand	0,612	g	Undefined	
AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl	0,000818	g	Undefined	
Suspended substances, unspecified	12	g	Undefined	
Phenols, unspecified	0,0277	g	Undefined	
Toluene	0,0249	g	Undefined	
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	0,00273	g	Undefined	
Hydrocarbons, aromatic	0,178	g	Undefined	
Hydrocarbons, chlorinated	0,000184	g	Undefined	
Oils, unspecified	5,58	g	Undefined	
DOC, Dissolved Organic Carbon	0,000949	g	Undefined	
TOC, Total Organic Carbon	138	g	Undefined	
Ammonium, ion	24,7	g	Undefined	
Nitrate	78,8	g	Undefined	
Kjeldahl-N	0,0775	g	Undefined	
Nitrogen, total	0,447	g	Undefined	
Arsenic, ion	0,000336	g	Undefined	
Chloride	22900	g	Undefined	
Cyanide	0,000822	g	Undefined	
Phosphate	0,00723	g	Undefined	
Sulfate	103	g	Undefined	
Sulfide	0,00656	g	Undefined	
Solved substances, inorganic	82,1	g	Undefined	
Aluminum	0,0881	g	Undefined	
Barium	0,532	g	Undefined	
Lead	0,00142	g	Undefined	
Cadmium, ion	0,0178	g	Undefined	
Chromium	0,00263	g	Undefined	
Iron	0,175	g	Undefined	
Copper, ion	0,123	g	Undefined	
Nickel, ion	0,00101	g	Undefined	
Mercury	0,00335	g	Undefined	
Zinc, ion	0,109	g	Undefined	
Metallic ions, unspecified	1,29	g	Undefined	
Radioactive species, unspecified	9,7	kBq	Undefined	
Emissions to soil				
Lead	0,00171	g	Undefined	
Cadmium	0,00767	g	Undefined	
Carbon	92,9	g	Undefined	
Mercury	0,00322	g	Undefined	
Nitrogen, total	1,97	g	Undefined	
Zinc	3,74E-6	g	Undefined	
Final waste flows				
Non material emissions				
Social issues				
Economic issues				
Waste to treatment				
Input parameters				
Calculated parameters				

SimaPro 7.0 Educational  
Project: Larissa

Process

Date: 16/6/2007 Time: 17:17:55

Process

Category type Waste treatment  
Process identifier CaxdoSul11557600091  
Type  
Process name **Steel (inert) to landfill**  
Status  
Time period 1990-1994  
Geography Europe, Western  
Technology Average technology  
Representativeness Theoretical calculation  
Waste treatment allocation Not applicable  
Cut off rules Unknown  
Capital goods Second order (material/energy flows including operations)  
Boundary with nature Not applicable  
Infrastructure No  
Date 3/2/2003  
Record PRé Consultants, The Netherlands, MO  
Generator ETH-ESU, Zurich, Switzerland  
Literature references ETH-ESU 1996

Collection method

Data treatment

Verification

Comment

Steel (inert) to landfill, original German title: Stahl in Inertstoffdeponie.  
Unit inventory with links to other processes. Data are specifically created for use in the ETH-ESU 96 study on energy systems and should not be used as such in other projects. Describes the emissions during waste treatment. The flow of waste itself is not modelled as a solid emission, which means this waste treatment may be incompatible with some impact assessment methods that assess waste (such as ecopoints 97 and Eco-indicator 95). Small differences with the comparable system process can occur due to omission of small emissions and rounding differences.  
"Inertstoffdeponie" is a type of landfill where according to Swiss regulations only specific types of inorganic waste (mostly building waste) may be dumped. As this is inorganic/inert material that has no or little emissions, only land use, infrastructure and caterpillar on site have been included.

Allocation rules

System description

System model Waste Management

Waste treatment

Steel (inert) to landfill S

1 kg All waste types

Landfill/Inert material landfill

Avoided products

Resources

Baryte, in ground	in ground	6,94E-7	kg	Undefined
Bauxite, in ground	in ground	1,1E-7	kg	Undefined
Clay, bentonite, in ground	in ground	1,38E-7	kg	Undefined
Lead, in ground	in ground	7,2E-9	kg	Undefined
Chromium, in ground	in ground	2,26E-8	kg	Undefined
Iron, in ground	in ground	9,34E-6	kg	Undefined
Marl, in ground	in ground	2,28E-6	kg	Undefined
Gravel, in ground	in ground	1,48E-5	kg	Undefined
Cobalt, in ground	in ground	4,49E-13	kg	Undefined
Copper, in ground	in ground	1,22E-8	kg	Undefined
Manganese, in ground	in ground	2,6E-8	kg	Undefined
Molybdenum, in ground	in ground	9,18E-14	kg	Undefined
Nickel, in ground	in ground	1,46E-9	kg	Undefined
Palladium, in ground	in ground	1,54E-14	kg	Undefined
Platinum, in ground	in ground	1,76E-14	kg	Undefined
Rhenium, in ground	in ground	1,57E-14	kg	Undefined
Rhodium, in ground	in ground	1,64E-14	kg	Undefined
Sand, unspecified, in ground	in ground	3,31E-7	kg	Undefined
Silver, in ground	in ground	4,97E-10	kg	Undefined
Sodium chloride, in ground	in ground	1,97E-7	kg	Undefined
Clay, unspecified, in ground	in ground	2,17E-7	kg	Undefined
Water, turbine use, unspecified natural ori		0,000112	m3	Undefined
Water, unspecified natural origin/kg	in water	0,00528	kg	Undefined
Zinc, in ground	in ground	2,39E-10	kg	Undefined
Tin, in ground	in ground	2,76E-10	kg	Undefined
Gas, petroleum, 35 MJ per m3, in ground	in ground	1,08E-5	m3	Undefined
Gas, mine, off-gas, process, coal mining/	in ground	9,93E-8	kg	Undefined
Wood, dry matter	biotic	2,06E-10	ton	Undefined
Volume occupied, reservoir	in water	4,62E-7	m3y	Undefined
Energy, potential, stock, in barrage water	in water	2,13E-11	TJ	Undefined
Coal, brown, 8 MJ per kg, in ground	in ground	4,56E-6	kg	Undefined
Coal, 18 MJ per kg, in ground	in ground	1,23E-5	kg	Undefined
Gas, natural, 35 MJ per m3, in ground	in ground	2,83E-6	m3	Undefined
Oil, crude, 42.6 MJ per kg, in ground	in ground	1,58E-7	ton	Undefined
Uranium, 560 GJ per kg, in ground	in ground	3,12E-10	kg	Undefined

