

OPTIMIZAÇÃO DE MÉTODOS DE ESCOLHA DE MATERIAIS COM BASE NO SEU DESEMPENHO SUSTENTÁVEL

MARTA MAIA DE SOUSA

Dissertação submetida para obtenção do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE – RAMO DE GESTÃO

Presidente do Júri: Professora Doutora Maria Arminda C. Alves

(Professora Associada da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Orientador: Professor Doutor António M. A. Fiúza

(Professor Catedrático da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Co-orientadora: Engenheira Lúcia Ribeiro

(Gestora do Sistema de Qualidade, Ambiente e Segurança da Contacto Sociedade de Construções)

SETEMBRO DE 2010

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2009/2010

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente – 2009/2010 – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho apenas se tornou possível com o contributo de algumas pessoas, às quais não poderia deixar de expressar a minha profunda e sentida gratidão:

Ao meu orientador, Professor Doutor António Fiúza, do Departamento de Engenharia de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pelo incansável apoio, pelas críticas e sugestões e pela disponibilidade sempre demonstrada.

À Engenheira Lúcia Ribeiro, do Grupo Soares da Costa, pelo auxílio prestado e tempo cedido para a orientação.

Ao Engenheiro Mota e Sá, do Grupo Soares da Costa, pelo tempo e apoio dispensados para o esclarecimento de dúvidas.

Ao Professor Doutor Fernando Garcia, do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, pela partilha de conhecimento e pronta disponibilidade.

À minha família, o meu incessante suporte, pelos conselhos e críticas sempre tão valiosos, sempre tão nossos.

Aos meus amigos, pelo incentivo, pelo amparo e pela partilha.

RESUMO

O desenvolvimento sustentável, o maior desafio da actualidade, depende da evolução equilibrada entre as componentes ambiental, económica e social. Para que este seja alcançado é necessário repensar as acções nos mais diversos sectores, criando formas de actuar mais sustentáveis, a médio e longo prazo. No sector da construção civil, actuar ao nível dos materiais revela-se uma solução legítima para implementar uma maior sustentabilidade. O desempenho ambiental destes materiais pode ser estudado e comparado através da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), actualmente considerada uma das mais eficazes.

O presente trabalho teve como objectivo avaliar o desempenho ambiental de materiais de construção civil, definindo critérios e métodos de selecção e procurando encontrar alternativas mais sustentáveis. O seu objectivo final foi servir de base à criação de um método expedito para a selecção de materiais com base no seu desempenho sustentável.

Para tal, em primeiro lugar, foi efectuado um levantamento dos materiais de revestimento aplicados na empreitada referente à Escola Secundária de Caldas das Taipas (Guimarães), da responsabilidade do Grupo Soares da Costa, um dos maiores grupos nacionais do sector da construção e obras públicas. Seguidamente, seleccionou-se o programa informático SimaPro 5.1., baseado na metodologia ACV, que permite estudar o desempenho ambiental de diversos produtos, entre os quais se encontram alguns materiais de construção. Recorrendo a este programa, optou-se por estudar o desempenho ambiental do policloreto de vinilo (principal constituinte dos vinílicos aplicados na obra em análise) e da madeira de carvalho, como material alternativo, a fim de verificar qual o mais sustentável sob o ponto de vista ambiental. Este exemplo é proposto como paradigma metodológico que pode vir a ser utilizado para outras comparações relevantes.

Este estudo permitiu concluir que, com os pressupostos adoptados, a substituição de um pavimento à base de policloreto de vinilo por um outro à base de madeira de carvalho seria vantajosa sob o ponto de vista ambiental, uma vez que o primeiro apresenta valores de impacto ambiental superiores aos da madeira de carvalho.

No presente trabalho são ainda propostos alguns fundamentos considerados essenciais para criar uma ferramenta expedita e fiável para a selecção de materiais de construção com base no seu desempenho sustentável. Verificou-se que esta ferramenta implica forçosamente uma avaliação ambiental (que se considera importante assentar na metodologia ACV), económica (para a qual se propõe a aplicação da metodologia de custo de ciclo de vida) e social (que deveria ser avaliada a partir de indicadores de desempenho social).

ABSTRACT

The sustainable development, the current biggest challenge for humanity, depends on the balanced growth between the environmental, the economic and the social components. To achieve this development it is necessary to rethink all the actions taken on all sorts of sectors, creating more sustainable ways of operating, at medium and long term. In the building sector, the selection of materials is a rational solution to walk towards sustainability. The environmental performance of building materials can be studied and compared using the Life Cycle Assessment, currently seen as one of the most effective methodologies.

The aim of this report was to evaluate the environmental performance of building materials, defining criteria and selection methods, attempting to find more sustainable materials that could be used as an alternative. Its final aim was to serve as a basis for the selection of an expeditious method to select building materials based on their environmental performance.

Therefore, as first step, it was made a survey of the list of coating materials applied on the contract for the construction of the Secondary School of Caldas das Taipas (Guimarães). Soares da Costa Group, one of the largest groups in the civil construction and public work sector in Portugal, was responsible for this contract. After it was selected the software SimaPro 5.1, once it allowed the evaluation of the environmental performance of many products using the life cycle assessment methodology. Using this software, it was decided to compare the environmental performance of PVC (vinyl polychloride, the main component of the vinyls applied on the school) with oak wood, as an alternative material, aiming to test which of these materials was the most sustainable one in the environmental point of view. This example is proposed as methodological paradigm that can be used for other relevant comparisons.

After concluding this study it was possible to verify that, considering the accepted assumptions, replacing a floor covering made of PVC by another made of oak wood would be environmentally profitable, as the PVC shows higher values of negative impact on the environment.

In this report some fundamental concepts for the construction of an expeditious and reliable method to select building materials based on their sustainable performance are also proposed. It was possible to verify that it is essential that this method will include an environmental evaluation (that should be based on the Life Cycle Assessment methodology), an economic evaluation (for which it is believed to be helpful to use the Life Cycle Cost methodology) and a social evaluation (that should used social performance indicators).

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação do Impacte do Ciclo de Vida
CCV	Custo do Ciclo de Vida
CFC	Clorofluorcarboneto
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
ISO	Internacional Organization for Standardization
ONU	Organização das Nações Unidas
PVC	Policloreto de vinilo

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. METODOLOGIA ACV - AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	4
2.1. Conceitos fundamentais	4
2.2. Fase I: Definição do objectivo e âmbito	6
2.2.1. Definição do(s) objectivo(s) do estudo	6
2.2.2. Determinação do tipo de informação necessária para comunicar aos decisores	7
2.2.3. Determinação da especificidade requerida para os dados	7
2.2.4. Determinação da organização dos dados e da apresentação dos resultados	8
2.2.5. Definição do âmbito do estudo	8
2.2.6. Determinação das regras básicas para realizar o trabalho	9
2.3. Fase II: Inventário do ciclo de vida (ICV).....	10
2.3.1. Elaboração do fluxograma	11
2.3.2. Recolha de dados	12
2.3.3. Cálculo das cargas ambientais em relação à unidade funcional	13
2.3.4. Avaliação e apresentação dos resultados	14
2.4. Fase III: Avaliação de impacte do ciclo de vida (AICV)	15
2.4.1. Etapas da AICV.....	15
2.4.1.1. Selecção de categorias de impacte, indicadores de categoria e modelos de caracterização	17
2.4.1.2. Classificação	18
2.4.1.3. Caracterização.....	19
2.4.1.4. Normalização	20
2.4.1.5. Agregação	21
2.4.1.6. Ponderação	22
2.4.2. Avaliação da qualidade dos dados.....	24

2.4.3. Limitações da AICV	24
2.5. Fase IV: Interpretação do ciclo de vida	25
3. SOFTWARE ACV: SIMAPRO	26
3.1. Métodos de avaliação de impacte ambiental do ciclo de vida	26
3.1.1. Método Eco-indicator 99.....	27
4. METODOLOGIA	29
5. RESULTADOS	31
5.1. Definição do objectivo e âmbito	31
5.1.1. Objectivo	31
5.1.2. Público-alvo	31
5.1.3. Sistemas de produto.....	31
5.1.4. Função do sistema	33
5.1.5. Unidade funcional	33
5.1.6. Fluxo de referência	33
5.1.7. Fronteiras do sistema de produto	33
5.1.8. Categorias de impacte seleccionadas e metodologia de avaliação de impacte	34
5.1.9. Requisitos dos dados	34
5.1.10. Pressupostos/Limitações	35
5.1.11. Tipo e formato do relatório requerido para o estudo	35
5.2. Inventário do ciclo de vida (ICV)	36
5.2.1. Elaboração de fluxogramas	36
5.2.1.1. PVC	36
5.2.1.2. Madeira de carvalho	39
5.2.2. Recolha de dados	40
5.2.3. Cálculo das cargas ambientais em relação à unidade funcional	40
5.2.4. Avaliação e apresentação dos resultados	40
5.3. Avaliação de impacte do ciclo de vida (AICV)	43
5.3.1. Selecção de categorias de impacte, indicadores de categoria e modelos de caracterização ...	43
5.3.2. Classificação.....	43
5.3.3. Caracterização	43
5.3.4. Normalização	45
5.3.5. Ponderação.....	47

5.3.6. Redes e contribuições relativas	49
5.4. Interpretação do ciclo de vida.....	52
 6. SUGESTÕES PARA A CRIAÇÃO DE UMA FERRAMENTA EXPEDITA PARA ESCOLHA DE MATERIAIS	55
6.1. Avaliação do desempenho ambiental	55
6.2. Avaliação do desempenho económico.....	58
6.3. Avaliação do desempenho social	58
6.4. Avaliação do desempenho sustentável	59
 7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	61
 BIBLIOGRAFIA	64
 ANEXOS	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fases do ciclo de vida	4
Figura 2.2 - Fases da Avaliação do Ciclo de Vida	5
Figura 2.3 - ACV: Definição do objectivo e âmbito	6
Figura 2.4 - ACV: Inventário do ciclo de vida	11
Figura 2.5 – Fluxograma de um processo genérico	11
Figura 2.6 - ACV: Avaliação de impacte do ciclo de vida.....	15
Figura 2.7 - Fases da AICV (fonte: Norma ISO 14040:2008).....	16
Figura 2.8 - Conceito de indicadores de categoria	18
Figura 2.9 - ACV: Interpretação do ciclo de vida	25
Figura 3.1 - Procedimento geral para o cálculo do Eco-indicator 99	27
Figura 3.2 - Categorias de impacte e de dano incluídas no método Eco-indicator 99	28
Figura 5.1 – Representação esquemática dos processos unitários que compõe o sistema de produto do PVC	32
Figura 5.2 - Representação esquemática dos processos unitários que compõe o sistema de produto da madeira de carvalho	33
Figura 5.3 - Fluxograma da produção de PVC.....	36
Figura 5.4 - Fluxograma da produção de cloreto de vinilo.....	37
Figura 5.5 - Fluxograma da produção de eteno	37
Figura 5.6 - Fluxograma da produção de cloro.....	38
Figura 5.7 - Fluxograma da pirólise de nafta.....	38
Figura 5.8 - Fluxograma da extracção e refinamento de petróleo	39

Figura 5.9 - Fluxograma da produção de madeira serrada	39
Figura 5.10 - Fluxograma do abate de árvore (serragem)	40
Figura 5.11 - Representação gráfica dos resultados obtidos na fase de caracterização por categoria de impacte	45
Figura 5.12 - Representação gráfica dos resultados obtidos na fase de caracterização por categoria de dano	45
Figura 5.13 - Representação gráfica dos resultados obtidos na fase de normalização por categoria de impacte	46
Figura 5.14 - Representação gráfica dos resultados obtidos na fase de normalização por categoria de dano	47
Figura 5.15 - Representação gráfica dos resultados obtidos na fase de ponderação por categoria de impacte	48
Figura 5.16 - Representação gráfica dos resultados obtidos na fase de ponderação por categoria de dano	48
Figura 5.17 - Representação gráfica dos resultados obtidos na fase de ponderação por categoria de impacte - Pontuação única	49
Figura 5.18 - Representação gráfica dos resultados obtidos na fase de ponderação por categoria de dano - Pontuação única	49
Figura 5.19 - Rede do PVC	50
Figura 5.20 - Rede da madeira de carvalho	51
Figura 5.21 - Representação gráfica da contribuição relativa dos processos unitários considerados no estudo do PVC	51
Figura 5.22 - Representação gráfica da contribuição relativa dos processos unitários considerados no estudo da madeira de carvalho	52
Figura 6.1 - Esquematização do processo de obtenção do indicador de desempenho sustentável de um produto	59

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Exemplo da fase de Classificação	18
Tabela 2.2 – Categorias de impacte tipicamente usadas	20
Tabela 4.1 - Levantamento dos materiais de revestimento aplicados/a aplicar na obra	30
Tabela 5.1 - Resultados do inventário.....	41
Tabela 5.2 - Resultados da fase de caracterização por categoria de impacte	44
Tabela 5.3 - Resultados da fase de caracterização por categoria de dano	44
Tabela 5.4 - Resultados da fase de normalização por categoria de impacte	46
Tabela 5.5- Resultados da fase de normalização por categoria de dano	46
Tabela 5.6 - Resultados da fase de ponderação por categoria de impacte	47
Tabela 5.7 - Resultados da fase de ponderação por categoria de dano	48

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento económico e social apoiou-se, desde cedo, nos recursos finitos do planeta, como a água e os combustíveis fósseis. Inicialmente não existia a consciência (ou pelo menos a preocupação) de que estes recursos veriam o seu fim. Porém, actualmente, essa ideia já se apoderou de grande parte da população mundial e com ela veio a noção de que é necessário preservar esses recursos.

Em 1987 (no relatório de Brundtland), surgiu pela primeira vez o conceito de desenvolvimento sustentável, descrito pela ONU como: *“o desenvolvimento que deverá ir de encontro às necessidades do presente, de forma equitativa e ética, sem comprometer essas mesmas possibilidades para as gerações futuras”* (Blengini, 2006).

Este conceito assenta em três pilares: sustentabilidade ambiental, económica e social, que devem evoluir de uma forma equilibrada e harmoniosa para que o desenvolvimento sustentável seja alcançado. Por outras palavras, a urgente preservação dos recursos naturais, da biodiversidade e dos ecossistemas deve ser efectuada atendendo à viabilidade económica da implementação e manutenção das acções a tomar, garantindo que estas atingem todos os grupos humanos, sem distinção social e violação de valores culturais.

Para conseguir este desenvolvimento é necessário repensar as actividades humanas nos mais diversos sectores. A construção civil é considerada actualmente um dos grandes contribuidores para o desenvolvimento sócio-económico dos países, representando 28,1% do emprego em toda a indústria (Torgal & Jalali, 2007). No entanto, este sector é responsável por inúmeros impactes ambientais, uma vez que implica ocupação de solo, extracção das mais diversificadas matérias-primas, produção a grande escala, transporte de materiais, construção de edifícios, geração de resíduos e emissão de poluentes. Todos estes factores tornam a sustentabilidade na construção civil um factor de elevada importância e essencial para atingir os objectivos do desenvolvimento sustentável.

Sabendo que a indústria da construção civil é a actividade económica que consome mais matérias-primas em Portugal, cerca de 3000 Mt/ano (Torgal & Jalali, 2007), torna-se evidente que actuar ao nível dos materiais de construção é uma solução eficaz para caminhar para uma maior sustentabilidade neste sector e reduzir o impacte da construção civil no ambiente. No entanto, permanece uma dúvida: como saber quais são os materiais com menor impacte ambiental?

Diversas metodologias têm vindo a ser criadas e aplicadas nesta área. No entanto, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) parece ser actualmente a ferramenta que melhor se enquadra

nestes estudos, uma vez que não se limita a avaliar o desempenho ambiental dos materiais na sua fase de produção ou de utilização, mas avalia-o durante todo o seu ciclo de vida, isto é, desde a extracção das matérias-primas até ao tratamento no fim-de-vida e destino final.

O presente trabalho teve como objectivo avaliar o desempenho ambiental de materiais de construção civil, definindo critérios e métodos de selecção dos mesmos e procurando encontrar alternativas mais sustentáveis para os mesmos. O seu objectivo final foi servir de base à criação de um método expedito para selecção de materiais de construção, apoiando-se em critérios preponderantes quanto ao seu desempenho sustentável.

O estudo efectuado foi desenvolvido em torno dos materiais de revestimento aplicados na actual empreitada da Escola Secundária de Caldas das Taipas (Guimarães). Antes de se iniciar a obra, o recinto da escola compreendia uma área bruta de construção de cerca de 5200m², sendo constituído por: quatro pavilhões destinados a áreas administrativas, sociais, direcção e todas as áreas lectivas (salas de aula, laboratórios e espaços específicos de ensino); um pavilhão onde se localiza o refeitório; e um pavilhão gimnodesportivo. O projecto engloba: a reabilitação dos quatro pavilhões inicialmente referidos ao nível da reorganização e transformação do espaço, da alteração dos revestimentos interiores e exteriores, da manutenção das condições estruturais e da remodelação integral das infra-estruturas eléctricas, telecomunicações, águas e esgotos; a demolição dos dois restantes pavilhões; a edificação de novos corpos; e a requalificação de todos os espaços exteriores. Note-se que a intervenção construtiva mais significativa diz respeito aos corpos construídos de raiz.

Esta empreitada é da responsabilidade do Grupo Soares da Costa, um dos maiores grupos do sector da construção e obras públicas a nível nacional.

O Grupo Soares da Costa é composto por quatro *sub-holdings*, respeitantes às seguintes áreas de negócio: construção (construção e engenharia civil), indústria (indústrias subsidiárias da construção ou altamente especializadas), imobiliária (gestão e promoção imobiliária) e concessões (exploração de concessões de infra-estruturas ou serviços públicos).

O que começou por ser uma pequena empresa familiar sediada no Porto, em 1918, é actualmente um grupo de construção com projecção nacional e internacional, actuando permanentemente em todo o território português, bem como em Moçambique, Angola, Roménia e Estados Unidos da América (Florida).

O Grupo Soares da Costa define como seu objectivo estratégico ser um grupo económico de construção e serviços/concessões de projecção internacional, com níveis de rentabilidade e de criação de valor accionistas paralelos com as melhores referências mundiais do seu sector. Este grupo empenha-se diariamente no cumprimento da missão que definiu para si:

corresponder às exigências do mercado e dos seus clientes, através de um modelo de negócio sustentado e de recursos qualificados e motivados, que permitam gerar valor económico, social e ambiental, a fim de proporcionar um retorno atractivo aos accionistas.

Face à noção de que a construção é um sector basilar para o desenvolvimento sustentável, o Grupo Soares da Costa investiu na criação de uma política de sustentabilidade. Esta política assenta na gestão do crescimento do grupo aliada à contribuição para a qualidade ambiental, progresso económico e bem-estar social, não descurando a elevada competitividade comercial que caracteriza este sector de actividade. É importante salientar que a política de sustentabilidade resulta da integração das políticas de qualidade, ambiente, segurança e responsabilidade social corporativa do grupo.

Em 2007, o Grupo Soares da Costa implementou um Sistema de Gestão Ambiental, de acordo com a norma NP EN ISO 14001:2004 (certificado no ano seguinte) e publicou o seu primeiro Relatório de Sustentabilidade (publicado anualmente desde então).

Actualmente, o Grupo procura novas soluções para aumentar a sua sustentabilidade, tendo proposto a elaboração de trabalhos nesta área por parte de alunos universitários, incorporados na iniciativa “Prémio Talento Soares da Costa 2009”. O presente trabalho encontra-se inserido no âmbito desta iniciativa.

2. METODOLOGIA ACV - AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

2.1. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

A Avaliação do Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment) é um método utilizado na gestão ambiental para avaliar o impacto de bens e serviços no ambiente. Segundo a norma ISO 14040:2008, a ACV pode ser definida como a “*compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida*”.

Esta metodologia caracteriza-se por incluir todas as etapas do ciclo de vida de um dado produto: extracção e obtenção das matérias-primas, produção e fabrico de materiais e energia, utilização, tratamento no fim-de-vida e destino final (NP EN ISO 14040, 2008). Cada uma destas fases implica a existência de fluxos de entrada (tipicamente reduzidos a matérias-primas e energia) e de saída (como emissões atmosféricas, resíduos sólidos, entre outros), conforme representado na figura 2.1.

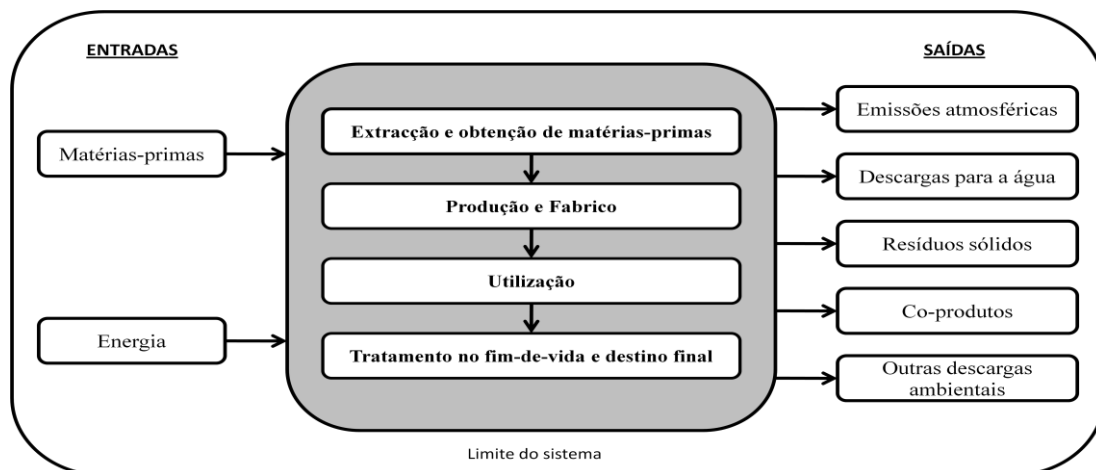


Figura 2.1 - Fases do ciclo de vida (adaptada de: Curran, 2006)

De um modo geral, a metodologia da ACV baseia-se na construção de um modelo no qual as fases do ciclo de vida são representadas por processos unitários, que estão interligados por fluxos de produtos, energia e materiais (Blengini, 2006). Os processos unitários, cujo conjunto se denomina “*sistema do produto*”, são quaisquer processos com o objectivo de originar um produto ou serviço com valor económico, sendo os menores elementos considerados no inventário da ACV e para os quais os dados de entrada e de saída são quantificados (Blengini, 2006; ISO 14040, 2008). Os processos unitários estão ainda ligados ao ambiente, uma vez que usufruem dos seus recursos naturais e lançam emissões e resíduos para o mesmo – fluxos elementares de entrada e de saída (Blengini, 2006).