SimaPro 7.0 Educational Project: Larissa		Process		Date: 16/6/2007 Time: 17:17:55
Land use II-III, sea floor	land	1,1E-5	m2a	Undefined
Land use II-IV, sea floor	land	1,14E-6	m2a	Undefined
Land use II-III	land	0,000671	m2a	Undefined
Land use II-IV	land	0,000161	m2a	Undefined
Land use III-IV	land	0,000371	m2a	Undefined
Land use IV-IV	land	3,48E-9	m2a	Undefined
Materials/fuels				
Electricity/heat				
Emissions to air				
Acetaldehyde		1,34E-11	kg	Undefined
Acetone		1,37E-11	kg	Undefined
Acrolein		1,81E-13	kg	Undefined
Aluminum		3,2653E-10	kg	Undefined
Aldehydes, unspecified		2,49E-13	kg	Undefined
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspeci		3,1593E-9	kg	Undefined
Hydrocarbons, aliphatic, alkenes, unspeci		3,072E-11	kg	Undefined
Hydrocarbons, aromatic		9,622E-12	kg	Undefined
Arsenic		7,453E-12	kg	Undefined
Boron		1,78138E-10	kg	Undefined
Barium		4,637E-12	kg	Undefined
Benzo(a)pyrene		1,5905E-12	kg	Undefined
Beryllium		5,202E-14	kg	Undefined
Benzaldehyde		9,44E-14	kg	Undefined
Benzene		1,5482E-9	kg	Undefined
Bromine		3,36E-11	kg	Undefined
Butane		1,20783E-8	kg	Undefined
Butene		3,9E-10	kg	Undefined
Ethane, hexafluoro-, HFC-116		1,19E-12	kg	Undefined
Calcium		6,5135E-10	kg	Undefined
Cadmium		9,2607E-12	kg	Undefined
Methane, tetrafluoro-, FC-14		1,07E-11	kg	Undefined
Methane		7,3741E-7	kg	Undefined
Cyanide		2,7300005E-	kg	Undefined
Cobalt		1,049E-11	kg	Undefined
Carbon monoxide		2,5486E-6	kg	Undefined
Carbon dioxide		0,0005324	kg	Undefined
Chromium		1,3644E-11	kg	Undefined
Copper		5,634E-11	kg	Undefined
Methane, dichloro-, HCC-30		4,75E-14	kg	Undefined
Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21		2,99E-11	kg	Undefined
Acetic acid		6,57E-11	kg	Undefined
Ethane		3,4968E-9	kg	Undefined
Ethanol		2,59642E-11	kg	Undefined
Ethene		4,147E-9	kg	Undefined
Ethyne		5,63E-12	kg	Undefined
Benzene, ethyl-		3,036E-10	kg	Undefined
Ethane, dichloro-		2,77E-12	kg	Undefined
Iron		7,872E-10	kg	Undefined
Formaldehyde		7,68442E-11	kg	Undefined
Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301		6,12E-11	kg	Undefined
Hydrogen sulfide		5,303E-10	kg	Undefined
Hydrogen chloride		3,401E-9	kg	Undefined
Helium		1,088E-8	kg	Undefined
Heptane		2,84E-9	kg	Undefined
Benzene, hexachloro-		5,86E-17	kg	Undefined
Hexane		5,96E-9	kg	Undefined
Hydrogen fluoride		4,68E-10	kg	Undefined
Mercury		2,0449E-12	kg	Undefined
Iodine		2,058E-11	kg	Undefined
Potassium		1,6342E-9	kg	Undefined
Lanthanum		1,429E-13	kg	Undefined
Methanol		3,47E-11	kg	Undefined
Magnesium		1,329E-10	kg	Undefined
Manganese		4,3148E-10	kg	Undefined
Molybdenum		4,14739E-12	kg	Undefined
t-Butyl methyl ether		6,35E-13	kg	Undefined
Nitrogen		8,01E-10	kg	Undefined
Dinitrogen monoxide		1,9269E-8	kg	Undefined
Sodium		2,2029E-10	kg	Undefined
Ammonia		1,121E-10	kg	Undefined
Nickel		2,298E-10	kg	Undefined
NM VOC, non-methane volatile organic co		2,16567E-6	kg	Undefined
Nitrogen oxides		6,3828E-6	kg	Undefined
Phosphorus, total		1,396E-11	kg	Undefined
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons		5,196E-12	kg	Undefined
Particulates, < 10 um (mobile)		7,48E-9	kg	Undefined

SimaPro 7.0 Educational  
Project: Larissa

Process

Date: 16/6/2007 Time: 17:17:55

Particulates, > 10 um (process)	8,14E-8	kg	Undefined
Particulates, < 10 um (stationary)	9,17E-7	kg	Undefined
Lead	1,744E-10	kg	Undefined
Benzene, pentachloro-	1,57E-16	kg	Undefined
Phenol, pentachloro-	2,53E-17	kg	Undefined
Pentane	1,5135E-8	kg	Undefined
Phenol	1,02E-13	kg	Undefined
Propane	1,19534E-8	kg	Undefined
Propene	5,94E-10	kg	Undefined
Acrolein	9,44E-14	kg	Undefined
Propionic acid	1,84E-12	kg	Undefined
Platinum	3,68E-14	kg	Undefined
Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	9,88E-14	kg	Undefined
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, C	2,61E-12	kg	Undefined
Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	2,12E-14	kg	Undefined
Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	1,33E-14	kg	Undefined
Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	2,46E-14	kg	Undefined
Antimony	2,4571E-13	kg	Undefined
Scandium	4,92E-14	kg	Undefined
Selenium	3,0829E-11	kg	Undefined
Silicon	9,6215E-10	kg	Undefined
Tin	1,0297E-13	kg	Undefined
Sulfur oxides	8,168E-7	kg	Undefined
Strontium	4,847E-12	kg	Undefined
Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachloroc	2,85E-5	ng	Undefined
Methane, tetrachloro-, CFC-10	6,61E-13	kg	Undefined
Thorium	8,6E-14	kg	Undefined
Titanium	1,301E-11	kg	Undefined
Thallium	3,239E-14	kg	Undefined
Toluene	1,774E-9	kg	Undefined
Chloroform	7,33E-14	kg	Undefined
Uranium	8,997E-14	kg	Undefined
Vanadium	6,0924E-10	kg	Undefined
Ethene, chloro-	4,52E-13	kg	Undefined
Xylene	1,334E-9	kg	Undefined
Zinc	4,947E-10	kg	Undefined
Zirconium	1,21E-13	kg	Undefined
Silver-110	1,29E-13	kBq	Undefined
Americium-241	2,4E-12	kBq	Undefined
Argon-41	2,8E-7	kBq	Undefined
Barium-140	5,06E-13	kBq	Undefined
Radioactive species, other beta emitters	1,66E-14	kBq	Undefined
Carbon-14	1,93E-7	kBq	Undefined
Cerium-141	1,2E-14	kBq	Undefined
Cerium-144	2,55E-11	kBq	Undefined
Curium alpha	3,81E-12	kBq	Undefined
Curium-242	1,26E-17	kBq	Undefined
Curium-244	1,15E-16	kBq	Undefined
Cobalt-57	2,21E-16	kBq	Undefined
Cobalt-58	3,65E-12	kBq	Undefined
Cobalt-60	5,44E-12	kBq	Undefined
Chromium-51	4,53E-13	kBq	Undefined
Cesium-134	9,12E-11	kBq	Undefined
Cesium-137	1,76E-10	kBq	Undefined
Iron-59	5,0E-15	kBq	Undefined
Hydrogen-3, Tritium	1,99E-6	kBq	Undefined
Iodine-129	6,85E-10	kBq	Undefined
Iodine-131	7,7E-11	kBq	Undefined
Iodine-133	4,26E-11	kBq	Undefined
Iodine-135	6,38E-11	kBq	Undefined
Potassium-40	4,04E-10	kBq	Undefined
Krypton-85	0,0118	kBq	Undefined
Krypton-85m	1,43E-8	kBq	Undefined
Krypton-87	6,33E-9	kBq	Undefined
Krypton-88	5,57E-7	kBq	Undefined
Krypton-89	4,47E-9	kBq	Undefined
Lanthanum-140	3,19E-13	kBq	Undefined
Manganese-54	1,31E-13	kBq	Undefined
Niobium-95	2,31E-14	kBq	Undefined
Neptunium-237	1,26E-16	kBq	Undefined
Protactinium-234	7,62E-11	kBq	Undefined
Lead-210	2,268E-9	kBq	Undefined
Promethium-147	6,47E-11	kBq	Undefined
Polonium-210	3,448E-9	kBq	Undefined
Plutonium-alpha	7,62E-12	kBq	Undefined
Plutonium-238	2,85E-16	kBq	Undefined
Radium-226	2,757E-9	kBq	Undefined
Radium-228	1,99E-10	kBq	Undefined
Radon-220	1,75E-8	kBq	Undefined

SimaPro 7.0 Educational  
Project: Larissa

Process

Date: 16/6/2007 Time: 17:17:55

Radon-222		0,00018498;	kBq	Undefined
Radon-222	low. pop., long-term	0,017	kBq	Undefined
Ruthenium-103		1,31E-15	kBq	Undefined
Ruthenium-106		7,62E-10	kBq	Undefined
Antimony-124		3,53E-14	kBq	Undefined
Antimony-125		4,57E-15	kBq	Undefined
Strontium-89		2,29E-13	kBq	Undefined
Strontium-90		1,26E-10	kBq	Undefined
Technetium-99		5,33E-15	kBq	Undefined
Tellurium-123m		5,74E-13	kBq	Undefined
Thorium-228		1,68E-10	kBq	Undefined
Thorium-230		8,48E-10	kBq	Undefined
Thorium-232		1,07E-10	kBq	Undefined
Thorium-234		7,62E-11	kBq	Undefined
Uranium alpha		2,73E-9	kBq	Undefined
Uranium-234		9,14E-10	kBq	Undefined
Uranium-235		4,43E-11	kBq	Undefined
Uranium-238		1,206E-9	kBq	Undefined
Xenon-131m		2,92E-8	kBq	Undefined
Xenon-133		8,48E-6	kBq	Undefined
Xenon-133m		4,26E-9	kBq	Undefined
Xenon-135		1,45E-6	kBq	Undefined
Xenon-135m		1,46E-7	kBq	Undefined
Xenon-137		3,6E-9	kBq	Undefined
Xenon-138		3,95E-8	kBq	Undefined
Zinc-65		5,62E-13	kBq	Undefined
Zirconium-95		8,37E-15	kBq	Undefined
Plutonium-241		2,09E-10	kBq	Undefined
Noble gases, radioactive, unspecified		1,73E-8	kBq	Undefined
Heat, waste		7,7405E-9	TJ	Undefined
Emissions to water				
Acenaphthylene		3,64E-12	kg	Undefined
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspeci		1,028E-9	kg	Undefined
Hydrocarbons, aliphatic, alkenes, unspeci		9,49E-11	kg	Undefined
Ammonia, as N		1,322E-8	kg	Undefined
AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl		3,21E-11	kg	Undefined
Hydrocarbons, aromatic		4,73E-9	kg	Undefined
Barite		1,38E-7	kg	Undefined
Benzene		1,043E-9	kg	Undefined
Phthalate, dioctyl-		1,85E-16	kg	Undefined
BOD5, Biological Oxygen Demand		2,013E-9	kg	Undefined
Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140		7,78E-15	kg	Undefined
Benzene, chloro-		3,08E-17	kg	Undefined
Ethane, dichloro-		1,43E-12	kg	Undefined
Ethane, hexachloro-		3,17E-17	kg	Undefined
Hypochlorous acid		5,07E-11	kg	Undefined
Chlorinated solvents, unspecified		1,04E-12	kg	Undefined
Methane, dichloro-, HCC-30		6,33E-11	kg	Undefined
Hypochlorite		5,07E-11	kg	Undefined
Ethene, tetrachloro-		3,76E-15	kg	Undefined
Methane, tetrachloro-, CFC-10		5,74E-15	kg	Undefined
Ethene, trichloro-		2,38E-13	kg	Undefined
Chloroform		8,72E-13	kg	Undefined
Chloride		4,82E-6	kg	Undefined
COD, Chemical Oxygen Demand		3,047E-8	kg	Undefined
Cyanide		7,14E-11	kg	Undefined
Phthalate, p-dibutyl-		3,68E-16	kg	Undefined
Phthalate, p-dimethyl-		2,32E-15	kg	Undefined
DOC, Dissolved Organic Carbon		4,166E-11	kg	Undefined
Benzene, ethyl-		1,901E-10	kg	Undefined
Oils, unspecified		1,4507E-7	kg	Undefined
Fatty acids as C		3,996E-8	kg	Undefined
VOC, volatile organic compounds as C		2,766E-9	kg	Undefined
Fluoride		2,4603E-9	kg	Undefined
Formaldehyde		1,35E-14	kg	Undefined
Solved substances		8,094E-9	kg	Undefined
Glutaraldehyde		1,7E-11	kg	Undefined
Aluminum		2,04118E-8	kg	Undefined
Antimony		6,02E-13	kg	Undefined
Arsenic, ion		4,736E-11	kg	Undefined
Barium		2,16E-8	kg	Undefined
Beryllium		1,12E-14	kg	Undefined
Lead		3,1336E-10	kg	Undefined
Boron		2,978E-10	kg	Undefined
Cadmium, ion		1,797E-11	kg	Undefined
Cesium		7,904E-12	kg	Undefined
Calcium, ion		3,207E-7	kg	Undefined
Chromium, ion		2,969E-10	kg	Undefined

SimaPro 7.0 Educational  
Project: Larissa

Process

Date: 16/6/2007 Time: 17:17:55

Chromium VI	1,33E-14	kg	Undefined
Iron	1,6821E-8	kg	Undefined
Iodide	7,903E-10	kg	Undefined
Potassium	4,52E-8	kg	Undefined
Cobalt	4,19E-11	kg	Undefined
Copper, ion	1,314E-10	kg	Undefined
Magnesium	2,941E-8	kg	Undefined
Manganese	8,89E-10	kg	Undefined
Molybdenum	6,326E-11	kg	Undefined
Sodium, ion	2,673E-6	kg	Undefined
Nickel, ion	1,384E-10	kg	Undefined
Mercury	7,905E-13	kg	Undefined
Ruthenium	7,904E-11	kg	Undefined
Selenium	1,0636E-10	kg	Undefined
Silver	5,36E-12	kg	Undefined
Silicon	7,17E-11	kg	Undefined
Strontium	4,808E-8	kg	Undefined
Titanium, ion	1,19E-9	kg	Undefined
Vanadium, ion	1,0736E-10	kg	Undefined
Tungsten	3,07E-13	kg	Undefined
Zinc, ion	5,066E-10	kg	Undefined
Tin, ion	6,11E-14	kg	Undefined
Hydrocarbons, unspecified	4,22E-11	kg	Undefined
t-Butyl methyl ether	5,19E-14	kg	Undefined
Nitrate	6,47E-9	kg	Undefined
Nitrite	1,3037E-11	kg	Undefined
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	1,039E-10	kg	Undefined
Phenols, unspecified	1,024E-9	kg	Undefined
Phosphate	4,4236E-9	kg	Undefined
Phosphorus compounds, unspecified	3,93E-12	kg	Undefined
Acids, unspecified	3,05E-11	kg	Undefined
Salts, unspecified	1,77E-8	kg	Undefined
Hydrogen sulfide	1,18E-11	kg	Undefined
Nitrogen, total	2,031E-8	kg	Undefined
Nitrogen, organic bound	2,79E-9	kg	Undefined
Sulfate	5,436E-7	kg	Undefined
Sulfide	2,593E-10	kg	Undefined
Sulfur trioxide	3,04E-11	kg	Undefined
TOC, Total Organic Carbon	1,524E-7	kg	Undefined
Toluene	8,6E-10	kg	Undefined
Tributyltin	7,57E-12	kg	Undefined
Triethylene glycol	4,166E-11	kg	Undefined
Undissolved substances	4,2989E-7	kg	Undefined
Ethene, chloro-	1,07E-15	kg	Undefined
Xylene	7,443E-10	kg	Undefined
Silver-110	8,78E-10	kBq	Undefined
Radioactive species, alpha emitters	1,04E-13	kBq	Undefined
Americium-241	3,16E-10	kBq	Undefined
Barium-140	1,64E-12	kBq	Undefined
Carbon-14	1,6E-8	kBq	Undefined
Cadmium-109	9,45E-15	kBq	Undefined
Cerium-141	2,44E-13	kBq	Undefined
Cerium-144	7,2400697E-	kBq	Undefined
Curium alpha	4,19E-10	kBq	Undefined
Cobalt-57	1,68E-12	kBq	Undefined
Cobalt-58	1,39E-9	kBq	Undefined
Cobalt-60	6,995E-8	kBq	Undefined
Chromium-51	3,6E-11	kBq	Undefined
Cesium-134	1,6182E-8	kBq	Undefined
Cesium-136	8,77E-15	kBq	Undefined
Cesium-137	1,49414E-7	kBq	Undefined
Iron-59	2,9E-14	kBq	Undefined
Radioactive species, from fission and acti	9,45E-10	kBq	Undefined
Hydrogen-3, Tritium	0,0004738	kBq	Undefined
Iodine-129	4,57E-8	kBq	Undefined
Iodine-131	3,05E-11	kBq	Undefined
Iodine-133	7,48E-12	kBq	Undefined
Potassium-40	1,16E-9	kBq	Undefined
Lanthanum-140	3,39E-13	kBq	Undefined
Manganese-54	1,07649E-8	kBq	Undefined
Molybdenum-99	1,14E-13	kBq	Undefined
Sodium-24	5,04E-11	kBq	Undefined
Niobium-95	9,28E-13	kBq	Undefined
Neptunium-237	2,02E-11	kBq	Undefined
Protactinium-234	1,41E-9	kBq	Undefined
Lead-210	9,26E-10	kBq	Undefined
Polonium-210	9,26E-10	kBq	Undefined
Plutonium-alpha	1,26E-9	kBq	Undefined
Radium-224	3,947E-7	kBq	Undefined