Outro conceito importante é o de “*unidade funcional*”, que define o objecto de estudo e diferencia a ACV de outras técnicas comuns, tais como a avaliação de desempenho ambiental e a avaliação de impacte ambiental (NP EN ISO 14040, 2008).

Os estudos que consideram todas as etapas do ciclo de vida do produto/serviço, os estudos mais comuns, designam-se “*estudos do berço ao túmulo*” (NP EN ISO 14040, 2008). No entanto, esta técnica pode ser aplicada em estudos que não integrem todas estas fases, nomeadamente estudos do berço-ao-portão, do portão-ao-portão e a partes específicas do ciclo de vida (NP EN ISO 14040, 2008).

Esta ferramenta permite depreender quais os impactes ambientais de um dado sistema de produto apesar de simultaneamente ignorar factores económicos, sociais, políticos, entre outros. No entanto, pode ser combinada com outras ferramentas que permitam integrar estes aspectos, tornando o estudo mais completo (NP EN ISO 14040, 2008).

É de elevada importância referir que este estudo deve ser quantitativo; porém, quando tal não é possível, podem (e devem) ser considerados aspectos qualitativos, para que se obtenha uma visão o mais completa possível dos impactes ambientais envolvidos (Guinée et al., 2001).

A aplicação da ACV segue uma metodologia sistemática, constituída por quatro fases distintas, conforme ilustrado na figura 2.2:

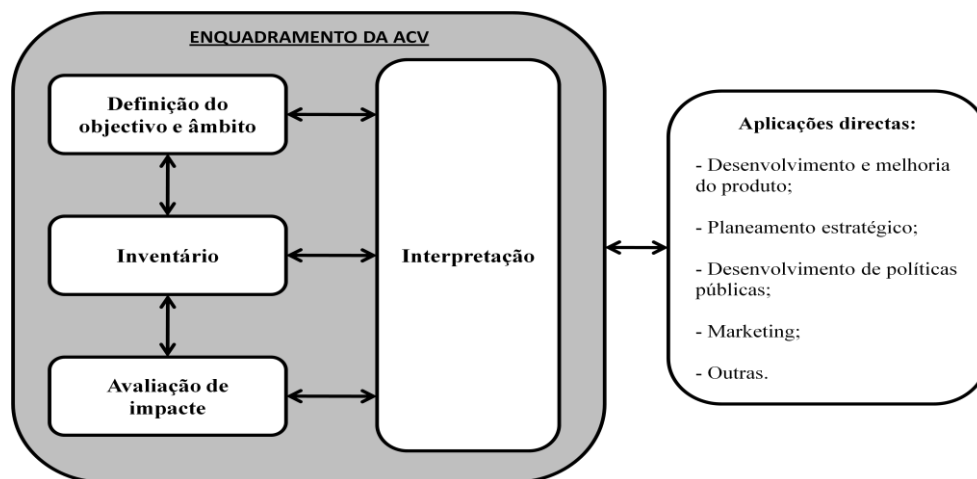


Figura 2.2 - Fases da Avaliação do Ciclo de Vida (Fonte: ISO 14040, 2008)

1.) Fase de definição do objectivo e do âmbito: é o ponto de partida do estudo, no qual são definidos os objectivos e o âmbito, bem como as fronteiras do sistema e o nível de detalhe do estudo, que dependem do objecto e da utilização pretendida (NP EN ISO 14040, 2008).

2.) Fase do inventário do ciclo de vida (ICV): consiste na quantificação dos fluxos de entrada e de saída do sistema em análise, relevantes sob o ponto de vista ambiental, o que implica uma recolha cuidada dos dados necessários (Baumann & Tillman, 2004).

3.) Fase de avaliação de impacte do ciclo de vida (AICV): o seu objectivo é auxiliar a avaliação e compreensão do significado e magnitude dos potenciais impactes ambientais do sistema de produto (Blengini, 2006).

4.) Fase de interpretação: são alcançadas as conclusões, recomendações e eventual tomada de decisão, avaliando-se os resultados obtidos no ICV e/ou na AICV e de acordo com o definido na primeira etapa da ACV (NP EN ISO 14040, 2008).

2.2. FASE I: DEFINIÇÃO DO OBJECTIVO E ÂMBITO

Segundo Curran (2006), a primeira etapa da ACV deve seguir seis passos fundamentais, para se alcançar um consumo mais eficiente do tempo e de recursos (figura 2.3):

- 1.) Definição do(s) objectivo(s) do estudo;
- 2.) Determinação do tipo de informação necessária para comunicar aos decisores;
- 3.) Determinação da especificidade requerida para os dados;
- 4.) Determinação da organização dos dados e da apresentação dos resultados;
- 5.) Definição do âmbito do estudo;
- 6.) Determinação das regras básicas para realizar o trabalho.

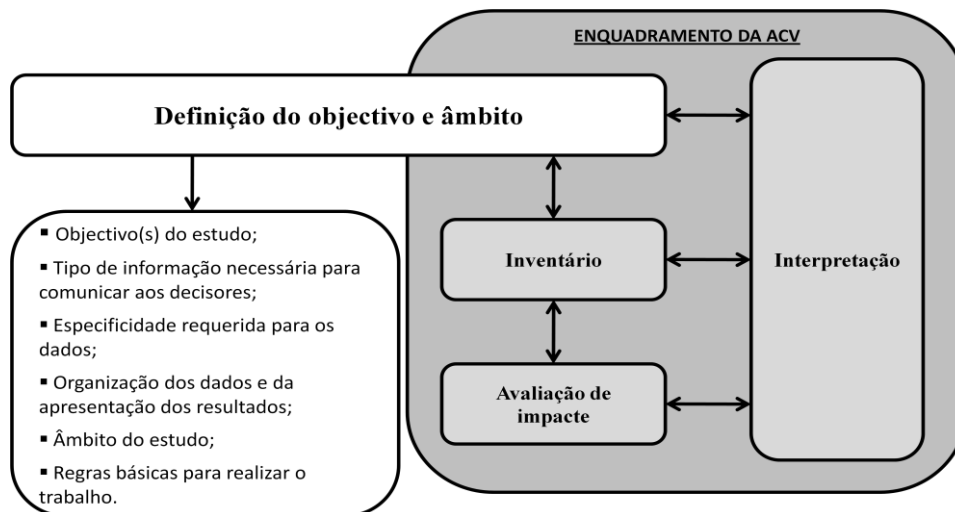


Figura 2.3 - ACV: Definição do objectivo e âmbito

2.2.1. Definição do(s) objectivo(s) do estudo

Segundo a Norma ISO 14040:2008, o objectivo deve estabelecer a aplicação pretendida, as razões para a elaboração do estudo, o público-alvo (a quem se pretende comunicar os resultados), bem como se os resultados se destinam a ser usados para divulgação pública.

Ao longo da ACV pode ser necessário rever o objectivo do estudo, face a limitações inesperadas ou como resultado de informação adicional (NP EN ISO 14040, 2008). As eventuais modificações, bem como a justificação para as mesmas, devem ser devidamente documentadas (NP EN ISO 14040, 2008).

2.2.2.Determinação do tipo de informação necessária para comunicar aos decisores

A identificação de questões do interesse dos decisores (como, por exemplo, saber qual o produto ou processo que causa menor impacto ambiental no seu ciclo de vida total ou parcial) auxilia a definição de diversos aspectos relativos ao estudo de ACV (Curran, 2006).

Após identificação destas questões é essencial determinar o tipo de informação necessária para responder às mesmas (Curran, 2006).

2.2.3.Determinação da especificidade requerida para os dados

Qualquer que seja o estudo é essencial determinar, numa fase inicial, o seu nível de especificidade (Curran, 2006). Este passo torna-se óbvio em certos estudos, mas pode implicar uma elevada complexidade noutros.

Para tal, devem ser levantadas algumas questões acerca do sistema, nomeadamente se o produto ou serviço é específico de uma empresa ou se é representativo dos encontrados com mais frequência no mercado. A resposta a estas questões permite definir se os dados recolhidos para o inventário devem ser específicos de uma empresa ou se devem ser mais abrangentes, representando as práticas industriais comuns (Curran, 2006).

Os dados específicos de um produto ou empresa mostram-se vantajosos por reflectirem os gastos energéticos e de recursos associados a uma dada operação em concreto (Curran, 2006). No entanto, a recolha destes dados é um processo moroso e dispendioso (Curran, 2006).

Por outro lado, a utilização de dados genéricos mostra-se útil quando não existe nenhum acordo com fornecedores, desde que exista informação fiável e de qualidade; porém estes dados podem aumentar a complexidade de posteriores comparações e dissimular as práticas mais nocivas para o ambiente (Curran, 2006).

Note-se que estudo de ACV pode conter simultaneamente informação abrangente e específica de um produto (Curran, 2006).

Assim, recomenda-se que o nível de especificidade dos dados seja determinado e comunicado de uma forma muito clara, a fim de facilitar a interpretação dos resultados finais

da ACV (Curran, 2006). A especificidade deve ser revista ao longo do estudo, a fim de garantir o cumprimento dos objectivos estabelecidos previamente (Curran, 2006).

2.2.4. Determinação da organização dos dados e da apresentação dos resultados

Segundo a norma ISO 14040:2008, um sistema pode ser constituído por diversas funções, que devem ser especificadas no estudo de ACV. A sua quantificação é definida pela unidade funcional, cujo principal objectivo é servir de referência para os fluxos de entrada e saída, permitindo uma correcta comparação entre os resultados obtidos (NP EN ISO 14040, 2008).

O conceito de unidade funcional ganha elevada importância na ACV, uma vez que permite assegurar que os resultados provêm de uma base comum, pelo que a sua comparação é legítima (Curran, 2006). A escolha desta unidade é arbitrária, porém deve ser efectuada de acordo com os objectivos gerais do estudo e com a função para a qual o sistema de produto foi delineado (NP EN ISO 14040, 2008).

Para além da unidade funcional, deve ainda ser determinado o fluxo de referência em cada sistema de produto, ou seja, a quantidade de produto que satisfaz a função pretendida (NP EN ISO 14040, 2008).

Para uma melhor compreensão dos conceitos explanados, pode tomar-se como exemplo a comparação de dois sistemas de secagem de mãos, presente na norma ISO 14040:2008: secagem por ar e através de toalhas de papel. A função será “secagem de mãos”, enquanto que a unidade funcional poderá ser o “número idêntico de pares de mãos secas” por ambos os sistemas. Por sua vez, o fluxo de referência poderá ser definido como a “massa média de papel ou o volume médio de ar quente necessários para secar um par de mãos”. Para ambos os sistemas é possível elaborar um inventário de entradas e saídas com base nos fluxos de referência: no caso das toalhas de papel estaria relacionado com o papel consumido e no caso do secador com a massa de ar quente necessária.

2.2.5. Definição do âmbito do estudo

O âmbito do estudo deve ser definido de tal forma que garanta que toda a extensão e detalhe do estudo sejam compatíveis com o objectivo estabelecido. Desta forma, no âmbito devem constar as seguintes informações: *“o sistema de produto a estudar; as funções do sistema de produto ou, em caso de estudos comparativos, dos sistemas; a unidade funcional; a fronteira do sistema; procedimentos de alocação; categorias de impacte seleccionadas e metodologia da avaliação de impacte, e interpretação subsequente a ser utilizada; requisitos dos dados; pressupostos; limitações; requisitos da qualidade dos dados iniciais; tipo de revisão*

crítica, se existente; tipo e formato do relatório requerido para o estudo” (NP EN ISO 14040, 2008).

De acordo com a norma ISO 14040:2008, o âmbito poderá sofrer algumas modificações à medida que são recolhidos os dados, devido ao carácter iterativo da ACV, devendo estas ser justificadas e documentadas.

Outro passo essencial na ACV é a determinação da fronteira do sistema, que define os processos unitários que serão considerados no estudo.

Segundo a norma anteriormente referida, esta deve ser definida de tal forma que as entradas e saídas sejam fluxos elementares, não sendo necessário quantificar fluxos que não alterem as conclusões do estudo de forma significativa. Por exemplo, em estudos comparativos pode ser vantajoso excluir etapas que sejam comuns a ambos os produtos (Curran, 1996). A sua definição pressupõe a consideração de diversas etapas do ciclo de vida, dos processos unitários e dos fluxos associados, podendo ser posteriormente redefinida (NP EN ISO 14040, 2008).

A mesma norma indica ainda que *“a escolha de elementos do sistema físico a modelar depende da definição do objectivo e do âmbito do estudo, da aplicação e do público pretendidos, dos pressupostos, das restrições de dados e custos e dos critérios de exclusão”*.

Os critérios que levam à definição de uma dada fronteira ditam o nível de confiança nos resultados obtidos e a garantia de que os objectivos inicialmente propostos serão atingidos. Assim, todas as considerações e decisões que levam à determinação da fronteira devem ser devidamente justificadas e registadas (Curran, 2006).

Estes limites definem quais as operações que irão integrar o estudo de ACV; porém é igualmente importante indicar os limites espaciais e temporais (Curran, 1996). A importância deste passo prende-se com o facto de existirem diversos factores que variam com estes dois parâmetros, nomeadamente: a legislação, os hábitos de consumo, as condições climáticas, as práticas no sector industrial e o nível económico (Curran, 1996).

2.2.6.Determinação das regras básicas para realizar o trabalho

Antes de passar à fase do inventário, é importante definir alguns procedimentos lógicos para o projecto (Curran, 2006):

1.) Documentação de pressupostos: todos os pressupostos e decisões efectuados ao longo do estudo devem ser registados, pois a sua omissão pode ter como consequência uma interpretação errada dos resultados.

2.) Procedimentos de garantia de qualidade: estes procedimentos são importantes para assegurar o cumprimento dos objectivos do estudo. O nível de qualidade destas acções depende do tempo e recursos disponíveis e da forma como os resultados vão ser utilizados. Caso a finalidade seja a comunicação pública dos resultados, é recomendado um processo de revisão formal, que pode ser executado por especialistas na ACV ou pelas partes interessadas no estudo. Caso os resultados sejam apenas obtidos para propósitos internos, a revisão do estudo deve ser efectuada por um membro interno familiarizado com a prática da ACV. É recomendada a inclusão das conclusões desta revisão no relatório final da ACV.

3.) Requisitos de informação: definir previamente a forma como os resultados devem ser apresentados e incluídos no relatório final ajuda a garantir que os resultados finais alcançam as expectativas. Ao documentar os resultados finais ou de uma etapa particular da ACV é importante descrever cuidadosamente a metodologia utilizada, o sistema em causa e os seus limites, bem como a base de comparação e todos os pressupostos tidos em conta. A apresentação dos resultados deve ser consistente com o objectivo do estudo e os resultados não devem ser excessivamente simplificados.

2.3. FASE II: INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA (ICV)

De acordo com a norma ISO 14040:2008, o inventário é o resultado da quantificação das entradas e saídas relevantes de um sistema de produto, a qual exige uma exaustiva recolha de dados e posterior etapa de cálculo. Por outras palavras, é o processo de compilação de dados e de quantificação de matérias-primas e energia, materiais auxiliares, bem como de produtos, co-produtos, emissões atmosféricas, descargas para a água e solo, resíduos sólidos e outras descargas ambientais resultantes do ciclo de vida de um produto, processo ou serviço (Curran, 2006).

Esta fase da ACV é considerada iterativa, uma vez que à medida que os dados vão sendo recolhidos, é frequente surgirem novos requisitos de informação ou algumas limitações que impliquem alteração nos métodos de recolha, para que os objectivos a que o estudo se propõe sejam atingidos (NP EN ISO 14040, 2008). É de realçar que a elaboração do ICV pode desencadear uma revisão do objectivo e do âmbito (NP EN ISO 14040, 2008).

Após a recolha de dados, segue-se a fase de cálculo do ICV, na qual se associam os dados recolhidos a um processo unitário, relacionando-os com a unidade funcional e o fluxo de referência (NP EN ISO 14040, 2008). Desta forma é possível gerar os resultados para cada

processo unitário. No final, é recomendado efectuar uma validação dos dados (NP EN ISO 14040, 2008).

Apesar de a metodologia de elaboração do ICV não ser idêntica para todos os autores, existem quatro etapas que devem ser destacadas (Curran, 2006; Baumann & Tillman, 2004) (figura 2.4): a elaboração do fluxograma do processo; o processo de recolha dados; o cálculo das cargas ambientais em relação à unidade funcional; e a avaliação e apresentação dos resultados.

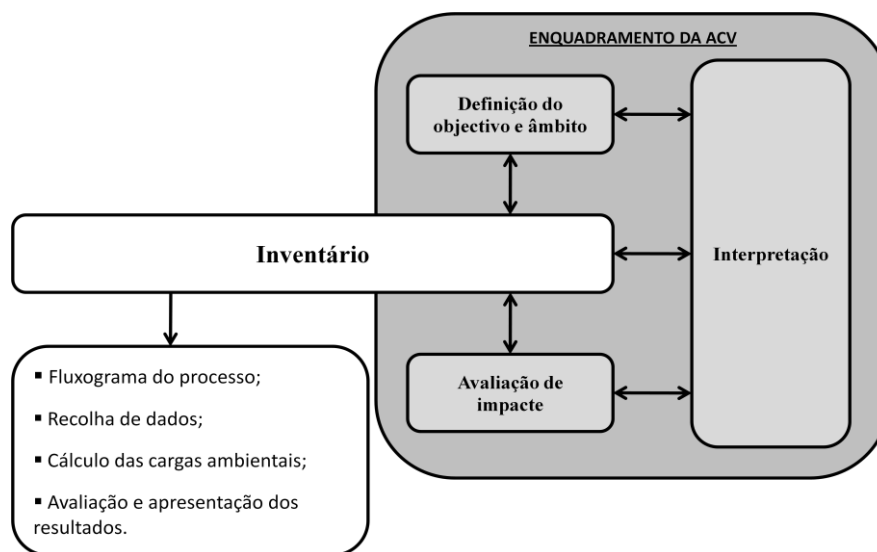


Figura 2.4 - ACV: Inventário do ciclo de vida

2.3.1. Elaboração do fluxograma

O fluxograma ilustra as componentes do sistema do produto, evidenciando as entradas e saídas de cada processo unitário que o compõe. A figura 2.5 representa um exemplo de um fluxograma de um processo genérico para um dado sistema:

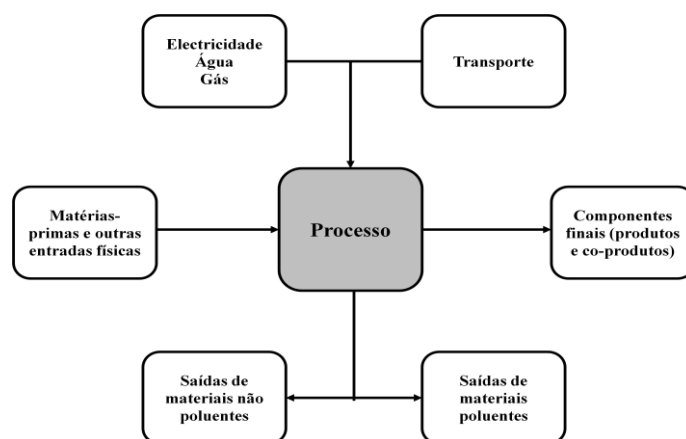


Figura 2.5 – Fluxograma de um processo genérico (adaptado de: Curran, 2006)

Através da observação da figura anterior, torna-se notório o elevado grau de detalhe intrínseco a um ICV. O fluxograma deve conter informações acerca das entradas de matérias e recursos (tipos e quantidades), dos meios de transporte entre subsistemas (registo das distâncias percorridas, peso e tipo de transporte) e das saídas de produtos, co-produtos, resíduos e emissões para a água, ar e solo (quantificadas por tipo de poluente) (Curran, 2006).

Quanto mais complexo o fluxograma, mais fiéis e úteis são os resultados. No entanto, o aumento da complexidade tem como consequência um maior consumo de tempo e recursos (Curran, 2006).

O fluxograma pode ser alterado e completado ao longo do estudo, uma vez que a fase de ICV é iterativa (Baumann & Tillman, 2004).

2.3.2.Recolha de dados

A norma ISO 14040:2008 lista as categorias que classificam os dados referentes a cada processo unitário: *“entradas de energia, entradas de matérias-primas, entradas auxiliares, outras entradas físicas; produtos, co-produtos e resíduos; emissões para o ar, descargas para a água e para o solo; e outros aspectos ambientais”*.

De acordo com a mesma norma, a elaboração do ICV implica a recolha de dados qualitativos e quantitativos respeitantes a todos os processos unitários incluídos na fronteira do sistema. Os dados qualitativos podem envolver descrições da tecnologia do processo, como e quando as emissões foram medidas, a localização geográfica do processo, de onde provêm as entradas e para onde se deslocam as saídas (Baumann & Tillman, 2004).

A norma ISO 14040:2008 impõe que qualquer restrição na recolha de dados seja devidamente documentada no relatório do estudo. Estas restrições podem ser consequências da difícil/inexequível aquisição de dados ou da impossibilidade de converter os dados recolhidos na unidade funcional definida (Curran, 2006).

É imprescindível especificar a fonte e/ou tipo de dados para cada etapa do ciclo de vida, processo unitário ou descarga ambiental, a fim de garantir a qualidade e exactidão necessárias para atingir os objectivos do estudo e a redução de custos e de tempo na recolha de dados (Curran, 2006).

Uma das fontes mais comuns é a informação fornecida pelo fabricante ou fornecedor de um dado produto. No entanto, esta é frequentemente considerada confidencial, o que dificulta os eventuais fins externos do estudo de ACV a ser elaborado (Curran, 2006). Estas complicações resultam frequentemente em inventários insuficientes e sem fundamento técnico, o que compromete a sua credibilidade (Curran, 2006).