SimaPro 7.0 Educational  
Project: Larissa

Process

Date: 16/6/2007 Time: 17:17:55

Radium-226		6,613E-6	kBq	Undefined
Radium-228		7,903E-7	kBq	Undefined
Ruthenium-103		5,48E-13	kBq	Undefined
Ruthenium-106		7,62E-8	kBq	Undefined
Antimony-122		1,64E-12	kBq	Undefined
Antimony-124		2,27E-10	kBq	Undefined
Antimony-125		1,33E-11	kBq	Undefined
Strontium-89		3,7E-12	kBq	Undefined
Strontium-90		1,520136E-8	kBq	Undefined
Technetium-99		8,0E-9	kBq	Undefined
Technetium-99m		7,71E-13	kBq	Undefined
Tellurium-123m		6,9E-14	kBq	Undefined
Tellurium-132		2,83E-14	kBq	Undefined
Thorium-228		1,585E-6	kBq	Undefined
Thorium-230		2,21E-7	kBq	Undefined
Thorium-232		2,17E-10	kBq	Undefined
Thorium-234		1,42E-9	kBq	Undefined
Uranium alpha		9,2263E-8	kBq	Undefined
Uranium-234		1,89E-9	kBq	Undefined
Uranium-235		2,81E-9	kBq	Undefined
Uranium-238		4,78E-9	kBq	Undefined
Yttrium-90		1,89E-13	kBq	Undefined
Zinc-65		1,06E-10	kBq	Undefined
Zirconium-95		6,47226E-10	kBq	Undefined
Plutonium-241		3,12E-8	kBq	Undefined
Radioactive species, Nuclides, unspecifie		6,85E-13	kBq	Undefined
Heat, waste		7,344E-11	TJ	Undefined

Emissions to soil

Aluminum		9,11E-9	kg	Undefined
Arsenic	industrial	3,64E-12	kg	Undefined
Carbon	industrial	2,83E-8	kg	Undefined
Calcium	industrial	3,64E-8	kg	Undefined
Cadmium	industrial	1,69E-13	kg	Undefined
Cobalt	industrial	2,15E-13	kg	Undefined
Chromium	industrial	4,56E-11	kg	Undefined
Copper	industrial	1,08E-12	kg	Undefined
Iron	industrial	1,82E-8	kg	Undefined
Mercury	industrial	2,98E-14	kg	Undefined
Manganese	industrial	3,64E-10	kg	Undefined
Nitrogen		8,66E-12	kg	Undefined
Nickel	industrial	1,62E-12	kg	Undefined
Oils, biogenic		3,2E-12	kg	Undefined
Oils, unspecified	industrial	6,82E-9	kg	Undefined
Phosphorus	industrial	4,67E-10	kg	Undefined
Lead	industrial	4,91E-12	kg	Undefined
Sulfur	industrial	5,47E-9	kg	Undefined
Zinc	industrial	1,47E-10	kg	Undefined
Heat, waste		3,11E-12	TJ	Undefined

Final waste flows

Non material emissions

Social issues

Economic issues

Waste to treatment

Input parameters

Calculated parameters

SimaPro 7.0 Educational  
Project: Larissa

Process

Date: 16/6/2007 Time: 17:23:01

Process

Category type	Waste treatment
Process identifier	CaxdoSul11557600093
Type	
Process name	Wood to High Active chemical landfill
Status	
Time period	1990-1994
Geography	Europe, Western
Technology	Average technology
Representativeness	Theoretical calculation
Waste treatment allocation	Not applicable
Cut off rules	Unknown
Capital goods	Third order (including capital goods)
Boundary with nature	Not applicable
Infrastructure	No
Date	3/2/2003
Record	PRé Consultants, The Netherlands, MO
Generator	ETH-ESU, Zurich, Switzerland
Literature references	ETH-ESU 1996

Collection method  
Data treatment  
Verification  
Comment

Wood to High Active chemical landfill, original German title: Holz in Reaktordeponie.  
Unit inventory with links to other processes. Data are specifically created for use in the ETH-ESU 96 study on energy systems and should not be used as such in other projects. Describes the emissions during waste treatment. The flow of waste itself is not modelled as a solid emission, which means this waste treatment may be incompatible with some impact assessment methods that assess waste (such as ecopoints 97 and Eco-indicator 95). Small differences with the comparable system process can occur due to omission of small emissions and rounding differences.

This waste treatment is only used to model the waste treatment of the window frame of the PV flat roof construction Fk1 It is assumed this is untreated wood.

Landfill of (bio)degradable toxic wastes. Degradability is taken account for a period of 150 years and is determined on the basis of chemical composition and physical conditions.  
Included are waste treatment of water originating from the high active chemical landfill. and the consequential treatment of sewage sludge. Landfill gas is either released to air (47%) or incinerated (53%) with partial energy recovery.

Allocation rules  
System description

System model Waste Management

Waste treatment

Wood to HA chemical landfill S	1 kg	All waste types	Landfill/Sanitary landfill
--------------------------------	------	-----------------	----------------------------

Avoided products

Resources

Baryte, in ground	in ground	4,9E-5	kg	Undefined
Bauxite, in ground	in ground	5,3E-5	kg	Undefined
Clay, bentonite, in ground	in ground	1,7E-5	kg	Undefined
Lead, in ground	in ground	1,01E-5	kg	Undefined
Chromium, in ground	in ground	7,43E-6	kg	Undefined
Iron, in ground	in ground	0,00102	kg	Undefined
Marl, in ground	in ground	0,0034	kg	Undefined
Gravel, in ground	in ground	0,168	kg	Undefined
Cobalt, in ground	in ground	1,49E-11	kg	Undefined
Copper, in ground	in ground	1,14E-5	kg	Undefined
Manganese, in ground	in ground	5,27E-6	kg	Undefined
Molybdenum, in ground	in ground	1,05E-11	kg	Undefined
Nickel, in ground	in ground	2,61E-6	kg	Undefined
Palladium, in ground	in ground	7,27E-12	kg	Undefined
Platinum, in ground	in ground	8,36E-12	kg	Undefined
Rhenium, in ground	in ground	6,31E-12	kg	Undefined
Rhodium, in ground	in ground	7,77E-12	kg	Undefined
Sand, unspecified, in ground	in ground	0,000397	kg	Undefined
Silver, in ground	in ground	6,93E-8	kg	Undefined
Sodium chloride, in ground	in ground	8,22E-5	kg	Undefined
Clay, unspecified, in ground	in ground	0,000768	kg	Undefined
Water, turbine use, unspecified natural ori		0,139	m3	Undefined
Water, unspecified natural origin/kg	in water	0,786	kg	Undefined
Zinc, in ground	in ground	7,73E-8	kg	Undefined
Tin, in ground	in ground	3,85E-8	kg	Undefined
Gas, petroleum, 35 MJ per m3, in ground	in ground	0,000725	m3	Undefined
Gas, mine, off-gas, process, coal mining/l	in ground	3,51E-5	kg	Undefined
Wood, dry matter	biotic	1,03E-7	ton	Undefined
Volume occupied, reservoir	in water	0,000613	m3y	Undefined
Energy, potential, stock, in barrage water	in water	2,76E-8	TJ	Undefined

SimaPro 7.0 Educational  
Project: Larissa

Process

Date: 16/6/2007 Time: 17:23:01

Coal, brown, 8 MJ per kg, in ground	in ground	0,00467	kg	Undefined
Coal, 18 MJ per kg, in ground	in ground	0,00501	kg	Undefined
Gas, natural, 35 MJ per m3, in ground	in ground	0,00176	m3	Undefined
Oil, crude, 42.6 MJ per kg, in ground	in ground	1,06E-5	ton	Undefined
Uranium, 560 GJ per kg, in ground	in ground	3,43E-7	kg	Undefined
Land use II-III, sea floor	land	0,00075	m2a	Undefined
Land use II-IV, sea floor	land	7,74E-5	m2a	Undefined
Land use II-III	land	0,00417	m2a	Undefined
Land use II-IV	land	0,00258	m2a	Undefined
Land use III-IV	land	0,000311	m2a	Undefined
Land use IV-IV	land	3,25E-6	m2a	Undefined