Uma alternativa a estas fontes de informação confidencial é o uso de dados estatísticos, estimados e modelados e/ou de dados de ICV já publicados em jornais, artigos, livros técnicos, entre outros (Curran, 2006). Contudo, estes são tipicamente demasiado ou insuficientemente específicos, acabando sempre por ficarem desactualizados (Curran, 2006).

Podem ainda ser usadas outras fontes, como documentos governamentais, que fornecem informações acerca de uma variedade de processos, estando disponíveis para o público (Curran, 2006). Estes documentos são publicados periodicamente, porém tendem a ficar, inevitavelmente, desactualizados e os seus dados podem ser menos específicos e exactos do que os industriais (Curran, 2006). No entanto, estas limitações podem não ser críticas, dependendo o objectivo e âmbito do estudo.

Podem ainda ser consultadas bases de dados de ICV, algumas das quais vendidas em conjunto com programas informáticos específicos de ACV (Baumann & Tillman, 2004). Note-se que caso as especificações geográficas, temporais e tecnológicas das bases de dados não coincidam com as do estudo, a utilização de informação presente em bases de dados não é aconselhável (Blengini, 2006).

2.3.3.Cálculo das cargas ambientais em relação à unidade funcional

Os cálculos da fase de ICV envolvem as seguintes etapas (Baumann & Tillman, 2004):

- 1.) Normalizar dos dados para todas as actividades para as quais foram recolhidos dados, isto é, torná-los relativos a 1 quilograma (ou outra unidade opcional) de produto. Nesta fase os fluxos não devem ser relacionados com a unidade funcional, devendo tratar-se cada actividade individualmente;
- 2.) Calcular os fluxos que ligam as actividades presentes no fluxograma. Esta etapa é efectuada relacionando as entradas e saídas das actividades individuais do fluxograma e resolvendo o sistema de equações - balanços de massa. Uma das equações é a que define o fluxo de referência;
- 3.) Calcular os fluxos que entram/saem da fronteira do sistema, recorrendo novamente ao fluxo de referência;
- 4.) Sintetizar, para todo o sistema, o uso de recursos e as emissões para o ambiente;
- 5.) Documentar os cálculos.

Uma vez que a maioria dos inventários envolve uma grande quantidade de dados, são frequentemente utilizados programas informáticos para a fase de cálculo. Estas ferramentas usam métodos de matriz inversa ou, em certos casos, cálculo sequencial de entradas e saídas (recorrendo, por vezes, a iterações) (Baumann & Tillman, 2004).

O ICV é, sem dúvida, a fase mais trabalhosa da ACV. Os processos unitários têm de ser considerados, interligados e os fluxos de entrada e saída têm de lhes ser atribuídos na correcta proporção. Se tudo isto for efectuado correctamente, o programa informático usado (caso seja utilizado) deverá ser capaz de finalizar os cálculos e atribuir aos produtos finais as correspondentes quantidades de recursos energéticos e não-energéticos, bem como as quantidades de emissões poluentes e resíduos sólidos (Blengini, 2006).

Depois da recolha e organização dos dados, a exactidão dos resultados deve ser verificada, efectuando uma análise de sensibilidade (Curran, 2006).

2.3.4. Avaliação e apresentação dos resultados

A metodologia usada no estudo, os sistemas analisados e as fronteiras definidas devem ser descritos no relatório que apresenta os resultados finais do ICV, bem como todas as suposições efectuadas (Curran, 2006).

Tipicamente os resultados do ICV encontram-se divididos de acordo com as seguintes categorias: matérias-primas; recursos energéticos, emissões atmosféricas; descargas para a água; emissões para o solo; e resíduos sólidos (Blengini, 2006). No entanto, esta informação pode ser organizada por fase do ciclo de vida, por meio (ar, água e solo), por processo específico ou outra combinação consistente com a metodologia ACV (Curran, 2006).

Face a toda a informação do ICV, muitas vezes de natureza díspar, é necessário escolher um formato adequado para o apresentar, sendo as formas mais comuns as tabelas e os gráficos (Curran, 2006).

A forma como as tabelas são apresentadas varia com o objectivo e âmbito do estudo: se o objectivo do estudo for, por exemplo, comparar produtos e encontrar a melhor opção, a maneira mais útil de apresentar os dados é evidenciar os resultados totais do sistema; porém, se se pretender alterar um dado produto a fim de reduzir as suas emissões ambientais, é importante apresentar não só os resultados totais, mas também as contribuições de cada componente do sistema (Curran, 2006). Desta forma é possível concentrar os esforços em otimizar apenas as componentes mais significativas.

A representação gráfica, tanto em gráficos de barras como circulares, auxilia a visualização, assimilação e interpretação dos dados recolhidos (Curran, 2006). No entanto, deve ser tido algum cuidado na agregação e somatório de dados de categorias diferentes, pois estas simplificações nos gráficos podem conduzir a percepções erradas (Curran, 2006).

Para estudos internos, os gráficos circulares podem ser a melhor opção, pois permitem identificar as contribuições por matéria-prima, processo e uso/deposição do produto (Curran, 2006). Para estudos com fins externos, os dados devem ser apresentados de uma forma clara,

podendo ser necessário fornecer uma elevada quantidade de gráficos com poucos dados incorporados (Curran, 2006).

2.4. FASE III: AVALIAÇÃO DE IMPACTE DO CICLO DE VIDA (AICV)

O objectivo desta fase é avaliar a importância dos impactes ambientais potenciais, sendo estes posteriormente associados a categorias específicas de impacte ambiental e a indicadores de categoria (NP EN ISO 14040, 2008). Para efectuar esta avaliação, a AICV transforma as inúmeras cargas ambientais presentes no inventário num número limitado de categorias de impacte ambiental, tornando os resultados mais compreensíveis e mais facilmente comunicáveis (Baumann & Tillman, 2004).

A AICV pode ter como consequência a revisão e/ou alteração do objectivo e do âmbito do estudo de ACV. Por sua vez, estes condicionam o nível de detalhe, a escolha dos impactes avaliados e as metodologias utilizadas nesta fase (NP EN ISO 14040, 2008).

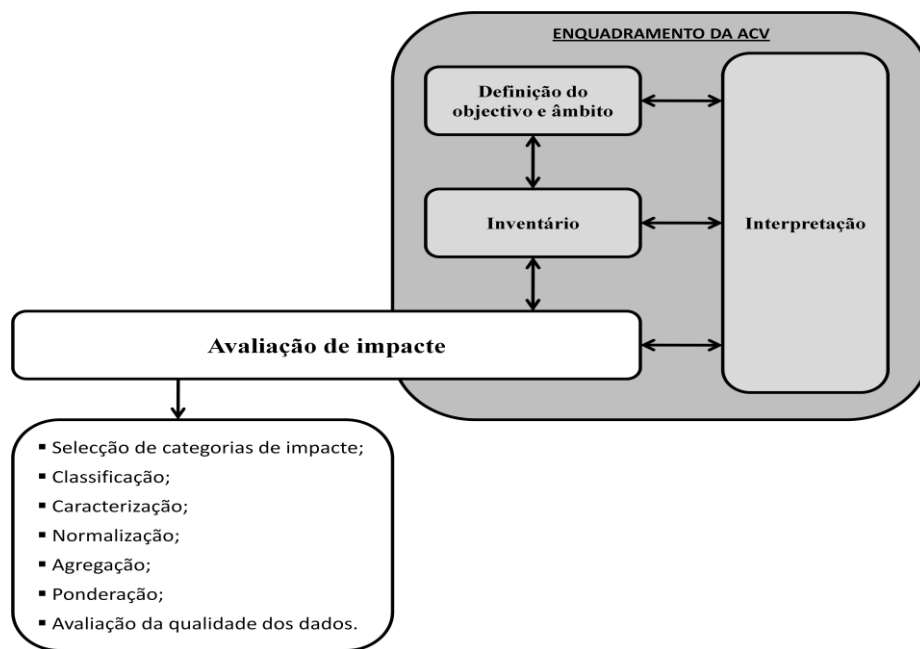


Figura 2.6 - ACV: Avaliação de impacte do ciclo de vida

2.4.1. Etapas da AICV

A divisão da AICV em diferentes fases é importante e necessária por diferentes motivos, listados na norma ISO 14040:2008: cada elemento da AICV é distinto e pode ser claramente definido; a fase de definição do objectivo e do âmbito da ACV pode considerar cada elemento da AICV separadamente; a avaliação da qualidade dos métodos, pressupostos e outras

decisões da AICV pode ser realizada para cada elemento; os procedimentos, pressupostos e outras operações, bem como a utilização de valores e subjectividade em cada elemento podem ser tornados transparentes para revisão crítica e relato.

A mesma norma define as diferentes etapas da AICV, ilustradas na figura 2.7.

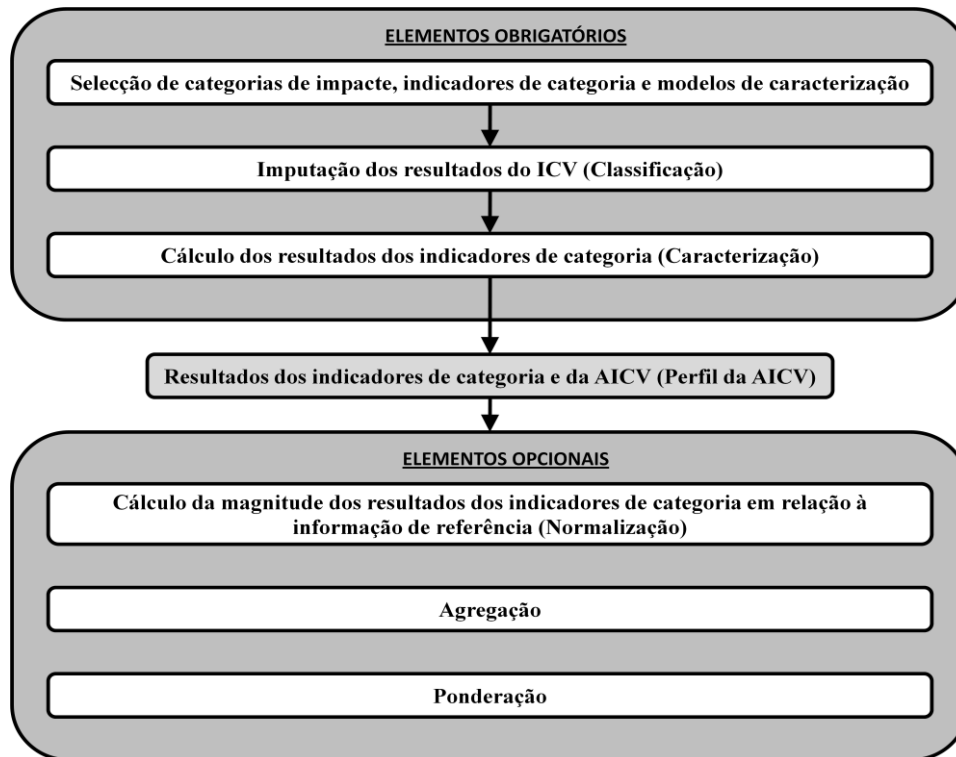


Figura 2.7 - Fases da AICV (fonte: Norma ISO 14040:2008)

Assim sendo, os elementos obrigatórios da AICV incluem: a selecção de categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização; a classificação (cujo objectivo é relacionar os resultados do ICV com as categorias de impacto); e a caracterização (na qual é calculada a dimensão dos impactos ambientais por categoria) (Curran, 2006; Baumann & Tillman, 2004).

Por sua vez, os elementos opcionais abrangem: a normalização (na qual se estabelecem os indicadores das categorias de impacto em relação a um dado referencial, de forma a possibilitar comparações entre as várias substâncias inventariadas); a agregação (cujo objectivo é ordenar e estabelecer um ranking dos indicadores); e a ponderação (que destaca os impactos potenciais mais importantes) (Curran, 2006).

No final da AICV, efectua-se uma análise da qualidade dos dados, durante a qual se avalia a consistência dos resultados obtidos (Curran, 2006).

2.4.1.1. Selecção de categorias de impacte, indicadores de categoria e modelos de caracterização

O primeiro passo na AICV é a selecção de categorias de impacte, que na prática pode ser uma especificação dos impactes ambientais considerados relevantes na fase de definição do objectivo e âmbito (Baumann & Tillman, 2004).

Diversos aspectos devem ser considerados na selecção das categorias de impacte (Baumann & Tillman, 2004):

- **Totalidade:** a lista de categorias de impacte deve incluir todos os problemas ambientais relevantes, ou seja, tanto os que são tidos na generalidade como grandes problemas, como os que têm particular interesse para o sistema em estudo;
- **Praticabilidade:** esta lista não deve conter demasiadas categorias;
- **Independência:** as categorias devem ser mutuamente independentes, a fim de evitar duplas contagens;
- **Possibilidade de integração nos cálculos da ACV:** tal implica que seja possível ligar os resultados do ICV às categorias escolhidas e aos métodos de caracterização;
- **Relevância ambiental:** os indicadores que derivam dos métodos de caracterização devem ser ambientalmente relevantes para a categoria de impacte;
- **Método científico:** os métodos de caracterização devem ser válidos sob o ponto de vista científico.

Na literatura existem diversas sugestões de categorias de impacte relativas às entradas como, por exemplo, recursos abióticos, recursos bióticos e solo; e relativas às saídas: aquecimento global, depleção do ozono estratosférico, acidificação, eutrofização, entre outras (Baumann & Tillman, 2004).

Os modelos de caracterização são utilizados para calcular as contribuições dos resultados do ICV, para as diferentes categorias de impacte (Blengini, 2006). Com o objectivo de agregar os resultados para cada categoria, estes são expressos em termos de um parâmetro comum: o indicador de categoria, identificado para cada impacte ambiental (Blengini, 2006).

A figura 2.8 ilustra a forma como os modelos de caracterização reflectem os mecanismos ambientais, descrevendo a relação entre os resultados do ICV, as categorias de impacte, os indicadores de categoria e as categorias de ponto final. O mecanismo ambiental resulta do somatório de todos os processos ambientais relacionados com a caracterização de impactes (Blengini, 2006).

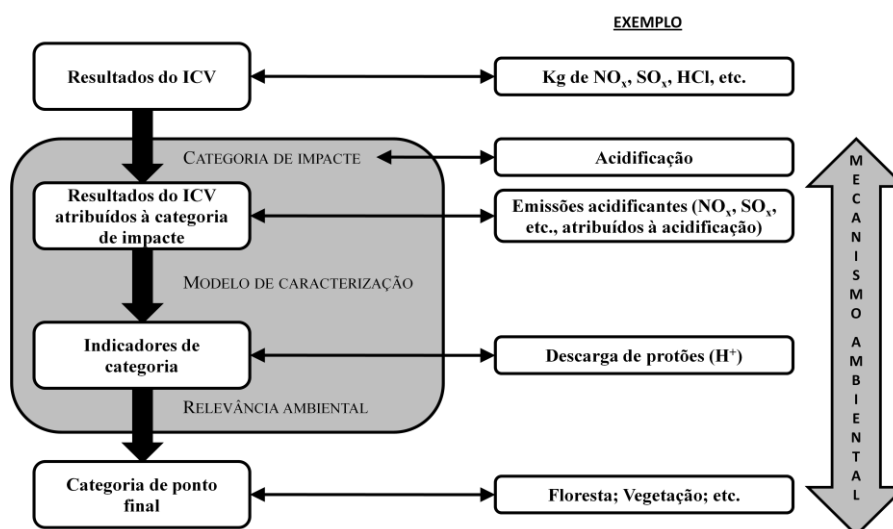


Figura 2.8 - Conceito de indicadores de categoria (fonte: Blengini, 2006)

2.4.1.2. Classificação

O objectivo da classificação consiste na organização e possível combinação dos resultados do ICV com as categorias de impacto seleccionadas anteriormente (Curran, 2006). Este passo implica algum conhecimento acerca dos impactos que resultam dos poluentes e consumo dos recursos em análise (Baumann & Tillman, 2004). Para tal, encontram-se publicadas diversas listas que contêm quais as substâncias que contribuem para as diferentes categorias de impacto.

A tabela 2.1 é um exemplo representativo desta fase da AICV, no qual se identificam as categorias para as quais contribuem emissões presentes num dado inventário: CFC11 (clorofluorcarboneto 11, com a fórmula química CFCl_3), CH_4 (metano) e NO_x (óxidos de azoto).

Tabela 2.1 - Exemplo da fase de Classificação (x – contribuidor; ? - não provado)
(adaptado de: Blengini, 2006)

CATEGORIA DE IMPACTE	CFC11	CH ₄	NO _x
Aquecimento global	X	X	
Depleção do ozono	X	X	?
Acidificação			X
Eutrofização			X
Nevoeiro fotoquímico		X	

Os elementos do inventário que contribuem somente para uma categoria de impacto são atribuídos de uma forma directa (por exemplo, o dióxido de carbono é atribuído directamente à categoria de aquecimento global) (Curran, 2006). No entanto, a classificação para os

elementos que contribuem para mais do que uma categoria de impacte pode ser efectuada de duas maneiras distintas (Curran, 2006):

- Fazer corresponder uma porção representativa dos resultados do ICV às categorias de impacte para as quais esses elementos contribuem;
- Atribuir todos os resultados de ICV a todas as categorias de impacte para as quais contribuem.

A escolha entre os dois métodos depende do resultado em causa. Tomando o SO₂ como exemplo, as suas emissões podem contribuir tanto para a formação do ozono ao nível do solo como para a formação de chuvas ácidas, afectando a saúde humana ou a acidificação, porém não ambas simultaneamente. Assim, as emissões de SO₂ devem ser divididas entre as duas referidas categorias (por exemplo, 50% afectas à saúde humana e 50% à acidificação) (Curran, 2006). Por sua vez, o NO₂ pode afectar a formação de ozono fotoquímico e a acidificação simultaneamente, logo a quantidade total de NO₂ deve ser atribuída a ambas as categorias de impacte (isto é, 100% à formação de fotoquímico e 100% à acidificação) (Curran, 2006).

2.4.1.3. Caracterização

Nesta fase da AICV, as intervenções ambientais atribuídas qualitativamente às categorias de impacte durante a classificação são agora quantificadas com base numa unidade comum para essa mesma categoria, permitindo a agregação num único valor: o indicador (Blengini, 2006).

Em termos práticos, a quantidade de cada item atribuído a uma dada categoria é multiplicado por um factor de caracterização, sendo os resultados obtidos posteriormente somados a fim de alcançar um valor para o indicador (Blengini, 2006).

A estrutura matemática da fase de caracterização é a seguinte (Ferreira, 2004):

$$S_j = \sum_i Q_{ji} \times m_i$$

Onde:

S_j - Resultado do impacte na categoria de impacte j;

Q_{ji} - Factor de caracterização que liga a carga ambiental (i) à categoria de impacte (j);

m_i - Quantidade de carga ambiental (i) - geralmente uma massa expressa em kg, podendo no entanto ser expressa noutras unidades (ex.: m³ ou m².ano)

Para que uma AICV esteja correctamente referenciada, deve documentar os métodos de cálculo, as suas fontes para cada factor de caracterização, pressupostos e outras considerações tidas em conta (Ferreira, 2004).

A tabela 2.2 resume as fases de classificação e caracterização da AICV, mostrando as categorias de impacto mais comuns em estudos de ACV.

Tabela 2.2 – Categorias de impacto tipicamente usadas (fonte: Ferreira, 2004)

CATEGORIA DE IMPACTE	ESCALA	DADOS RELEVANTES DE ICV (CLASSIFICAÇÃO)	FACTOR DE CARACTERIZAÇÃO	DESCRIÇÃO DO FACTOR DE CARACTERIZAÇÃO
Aquecimento global	Global	Dióxido de carbono (CO ₂) Dióxido de azoto (NO ₂) Metano (CH ₄) Clorofluorcarbonetos (CFC's) Hidroclorofluorcarbonetos (HCFCs) Brometo de metilo (CH ₃ Br)	Potencial de aquecimento global	Converte dados do ICV em equivalentes de CO ₂
Depleção do ozono estratosférico	Global	Clorofluorcarbonetos (CFCs) Hidroclorofluorcarbonetos (HCFCs) Brometo de metilo (CH ₃ Br) Hidrocarbonetos halogenados	Potencial de depleção do ozono	Converte dados do ICV em equivalentes de CFC11
Acidificação	Regional Local	Óxidos de enxofre (CO _x) Óxidos de azoto (NO _x) Ácido clorídrico (HCl) Ácido fluorídrico (HF) Amónia (NH ₄ ⁺)	Potencial de acidificação	Converte dados do ICV em equivalentes de hidrogénio (H ⁺)
Eutrofização	Local	Fosfato (PO ₄ ²⁻) Óxido de azoto (NO) Dióxido de azoto (NO ₂) Nitratos Amónia (NH ₄ ⁺)	Potencial de eutrofização	Converte dados do ICV em equivalentes de PO ₄ ²⁻
Fumos fotoquímicos	Local	Hidrocarbonetos não-metânicos (NMHC)	Potencial de criação de oxidante fotoquímico	Converte dados do ICV em equivalentes de etano (C ₂ H ₆)
Toxicidade terrestre	Local	Químicos tóxicos com um registo de concentração letal para roedores	LC ₅₀	Converte dados LC ₅₀ em equivalentes
Toxicidade aquática	Local	Químicos tóxicos com um registo de concentração letal para peixes	LC ₅₀	Converte dados LC ₅₀ em equivalentes
Saúde humana	Global Regional Local	Descargas totais para o ar, água e solo	LC ₅₀	Converte dados LC50 em equivalentes
Depleção de recursos	Global Regional Local	Quantidade de minerais usados	Potencial de depleção de recursos	Converte dados do ICV num rácio de quantidade de recurso usado versus quantidade de recurso deixado em reserva
Uso do solo	Global Regional Local	Quantidade depositada num aterro	Resíduo sólido	Converte massa de resíduo sólido em volume usando uma densidade estimada

2.4.1.4. Normalização

Apesar de os indicadores possuírem um considerável grau de objectividade após a caracterização, a comparação entre os mesmos não é trivial, sendo desejável uma referência que permita uma mais acessível analogia.