#### Materials/fuels

#### Electricity/heat

#### Emissions to air

Acetaldehyde		9,94E-9	kg	Undefined
Acetone		1,35E-8	kg	Undefined
Acrolein		1,4E-9	kg	Undefined
Aluminum		2,47889E-7	kg	Undefined
Aldehydes, unspecified		2,74E-10	kg	Undefined
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspeci		3,215E-7	kg	Undefined
Hydrocarbons, aliphatic, alkenes, unspeci		2,609E-8	kg	Undefined
Hydrocarbons, aromatic		6,339E-9	kg	Undefined
Arsenic		4,3259E-9	kg	Undefined
Boron		1,790182E-7	kg	Undefined
Barium		3,9669E-9	kg	Undefined
Benzo(a)pyrene		1,183E-10	kg	Undefined
Beryllium		4,2868E-11	kg	Undefined
Benzaldehyde		7,32E-10	kg	Undefined
Benzene		3,8157E-7	kg	Undefined
Bromine		1,8658E-8	kg	Undefined
Butane		1,0434E-6	kg	Undefined
Butene		2,25E-7	kg	Undefined
Ethane, hexafluoro-, HFC-116		5,76E-10	kg	Undefined
Calcium		3,16639E-7	kg	Undefined
Cadmium		2,9609E-9	kg	Undefined
Methane, tetrafluoro-, FC-14		5,19E-9	kg	Undefined
Methane		0,13500647	kg	Undefined
Cyanide		3,8300028E-	kg	Undefined
Cobalt		2,5582E-9	kg	Undefined
Carbon monoxide		0,0001701	kg	Undefined
Carbon dioxide		1,10039	kg	Undefined
Chromium		2,7172E-9	kg	Undefined
Copper		1,936E-8	kg	Undefined
Methane, dichloro-, HCC-30		2,47E-11	kg	Undefined
Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21		5,71E-8	kg	Undefined
Acetic acid		3,82E-8	kg	Undefined
Ethane		9,376E-7	kg	Undefined
Ethanol		1,48698E-8	kg	Undefined
Ethene		6,6743E-6	kg	Undefined
Ethyne		2,16E-9	kg	Undefined
Benzene, ethyl-		4,1E-8	kg	Undefined
Ethane, dichloro-		4,02E-9	kg	Undefined
Iron		2,2672E-7	kg	Undefined
Formaldehyde		6,50859E-8	kg	Undefined
Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301		4,12E-9	kg	Undefined
Hydrogen sulfide		8,83E-8	kg	Undefined
Hydrogen chloride		3,8887E-6	kg	Undefined
Helium		7,313E-7	kg	Undefined
Heptane		2,11E-7	kg	Undefined
Benzene, hexachloro-		1,09E-11	kg	Undefined
Hexane		4,41E-7	kg	Undefined
Hydrogen fluoride		3,776E-7	kg	Undefined
Mercury		1,10538E-9	kg	Undefined
Iodine		8,44E-9	kg	Undefined
Potassium		2,056E-7	kg	Undefined
Lanthanum		1,1535E-10	kg	Undefined
Methanol		1,55E-8	kg	Undefined
Magnesium		9,011E-8	kg	Undefined
Manganese		4,718E-8	kg	Undefined
Molybdenum		9,36793E-1C	kg	Undefined
t-Butyl methyl ether		3,02E-10	kg	Undefined
Nitrogen		0,000179	kg	Undefined
Dinitrogen monoxide		2,209E-6	kg	Undefined
Sodium		5,8175E-8	kg	Undefined
Ammonia		6,662E-6	kg	Undefined
Nickel		3,404E-8	kg	Undefined

SimaPro 7.0 Educational  
Project: Larissa

Process

Date: 16/6/2007 Time: 17:23:01

NMVOC, non-methane volatile organic co	0,0001085	kg	Undefined
Nitrogen oxides	0,00021552	kg	Undefined
Phosphorus, total	7,46777E-8	kg	Undefined
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	1,8889E-9	kg	Undefined
Particulates, < 10 um (mobile)	5,83E-6	kg	Undefined
Particulates, > 10 um (process)	1,64E-5	kg	Undefined
Particulates, < 10 um (stationary)	3,55E-5	kg	Undefined
Lead	4,49E-8	kg	Undefined
Benzene, pentachloro-	2,91E-11	kg	Undefined
Phenol, pentachloro-	4,69E-12	kg	Undefined
Pentane	1,217E-6	kg	Undefined
Phenol	1,54E-10	kg	Undefined
Propane	1,1302E-6	kg	Undefined
Propene	7,696E-8	kg	Undefined
Acrolein	7,32E-10	kg	Undefined
Propionic acid	1,16E-9	kg	Undefined
Platinum	1,61E-11	kg	Undefined
Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	1,07E-10	kg	Undefined
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, C	2,87E-9	kg	Undefined
Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	2,31E-11	kg	Undefined
Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	1,45E-11	kg	Undefined
Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	2,72E-11	kg	Undefined
Antimony	2,36365E-10	kg	Undefined
Scandium	3,872E-11	kg	Undefined
Selenium	5,2548E-9	kg	Undefined
Silicon	8,79049E-7	kg	Undefined
Tin	9,2969E-11	kg	Undefined
Sulfur oxides	0,0002289	kg	Undefined
Strontium	3,9669E-9	kg	Undefined
Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachloroc	0,257	ng	Undefined
Methane, tetrachloro-, CFC-10	9,52E-10	kg	Undefined
Thorium	7,352E-11	kg	Undefined
Titanium	1,1003E-8	kg	Undefined
Thallium	2,8135E-11	kg	Undefined
Toluene	1,633E-7	kg	Undefined
Chloroform	1,06E-10	kg	Undefined
Uranium	8,1769E-11	kg	Undefined
Vanadium	9,4236E-8	kg	Undefined
Ethene, chloro-	6,55E-10	kg	Undefined
Xylene	2,29E-7	kg	Undefined
Zinc	2,126E-7	kg	Undefined
Zirconium	1,62E-11	kg	Undefined
Silver-110	1,33E-10	kBq	Undefined
Americium-241	2,65E-9	kBq	Undefined
Argon-41	0,000286	kBq	Undefined
Barium-140	7,15E-10	kBq	Undefined
Radioactive species, other beta emitters	4,27E-11	kBq	Undefined
Carbon-14	0,000221	kBq	Undefined
Cerium-141	1,25E-11	kBq	Undefined
Cerium-144	2,82E-8	kBq	Undefined
Curium alpha	4,2E-9	kBq	Undefined
Curium-242	1,29E-14	kBq	Undefined
Curium-244	1,17E-13	kBq	Undefined
Cobalt-57	2,25E-13	kBq	Undefined
Cobalt-58	3,74E-9	kBq	Undefined
Cobalt-60	5,84E-9	kBq	Undefined
Chromium-51	4,89E-10	kBq	Undefined
Cesium-134	1,0E-7	kBq	Undefined
Cesium-137	1,94E-7	kBq	Undefined
Iron-59	5,1E-12	kBq	Undefined
Hydrogen-3, Tritium	0,00209	kBq	Undefined
Iodine-129	7,56E-7	kBq	Undefined
Iodine-131	1,38E-7	kBq	Undefined
Iodine-133	4,41E-8	kBq	Undefined
Iodine-135	6,52E-8	kBq	Undefined
Potassium-40	3,76E-7	kBq	Undefined
Krypton-85	13	kBq	Undefined
Krypton-85m	3,33E-5	kBq	Undefined
Krypton-87	1,2E-5	kBq	Undefined
Krypton-88	0,000575	kBq	Undefined
Krypton-89	1,05E-5	kBq	Undefined
Lanthanum-140	3,59E-10	kBq	Undefined
Manganese-54	1,37E-10	kBq	Undefined
Niobium-95	2,44E-11	kBq	Undefined
Neptunium-237	1,39E-13	kBq	Undefined
Protactinium-234	8,39E-8	kBq	Undefined
Lead-210	2,254E-6	kBq	Undefined
Promethium-147	7,14E-8	kBq	Undefined
Polonium-210	3,354E-6	kBq	Undefined

SimaPro 7.0 Educational  
Project: Larissa

Process

Date: 16/6/2007 Time: 17:23:01

Plutonium-alpha	8,4E-9	kBq	Undefined
Plutonium-238	2,91E-13	kBq	Undefined
Radium-226	2,971E-6	kBq	Undefined
Radium-228	1,85E-7	kBq	Undefined
Radon-220	1,72E-5	kBq	Undefined
Radon-222	0,2030976	kBq	Undefined
Radon-222	low. pop., long-term 18,7	kBq	Undefined
Ruthenium-103	1,63E-12	kBq	Undefined
Ruthenium-106	8,4E-7	kBq	Undefined
Antimony-124	3,73E-11	kBq	Undefined
Antimony-125	9,25E-12	kBq	Undefined
Strontium-89	2,4E-10	kBq	Undefined
Strontium-90	1,39E-7	kBq	Undefined
Techneium-99	5,88E-12	kBq	Undefined
Tellurium-123m	5,86E-10	kBq	Undefined
Thorium-228	1,56E-7	kBq	Undefined
Thorium-230	9,34E-7	kBq	Undefined
Thorium-232	9,92E-8	kBq	Undefined
Thorium-234	8,39E-8	kBq	Undefined
Uranium alpha	3,01E-6	kBq	Undefined
Uranium-234	1,01E-6	kBq	Undefined
Uranium-235	4,88E-8	kBq	Undefined
Uranium-238	1,275E-6	kBq	Undefined
Xenon-131m	5,54E-5	kBq	Undefined
Xenon-133	0,00923	kBq	Undefined
Xenon-133m	4,35E-6	kBq	Undefined
Xenon-135	0,00187	kBq	Undefined
Xenon-135m	0,000323	kBq	Undefined
Xenon-137	7,22E-6	kBq	Undefined
Xenon-138	8,89E-5	kBq	Undefined
Zinc-65	6,72E-10	kBq	Undefined
Zirconium-95	8,53E-12	kBq	Undefined
Plutonium-241	2,31E-7	kBq	Undefined
Noble gases, radioactive, unspecified	5,32E-5	kBq	Undefined
Heat, waste	5,107E-6	TJ	Undefined
Emissions to water			
Acenaphthylene	4,06E-9	kg	Undefined
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspeci	6,698E-8	kg	Undefined
Hydrocarbons, aliphatic, alkenes, unspeci	6,185E-9	kg	Undefined
Ammonia, as N	0,00040021	kg	Undefined
AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl	1,771E-9	kg	Undefined
Hydrocarbons, aromatic	3,092E-7	kg	Undefined
Barite	9,34E-6	kg	Undefined
Benzene	6,875E-8	kg	Undefined
Phthalate, dioctyl-	3,07E-13	kg	Undefined
BOD5, Biological Oxygen Demand	1,769E-7	kg	Undefined
Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	1,64E-11	kg	Undefined
Benzene, chloro-	5,87E-14	kg	Undefined
Ethane, dichloro-	2,07E-9	kg	Undefined
Ethane, hexachloro-	4,6E-14	kg	Undefined
Hypochlorous acid	5,16E-8	kg	Undefined
Chlorinated solvents, unspecified	1,13E-10	kg	Undefined
Methane, dichloro-, HCC-30	4,63E-9	kg	Undefined
Hypochlorite	5,16E-8	kg	Undefined
Ethene, tetrachloro-	5,46E-12	kg	Undefined
Methane, tetrachloro-, CFC-10	8,33E-12	kg	Undefined
Ethene, trichloro-	3,45E-10	kg	Undefined
Chloroform	1,26E-9	kg	Undefined
Chloride	0,000448	kg	Undefined
COD, Chemical Oxygen Demand	1,807E-6	kg	Undefined
Cyanide	6,258E-9	kg	Undefined
Phthalate, p-dibutyl-	4,11E-13	kg	Undefined
Phthalate, p-dimethyl-	2,59E-12	kg	Undefined
DOC, Dissolved Organic Carbon	2,599E-8	kg	Undefined
Benzene, ethyl-	1,238E-8	kg	Undefined
Oils, unspecified	9,81E-6	kg	Undefined
Fatty acids as C	2,606E-6	kg	Undefined
VOC, volatile organic compounds as C	1,792E-7	kg	Undefined
Fluoride	2,4752E-7	kg	Undefined
Formaldehyde	9,42E-12	kg	Undefined
Solved substances	3,379E-6	kg	Undefined
Glutaraldehyde	1,15E-9	kg	Undefined
Aluminum	8,260658E-6	kg	Undefined
Antimony	1,48E-10	kg	Undefined
Arsenic, ion	1,6632E-8	kg	Undefined
Barium	1,939E-6	kg	Undefined
Beryllium	1,18E-11	kg	Undefined
Lead	7,5233E-8	kg	Undefined

SimaPro 7.0 Educational  
Project: Larissa

Process

Date: 16/6/2007 Time: 17:23:01

Boron	2,501E-8	kg	Undefined
Cadmium, ion	1,02267E-7	kg	Undefined
Cesium	5,137E-10	kg	Undefined
Calcium, ion	2,78E-5	kg	Undefined
Chromium, ion	8,812E-8	kg	Undefined
Chromium VI	1,25E-11	kg	Undefined
Iron	1,02518E-5	kg	Undefined
Iodide	5,127E-8	kg	Undefined
Potassium	4,92E-6	kg	Undefined
Cobalt	1,6E-8	kg	Undefined
Copper, ion	1,300587E-€	kg	Undefined
Magnesium	7,403E-6	kg	Undefined
Manganese	2,163E-7	kg	Undefined
Molybdenum	2,8232E-8	kg	Undefined
Sodium, ion	0,0002043	kg	Undefined
Nickel, ion	4,324E-8	kg	Undefined
Mercury	7,02E-11	kg	Undefined
Ruthenium	5,135E-9	kg	Undefined
Selenium	4,1532E-8	kg	Undefined
Silver	3,75E-10	kg	Undefined
Silicon	7,08E-9	kg	Undefined
Strontium	3,198E-6	kg	Undefined
Titanium, ion	4,89E-7	kg	Undefined
Vanadium, ion	4,3132E-8	kg	Undefined
Tungsten	2,88E-10	kg	Undefined
Zinc, ion	7,67132E-6	kg	Undefined
Tin, ion	6,21E-11	kg	Undefined
Hydrocarbons, unspecified	3,54E-9	kg	Undefined
t-Butyl methyl ether	2,432E-11	kg	Undefined
Nitrate	0,00160010€	kg	Undefined
Nitrite	1,65134E-5	kg	Undefined
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	6,99E-9	kg	Undefined
Phenols, unspecified	6,98E-8	kg	Undefined
Phosphate	8,340132E-€	kg	Undefined
Phosphorus compounds, unspecified	9,81E-7	kg	Undefined
Acids, unspecified	4,5E-9	kg	Undefined
Salts, unspecified	1,66E-5	kg	Undefined
Hydrogen sulfide	1,44E-9	kg	Undefined
Nitrogen, total	8,32E-7	kg	Undefined
Nitrogen, organic bound	1,152E-7	kg	Undefined
Sulfate	0,00055167	kg	Undefined
Sulfide	1,494E-8	kg	Undefined
Sulfur trioxide	2,44E-8	kg	Undefined
TOC, Total Organic Carbon	0,00241312	kg	Undefined
Toluene	5,677E-8	kg	Undefined
Tributyltin	6,43E-10	kg	Undefined
Triethylene glycol	2,599E-8	kg	Undefined
Undissolved substances	3,022E-5	kg	Undefined
Ethene, chloro-	1,55E-12	kg	Undefined
Xylene	4,928E-8	kg	Undefined
Silver-110	9,06E-7	kBq	Undefined
Radioactive species, alpha emitters	1,06E-10	kBq	Undefined
Americium-241	3,49E-7	kBq	Undefined
Barium-140	5,03E-9	kBq	Undefined
Carbon-14	1,76E-5	kBq	Undefined
Cadmium-109	2,91E-11	kBq	Undefined
Cerium-141	7,52E-10	kBq	Undefined
Cerium-144	7,980214E-€	kBq	Undefined
Curium alpha	4,62E-7	kBq	Undefined
Cobalt-57	5,16E-9	kBq	Undefined
Cobalt-58	2,65E-6	kBq	Undefined
Cobalt-60	7,903E-5	kBq	Undefined
Chromium-51	1,11E-7	kBq	Undefined
Cesium-134	1,7814E-5	kBq	Undefined
Cesium-136	2,7E-11	kBq	Undefined
Cesium-137	0,00016471€	kBq	Undefined
Iron-59	8,91E-11	kBq	Undefined
Radioactive species, from fission and acti	9,65E-7	kBq	Undefined
Hydrogen-3, Tritium	0,5221	kBq	Undefined
Iodine-129	5,04E-5	kBq	Undefined
Iodine-131	4,52E-8	kBq	Undefined
Iodine-133	2,3E-8	kBq	Undefined
Potassium-40	1,18E-6	kBq	Undefined
Lanthanum-140	1,04E-9	kBq	Undefined
Manganese-54	1,1928E-5	kBq	Undefined
Molybdenum-99	3,52E-10	kBq	Undefined
Sodium-24	1,55E-7	kBq	Undefined
Niobium-95	2,86E-9	kBq	Undefined
Neptunium-237	2,23E-8	kBq	Undefined