A normalização dos resultados do indicador é uma etapa facultativa da AICV, cujo objectivo é permitir interpretar a magnitude de cada resultado do indicador do sistema de produto (Ferreira, 2004). Para tal, é calculada a sua magnitude relativamente a um valor de

referência, facilitando a verificação de incongruências, a comunicação da importância relativa de um dado resultado e a preparação de procedimentos posteriores, como a agregação, a ponderação e a interpretação do ciclo de vida (Ferreira, 2004).

Os valores de referência podem ser, por exemplo, as emissões totais ou utilização de recursos para uma dada área (que pode ser global, regional, nacional ou local), as emissões totais ou utilização de recursos para uma dada área numa base *per capita* ou um cenário base, como um determinado sistema de produto (Ferreira, 2004).

A seguinte expressão respeita à estrutura matemática da normalização (Ferreira, 2004):

$$N_j = \frac{S_j}{A_j}$$

Onde:

N_j - Resultado normalizado do impacte na categoria de impacte j ;

S_j - Resultado do impacte na categoria de impacte j ;

A_j - Factor de normalização.

O factor de normalização representa a extensão do impacte na categoria de impacte j , numa dada área e num dado período de tempo (tipicamente um ano), sendo determinado através da seguinte expressão (Ferreira, 2004):

$$A_j = \sum_i Q_{ji} \times \Phi_i$$

Onde:

Q_{ji} - Factor de caracterização para a categoria de impacte j , devida à carga ambiental i ;

Φ_i - Fluxo actual da carga ambiental i na área escolhida e no período de tempo escolhido.

O resultado da normalização é normalmente denominado “perfil de impacte normalizado” e representa a contribuição específica da unidade funcional para as diferentes categorias de impacte (Ferreira, 2004).

Aquando da normalização podem surgir alguns problemas relacionados com a definição da área e do intervalo de tempo. É recomendada a utilização de um sistema de referência bem definido geograficamente e temporalmente, preferencialmente o mundo e um ano, para todas as categorias de impacte (Guinée et al., 2001).

2.4.1.5. Agregação

A agregação, etapa opcional na AICV, envolve a compactação das categorias de impacte numa ou mais séries, podendo implicar separação e/ou ordenação (Ferreira, 2004).

A agregação pode seguir diferentes procedimentos (Ferreira, 2004):

- Separação das categorias de impacto numa base nominal (por exemplo, com base em características, como as emissões e os recursos, ou em escalas, como global e regional);
- Ordenação das categorias de impacto numa dada hierarquia, com base na escolha de valores (por exemplo, prioridade alta, média e baixa).

2.4.1.6. Ponderação

Tal como as duas etapas anteriores, a ponderação é uma fase facultativa da AICV, que consiste na atribuição de pesos ou valores relativos às diferentes categorias de impacto, com base na sua relevância (Ferreira, 2004). Para tal, pode recorrer-se à conversão dos resultados do indicador ou dos resultados normalizados, utilizando factores de ponderação, seguindo-se uma agregação dos resultados convertidos ou dos normalizados, ao longo das categorias de impacto (Ferreira, 2004).

Existem inúmeros métodos de ponderação, três dos quais são destacados por Ferreira (2004):

- **Ponderação monetária:** baseada no valor que se está disposto a pagar ou em abordagens de preferências reveladas;
- **Ponderação distância-ao-alvo:** implica o uso de legislação política;
- **Ponderação por painel social:** baseada em juízos de especialistas ou interessados no processo de decisão.

As estruturas matemáticas utilizadas na ponderação variam com o método de avaliação. Para métodos que necessitam de normalização a expressão é a seguinte (Ferreira, 2004):

$$X = \sum_j W_j \times N_j$$

Onde:

X - “Índice ambiental”;

W_j - Factor de ponderação respeitante à categoria de impacto j;

N_j - Resultado do impacto j normalizado.

Para métodos de avaliação que não necessitam de normalização (Ferreira, 2004):

$$X = \sum_j W_j \times S_j$$

Onde:

X - “Índice ambiental”;

W_j - Factor de ponderação respeitante à categoria de impacte j (pode ser um valor actual, um valor-alvo e/ou um valor intrínseco ou monetário);

S_j - Resultado do impacte j.

Para uma avaliação distância-ao-alvo (Ferreira, 2004):

$$W_j = \frac{A_j}{T_j}$$

Onde:

W_j - Factor de peso respeitante à categoria de impacte j;

A_j - Extensão actual do impacte j num certo período e numa certa área;

T_j – Valor-alvo para o impacte j.

Para uma avaliação puramente social ou monetária (Ferreira, 2004):

$$W_j = R_j$$

Onde:

W_j - Factor de peso respeitante à categoria de impacte j;

R_j - Factor inter-impacte relativamente ao impacte j.

Para uma avaliação que combine distância-ao-alvo e avaliação social ou monetária (Ferreira, 2004):

$$W_j = R_j \times \frac{A_j}{T_j}$$

Onde:

W_j - Factor de peso respeitante à categoria de impacte j;

R_j - Factor inter-impacte relativamente ao impacte j;

A_j - Extensão actual do impacte j num certo período e numa certa área;

T_j – Valor-alvo para o impacte j.

É importante referir que a ponderação e agregação podem ser simplificadas se se recorrer a metodologias da teoria de decisão, qualitativas ou quantitativas, nomeadamente: MAUT (Multi-Attribute Utility Theory), AHP (Analytic Hierarchy Process), IAM (Impact Analysis Matrix) e MCA (Multi-criteria Analysis), que utilizam juízos de especialistas e de partes interessadas e/ou afectadas (Ferreira, 2004).

2.4.2.Avaliação da qualidade dos dados

Para avaliar a qualidade dos dados podem ser usadas as seguintes ferramentas (Ferreira, 2004):

- **Análise de gravidade:** procedimento estatístico que identifica os dados (ou os processos unitários) que mais contribuem para o resultado do indicador.

- **Análise de incerteza:** procedimento que revela a forma como a incerteza nos dados de ICV e/ou factores de caracterização afecta os resultados do indicador.

- **Análise de sensibilidade:** utilizada para medir as consequências que alterações nos resultados de ICV ou nos factores de caracterização, de normalização e de ponderação introduzem nos resultados do indicador.

Estas ferramentas podem ser aplicadas nos resultados do ICV, nos resultados do indicador e/ou nos resultados normalizados e ponderados (Ferreira, 2004).

2.4.3.Limitações da AICV

É importante reconhecer que a AICV não é uma avaliação completa das questões ambientais do sistema de produto a estudar, abordando apenas as especificadas no objectivo e no âmbito (NP EN ISO 14040, 2008).

A AICV nem sempre revela diferenças significativas entre as categorias de impacto e os resultados dos indicadores relacionados de sistemas de produto alternativos, o que pode ser consequência de (NP EN ISO 14040, 2008): um desenvolvimento limitado dos modelos de caracterização e das análises de sensibilidade e da incerteza; limitações no ICV (como fronteiras que excluam certos processos unitários ou certas entradas e saídas ou limitações ligadas à baixa qualidade dos dados, causada, por exemplo, por incertezas); e limitações na recolha dos dados do inventário, caso estes sejam inadequados ou pouco significativos para cada categoria de impacto.

Existem ainda algumas limitações ligadas à ausência das dimensões espacial e temporal nos resultados do inventário, que provoca alguma incerteza nos resultados da AICV, uma vez que esta varia com as características espaciais e temporais de cada categoria de impacto (NP

EN ISO 14040, 2008). Note-se ainda que não há qualquer metodologia uniforme para associar os dados do ICV a impactes ambientais específicos (NP EN ISO 14040, 2008).

2.5. FASE IV: INTERPRETAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Após a conclusão da fase de AICV e a obtenção dos seus resultados, é necessário interpretá-los para compreender e assimilar o seu significado.

De acordo com a norma ISO 14040:2008, a interpretação do ciclo de vida consiste na avaliação dos resultados de inventário e/ou da avaliação de impactes, de acordo com o objectivo e âmbito definidos, perspectivando a obtenção de conclusões e recomendações.

Os resultados obtidos nesta fase devem ser consistentes com o objectivo e âmbito definidos, devendo permitir tirar conclusões legítimas, explicar limitações, propor recomendações e aumentar a confiança no estudo (NP EN ISO 14040, 2008). É importante referir que também esta fase de ACV pode implicar a revisão e alteração do âmbito do estudo e da natureza e qualidade dos dados recolhidos, a fim de encontrar uma conformidade com o objectivo (NP EN ISO 14040, 2008).

A figura 2.9 apresenta os passos essenciais a dar nesta fase da ACV (Baumann & Tillman, 2004):

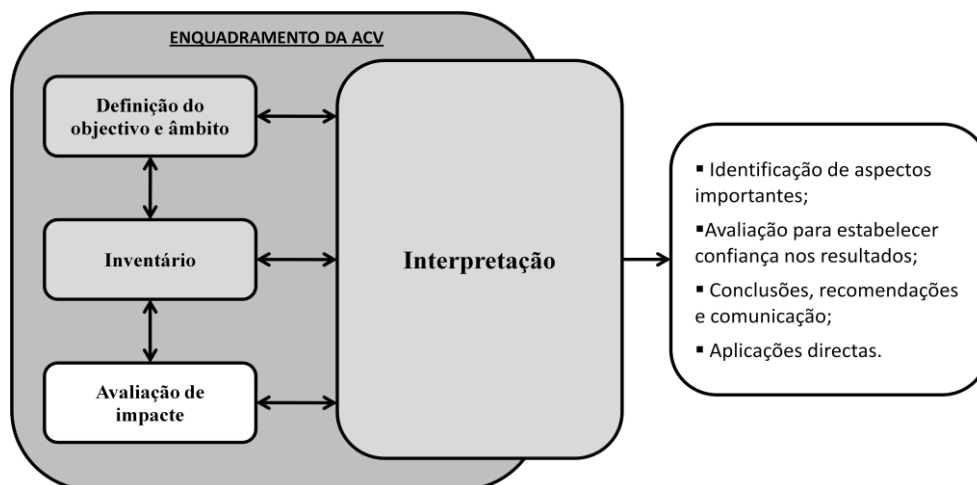


Figura 2.9 - ACV: Interpretação do ciclo de vida

Espera-se que esta fase reflecta o facto dos resultados da AICV derivarem de uma abordagem relativa, não prevendo efeitos reais em impactes finais por categoria e o incumprimento de valores limite ou margens de segurança ou risco (NP EN ISO 14040, 2008).

Assim, a interpretação do ciclo de vida deve descrever de forma clara, compreensível e coerente os resultados da ACV (NP EN ISO 14040, 2008).

3. SOFTWARE ACV: SIMAPRO

O SimaPro é um software de ACV, desenvolvido pela empresa holandesa PRé Consultants, que permite avaliar o desempenho ambiental de produtos ou serviços de uma forma sistemática e consistente, seguindo os princípios da Norma ISO 14040:2008.

Este programa informático incorpora diversas bases de dados, permitindo aceder a informação relativa a materiais, energia, transporte, processamento, utilização e destino final de resíduos. Para além disso, este permite avaliar os impactes ambientais segundo diferentes métodos.