SimaPro 7.0 Educational  
Project: Larissa

Process

Date: 16/6/2007 Time: 17:23:01

Protactinium-234		1,55E-6	kBq	Undefined
Lead-210		9,38E-7	kBq	Undefined
Polonium-210		9,38E-7	kBq	Undefined
Plutonium-alpha		1,39E-6	kBq	Undefined
Radium-224		2,563E-5	kBq	Undefined
Radium-226		0,0064552	kBq	Undefined
Radium-228		5,127E-5	kBq	Undefined
Ruthenium-103		1,69E-9	kBq	Undefined
Ruthenium-106		8,4E-5	kBq	Undefined
Antimony-122		5,03E-9	kBq	Undefined
Antimony-124		2,8E-7	kBq	Undefined
Antimony-125		4,1E-8	kBq	Undefined
Strontium-89		1,14E-8	kBq	Undefined
Strontium-90		1,68042E-5	kBq	Undefined
Technetium-99		8,82E-6	kBq	Undefined
Technetium-99m		2,37E-9	kBq	Undefined
Tellurium-123m		2,12E-10	kBq	Undefined
Tellurium-132		8,7E-11	kBq	Undefined
Thorium-228		0,0001026	kBq	Undefined
Thorium-230		0,000243	kBq	Undefined
Thorium-232		2,2E-7	kBq	Undefined
Thorium-234		1,57E-6	kBq	Undefined
Uranium alpha		0,00010129	kBq	Undefined
Uranium-234		2,08E-6	kBq	Undefined
Uranium-235		3,1E-6	kBq	Undefined
Uranium-238		5,23E-6	kBq	Undefined
Yttrium-90		5,81E-10	kBq	Undefined
Zinc-65		3,27E-7	kBq	Undefined
Zirconium-95		7,14695E-7	kBq	Undefined
Plutonium-241		3,45E-5	kBq	Undefined
Radioactive species, Nuclides, unspecifie		8,24E-10	kBq	Undefined
Heat, waste		7,04331E-6	TJ	Undefined
Emissions to soil				
Aluminum		6,63E-7	kg	Undefined
Arsenic	industrial	2,65E-10	kg	Undefined
Carbon	industrial	0,0016	kg	Undefined
Calcium	industrial	2,65E-6	kg	Undefined
Cadmium	industrial	3,6E-8	kg	Undefined
Cobalt	industrial	1,39E-11	kg	Undefined
Chromium	industrial	3,32E-9	kg	Undefined
Copper	industrial	6,97E-11	kg	Undefined
Iron	industrial	1,33E-6	kg	Undefined
Mercury	industrial	1,96E-12	kg	Undefined
Manganese	industrial	2,65E-8	kg	Undefined
Nitrogen		4,0E-5	kg	Undefined
Nickel	industrial	1,05E-10	kg	Undefined
Oils, biogenic		1,59E-9	kg	Undefined
Oils, unspecified	industrial	4,49E-7	kg	Undefined
Phosphorus	industrial	2,5E-5	kg	Undefined
Lead	industrial	2,37E-8	kg	Undefined
Sulfur	industrial	3,98E-7	kg	Undefined
Zinc	industrial	1,09E-8	kg	Undefined
Heat, waste		3,16E-9	TJ	Undefined
Final waste flows				
Non material emissions				
Social issues				
Economic issues				
Waste to treatment				
Input parameters				
Calculated parameters				

**ANEXO 4 – PRINCIPAIS CATEGORIAS DE IMPACTO NA ETAPA DE MANUFATURA DO PAINEL DE MADEIRA**

Title:	Analyzing 1 p assembly 'Manufatura das Caixas de Carga Painel Madeira'					
Method:	Eco-indicator 95 V2.03 / Europe e					
Compartment:	All compartments					
Per sub-compartment:	Yes					
Skip unused:	Yes					
Indicator:	Characterization					
Category:	<b>ozone layer</b>					
Cut-off:	0%					
Relative mode:	Non					
No	Substance	Unit	Total	Madeira Nativa Amazônia	Montagem Painel de Madeira	Pintura Painel de Madeira
	Total of all compartments	kg CFC11	6,03E-05	-	-	6,03E-05
1	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	kg CFC11	5,38E-06	x	x	5,38E-06
2	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	kg CFC11	5,43E-05	x	x	5,43E-05
3	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	kg CFC11	3,33E-09	x	x	3,33E-09
4	Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	kg CFC11	3,45E-08	x	x	3,45E-08
5	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	kg CFC11	5,50E-08	x	x	5,50E-08
6	Methane, tetrachloro-, CFC-10	kg CFC11	2,92E-07	x	x	2,92E-07
7	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	kg CFC11	2,56E-07	x	x	2,56E-07

Title:	Analyzing 1 p assembly 'Manufatura das Caixas de Carga Painel Madeira'						
Method:	Eco-indicator 95 V2.03 / Europe e						
Compartment:	All compartments						
Per sub-compartment:	Yes						
Skip unused:	Yes						
Indicator:	Characterization						
Category:	<b>heavy metals</b>						
Cut-off:	0%						
Relative mode:	Non						
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Madeira Nativa Amazônia	Montagem Painel de Madeira	Pintura Painel de Madeira
	Total of all compartments		kg Pb	0,008176	9,34E-06	3,59E-09	0,008166457
1	Cadmium	Air	kg Pb	0,001113	x	x	0,00111262
2	Lead	Air	kg Pb	0,00675	x	x	0,006749592
3	Manganese	Air	kg Pb	1,67E-05	x	x	1,67E-05
4	Mercury	Air	kg Pb	9,11E-06	x	x	9,11E-06
5	Metals, unspecified	Air	kg Pb	9,07E-06	9,07E-06	1,28E-11	x
6	Antimony	Water	kg Pb	6,18E-07	x	x	6,18E-07
7	Arsenic, ion	Water	kg Pb	4,05E-05	x	x	4,05E-05
8	Barium	Water	kg Pb	3,76E-05	x	x	3,76E-05
9	Boron	Water	kg Pb	1,30E-06	x	x	1,30E-06
10	Cadmium, ion	Water	kg Pb	8,24E-06	x	x	8,24E-06
11	Chromium	Water	kg Pb	2,35E-09	1,76E-09	5,96E-10	x
12	Copper, ion	Water	kg Pb	5,03E-07	x	x	5,03E-07
13	Lead	Water	kg Pb	0,000119	8,78E-09	2,98E-09	0,000118909
14	Manganese	Water	kg Pb	9,66E-06	x	x	9,66E-06
15	Mercury	Water	kg Pb	5,26E-07	x	x	5,26E-07
16	Metallic ions, unspecified	Water	kg Pb	2,68E-07	2,68E-07	x	x
17	Molybdenum	Water	kg Pb	9,83E-06	x	x	9,83E-06
18	Nickel, ion	Water	kg Pb	5,07E-05	x	x	5,07E-05

Title:	Analyzing 1 p assembly 'Manufatura das Caixas de Carga Painel Madeira'					
Method:	Eco-indicator 95 V2.03 / Europe e					
Compartment:	All compartments					
Per sub-compartment:	Yes					
Skip unused:	Yes					
Indicator:	Characterization					
Category:	<b>ozone layer</b>					
Cut-off:	0%					
Relative mode:	Non					
No	Substance	Unit	Total	Madeira Nativa Amazônia	Montagem Painel de Madeira	Pintura Painel de Madeira
	Total of all compartments	kg CFC11	6,03E-05	-	-	6,03E-05
1	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	kg CFC11	5,38E-06	x	x	5,38E-06
2	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	kg CFC11	5,43E-05	x	x	5,43E-05
3	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	kg CFC11	3,33E-09	x	x	3,33E-09
4	Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	kg CFC11	3,45E-08	x	x	3,45E-08
5	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	kg CFC11	5,50E-08	x	x	5,50E-08
6	Methane, tetrachloro-, CFC-10	kg CFC11	2,92E-07	x	x	2,92E-07
7	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	kg CFC11	2,56E-07	x	x	2,56E-07

**ANEXO 5 – PRINCIPAIS CATEGORIAS IMPACTADAS NA ETAPA DE MANUFATURA DO PAINEL  
MULTILAMINAR**

Title: Analyzing 1 p assembly 'Manufatura das Caixas de Carga Painel Multilaminar'									
Method: Eco-indicator 95 V2.03 / Europe e									
Compartment: All compartments									
Per sub-compartment: Yes									
Skip unused: Yes									
Indicator: Characterization									
Category: <b>ozone layer</b>									
Cut-off: 0%									
Relative mode: Non									
No	Substance	Comp.	Unit	Total	Madeira Reflorestamento	Aço bruto Brasil 2004	PVC Brasil	Montagem Painel Multilaminar	Pintura Painel Multilaminar
	Total of all compartments		kg CFC11	0,001212	3,60E-24	1,90E-07	0,0011838	1,04E-06	2,66E-05
1	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air	kg CFC11	2,39E-05	-1,16E-38	2,75E-21	x	1,81E-37	2,39E-05
2	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	Air	kg CFC11	2,37E-06	-1,15E-39	2,72E-22	x	1,79E-38	2,37E-06
3	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	kg CFC11	3,18E-07	3,60E-24	1,90E-07	2,72E-23	2,48E-24	1,29E-07
4	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air	kg CFC11	1,13E-07	-5,47E-41	1,29E-23	x	8,52E-40	1,13E-07
5	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	kg CFC11	2,43E-08	-1,18E-41	2,78E-24	x	1,83E-40	2,43E-08
6	Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	Air	kg CFC11	1,52E-08	-7,38E-42	1,74E-24	x	1,15E-40	1,52E-08
7	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	kg CFC11	1,47E-09	-7,13E-43	1,69E-25	x	1,11E-41	1,47E-09
8	Chlorinated fluorocarbons, soft	Air	kg CFC11	1,04E-06	-5,05E-40	1,19E-22	x	1,04E-06	x
9	Chlorinated fluorocarbons, hard	Air	kg CFC11	0,001184	-5,75E-37	1,36E-19	0,0011838	8,94E-36	x

Title: Analyzing 1 p assembly 'Manufatura das Caixas de Carga Painel Multilaminar'									
Method: Eco-indicator 95 V2.03 / Europe e									
Compartment: All compartments									
Per sub-compartment: Yes									
Skip unused: Yes									
Indicator: Characterization									
Category: <b>carcinogens</b>									
Cut-off: 0%									
Relative mode: Non									
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Madeira Reflorestamento	Aço bruto Brasil 2004	PVC Brasil	Montagem Painel Multilaminar	Pintura Painel Multilaminar
	Total of all compartments		kg B(a)P	0,00373271	7,26E-09	0,003709026	5,89E-08	1,66E-06	2,20E-05
1	Arsenic	Air	kg B(a)P	1,52E-05	5,56E-23	2,93E-06	4,21E-22	3,84E-23	1,23E-05
2	Benzene	Air	kg B(a)P	8,12E-09	7,28E-26	5,54E-09	7,96E-25	3,02E-25	2,58E-09
3	Benzene, ethyl-	Air	kg B(a)P	1,36E-09	-6,59E-43	1,56E-25	x	1,03E-41	1,36E-09
4	Benzo(a)pyrene	Air	kg B(a)P	0,003704556	4,28E-20	0,003704538	5,32E-19	2,43E-19	1,78E-08
5	Ethene, chloro-	Air	kg B(a)P	7,23E-13	-3,51E-46	8,30E-29	x	1,17E-15	7,22E-13
6	Hydrocarbons, aromatic	Air	kg B(a)P	5,89E-08	-2,86E-41	6,76E-24	5,50E-08	3,68E-09	2,40E-10
7	Metals, unspecified	Air	kg B(a)P	1,75E-08	7,26E-09	4,27E-09	3,90E-09	2,06E-09	x
8	Nickel	Air	kg B(a)P	6,18E-07	6,68E-24	3,52E-07	5,06E-23	4,67E-24	2,66E-07
9	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	Air	kg B(a)P	1,22E-05	1,38E-23	1,20E-06	1,72E-22	1,65E-06	9,37E-06

Title: Analyzing 1 p assembly 'Manufatura das Caixas de Carga Painel Multilaminar'									
Method: Eco-indicator 95 V2.03 / Europe e									
Compartment: All compartments									
Per sub-compartment: Yes									
Skip unused: Yes									
Indicator: Characterization									
Category: <b>greenhouse</b>									
Cut-off: 0%									
Relative mode: Non									
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Madeira Reflorestamento	Aço bruto Brasil 2004	PVC Brasil	Montagem Painel Multilaminar	Pintura Painel Multilaminar
	Total of all compartments		kg CO2	710,5664	3,5456834	506,24815	156,38412	14,16151	30,226923
1	Carbon dioxide	Air	kg CO2	489,2471	1,2070407	305,66491	145,79664	7,9069752	28,671561
2	Carbon dioxide, biogenic	Air	kg CO2	8,473485	0,95863183	5,099229	7,33E-16	2,4156244	x
3	Carbon dioxide, fossil	Air	kg CO2	192,3212	1,0352246	188,67737	2,71E-14	2,608628	x
4	Chlorinated fluorocarbons, hard	Air	kg CO2	8,404771	-4,08E-33	9,64E-16	8,4047712	6,35E-32	x
5	Chlorinated fluorocarbons, soft	Air	kg CO2	0,030279	-1,47E-35	3,47E-18	x	0,030278712	x
6	Chloroform	Air	kg CO2	2,66E-07	-1,29E-40	3,05E-23	x	2,01E-39	2,66E-07
7	Dinitrogen monoxide	Air	kg CO2	1,055033	1,53E-17	0,80703824	1,16E-16	0,010642415	0,23735277
8	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	Air	kg CO2	0,02077	-1,01E-35	2,38E-18	x	1,57E-34	0,02077017
9	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	kg CO2	0,09393	-4,56E-35	1,08E-17	x	7,10E-34	0,09393004
10	Methane	Air	kg CO2	5,609369	0,035226056	4,3601274	0,22309523	0,40931133	0,58160872
11	Methane, biogenic	Air	kg CO2	4,686629	0,30956015	1,6392439	1,9577744	0,7800503	x
12	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air	kg CO2	0,007329	-3,56E-36	8,41E-19	x	5,54E-35	0,00732943
13	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	kg CO2	4,27E-05	-2,07E-38	4,90E-21	x	3,23E-37	4,27E-05
14	Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	Air	kg CO2	0,000198	-9,59E-38	2,27E-20	x	1,49E-36	0,00019763
15	Methane, dichloro-, HCC-30	Air	kg CO2	0,001841	2,17E-23	1,14E-06	0,00183774	1,50E-23	2,19E-06
16	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	kg CO2	0,000172	-8,36E-38	1,98E-20	x	1,30E-36	0,00017225
17	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	kg CO2	0,000383	4,33E-21	0,000228164	3,28E-20	2,99E-21	0,00015497
18	Methane, tetrafluoro-, FC-14	Air	kg CO2	0,613418	-2,98E-34	7,04E-17	x	4,63E-33	0,61341815
19	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air	kg CO2	0,000383	-1,86E-37	4,40E-20	x	2,90E-36	0,00038336