Segundo Ferreira (2004), esta ferramenta tem sido a mais utilizada na avaliação ambiental de produtos desde que foi criada, em 1990.

No presente trabalho foi utilizada a versão SimaPro 5.1. Actualmente existe uma versão mais recente, porém substancialmente mais dispendiosa, pelo que não foi possível aceder à mesma.

A versão SimaPro 5.1 permite recorrer às seguintes bases de dados: Buwal 250; Data Archive; Dutch Input Output Database; ETH-ESU 96 System processes; ETH-ESU 96 Unit processes; Idemat 2001; Industry data; e Methods (Goedkoop, Oele, & Gelder, 2003).

Simultaneamente, esta versão possibilita a avaliação do impacte ambiental de acordo com diferentes métodos: CML 1991; CML 2 baseline 2000; Eco-indicator 95; Eco-indicator 99 (o qual foi utilizado no presente trabalho); Ecopoints 97 (CH); EDIP/UMIP 96; EDIP/UMIP 96 (resources only); EPS 2000 (Goedkoop, Oele, & Gelder, 2003).

Em suma, este programa informático possibilita a análise sistemática e transparente de ciclos de vida complexos de produtos e serviços, de acordo com os princípios da norma ISO 14040:2008.

3.1. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE IMPACTE AMBIENTAL DO CICLO DE VIDA

Existem diversos métodos de avaliação de impacte ambiental do ciclo de vida, cada um deles apresentando um indicador de impacte diferente como resultado.

Entre estes encontra-se o método CML 2 (método multi-fase, cuja abordagem é orientada para o problema), o Ecopontos 97 (método de fase única, ou seja, cada carga ambiental é multiplicada por um único factor que a transforma em ecopontos) e o Eco-indicator 99 (método multi-fase com abordagem orientada para o dano) (Ferreira, 2004).

No presente trabalho optou-se por utilizar o método Eco-indicator 99, pormenorizado de seguida, por se considerar que contempla as categorias de impacto mais significativas para o sector da construção civil.

3.1.1. Método Eco-indicator 99

Tipicamente os estudos de ACV apresentam os seus resultados em relação a uma série categorias de impacto diferentes (como a acidificação, a eutrofização, a depleção da camada do ozono, entre outros), o que dificulta a sua ponderação.

O uso de eco-indicadores facilita a ponderação, uma vez que transforma os resultados do inventário em pontuações, que podem ser agregadas em categorias de danos ou mesmo numa pontuação única (Goedkoop & Spriensma, 2001).

O Eco-indicator 99 é um exemplo de um método que recorre a eco-indicadores para expressar os resultados da AICV (figura 3.1).

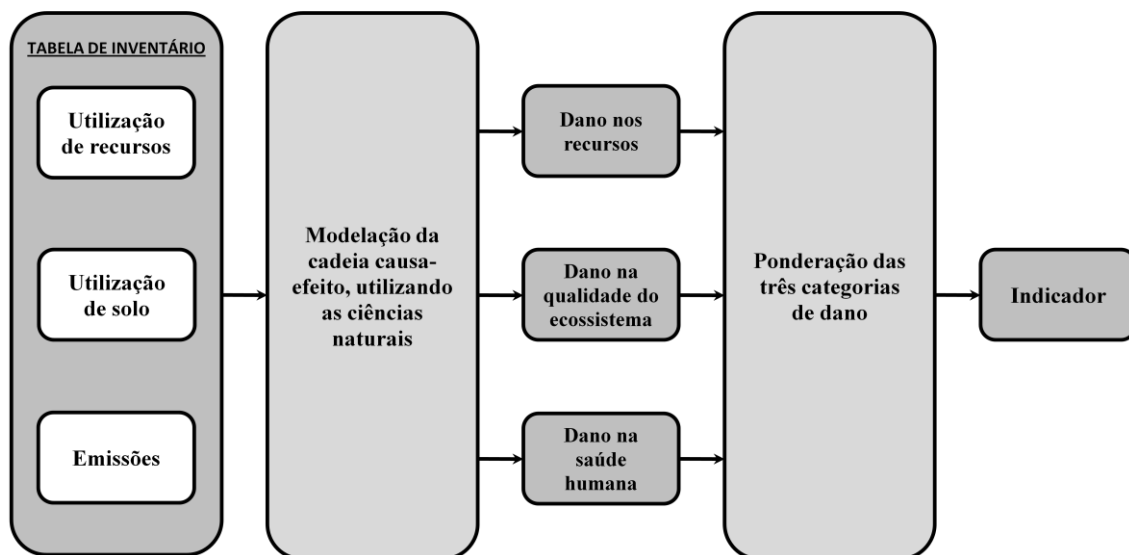


Figura 3.1 - Procedimento geral para o cálculo do Eco-indicator 99 (fonte: Ferreira, 2004)

Este método considera onze categorias de impacto, posteriormente agrupadas em três categorias de dano (figura 3.2) consideradas na normalização e na ponderação (Goedkoop & Spriensma, 2001):

1.) Saúde humana: nesta categoria são incluídos o número e a duração dos efeitos, fatalidades e incapacidades provocadas por danos ambientais. Os danos são expressos em DALY (*Disability Adjusted Life Years*);

2.) Qualidade do ecossistema: os dados considerados incluem os efeitos sobre a completa e irreversível extinção de espécies, bem como o desaparecimento de espécies

(reversível ou irreversível) de uma certa região, num dado período de tempo. A unidade utilizada é $PDF.m^2.ano$ (PDF - *Potentially Disappeared Fraction*) ou $PAF.m^2.ano$ (PAF - *Potentially Affected Fraction*);

3.) Recursos: os impactes desta categoria são quantificados em relação à energia necessária para futuras extracções de recursos minerais e combustíveis fósseis. A unidade utilizada é MJ.

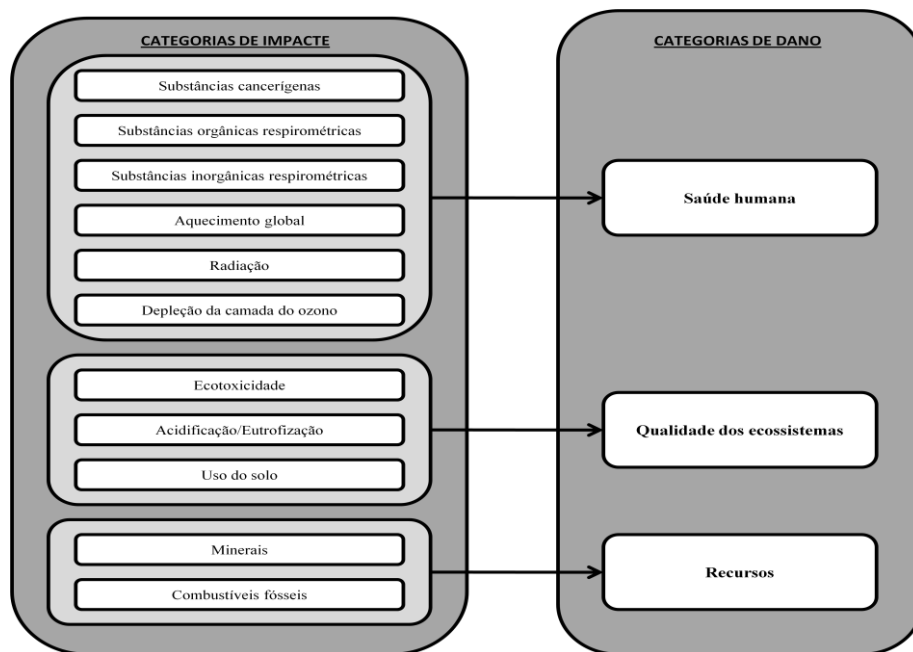


Figura 3.2 - Categorias de impacte e de dano incluídas no método Eco-indicator 99

4. METODOLOGIA

Como já mencionado, o desenvolvimento deste trabalho foi efectuado em torno dos materiais aplicados na empreitada referente à Escola Secundária de Caldas das Taipas (Guimarães). No entanto, dadas as limitações temporais para a execução do trabalho, tornou-se necessário seleccionar uma tipologia de material, optando-se por estudar os materiais de revestimento.

Desta forma, foi efectuado um levantamento dos materiais de revestimento aplicados/ a aplicar na referida obra e suas quantidades, recorrendo ao caderno de encargos e ao mapa de aprovisionamentos. A obra é constituída por 9 corpos, cada um com dimensões, características e materiais específicos, pelo que o registo das quantidades foi efectuado para cada corpo (tabela 4.1).

Para avaliar o desempenho ambiental dos materiais pensou-se inicialmente recorrer ao programa informático BEES (*Building for Environmental and Economic Sustainability*). Este foi criado, em 1994, pelo *Building and Fire Research Laboratory*, do instituto americano NIST (*National Institute of Standards and Technology*), com o intuito de auxiliar a selecção de materiais de construção considerando os seus desempenhos ambiental e económico. No entanto, este software contempla apenas dados recolhidos nos Estados Unidos da América, pelo que se concluiu ser pouco viável a sua transposição para a realidade portuguesa.

Assim, recorreu-se ao já referido software de ACV SimaPro 5.1 e às bases de dados nele existentes para estudar o desempenho ambiental dos materiais. No entanto, comprovou-se não existir correspondência entre os materiais de revestimento listados e os existentes nas bases de dados disponíveis no programa informático.

Face à falta de informação, bem como ao restante tempo disponível para a realização do trabalho, optou-se por estudar o desempenho ambiental do PVC (policloreto de vinilo), pois é o principal constituinte dos vinílicos aplicados em alguns pavimentos da obra em análise. Por outro lado, considerou-se interessante estudar o desempenho ambiental de um outro constituinte de pavimentos, a madeira de carvalho, como alternativa a este material, a fim de verificar qual o mais sustentável sob o ponto de vista ambiental.

A avaliação e comparação do desempenho ambiental destes dois materiais foram efectuadas seguindo as etapas da ACV (intrínsecas ao software utilizado), as quais são apresentadas de seguida para o caso de estudo.

Tabela 4.1 - Levantamento dos materiais de revestimento aplicados/a aplicar na obra

MATERIAL DE REVESTIMENTO		CORPO 1	CORPO 2	CORPO 3	CORPO 4	CORPO 5	CORPO 6	CORPO 7	CORPO 8	CORPO 9
REVESTIMENTOS										
PAREDES EXTERIORES	Isolamento térmico tipo "Capotto-Maxit Hotskin"	2758,75	1708,00	357,33	156,16	151,42	156,16	156,16		289,2
	Painéis de naturocimento "Eternit-Natura" da Cimianto), espessura 8 mm	278,95	130,13	50,26						
	Painéis de naturocimento "Eternit-Natura" da Cimianto), espessura 8 mm + Placas Viroc				595,88	628,39	595,88	595,88		
	Isolamento térmico em espuma rígida de poliuretano projectado, espessura média 5 cm				595,88	628,39	591,24	595,88	1144,62	
PAREDES INTERIORES	Salpisco, emboço e reboco, com acabamento a estanhado liso	3879,52	2833,75	216,37	1549,13	1544,41	1549,13	1676,94	431,60	223,39
	Salpisco, emboço e reboco, com acabamento a areado fino	38,10								
	Azulejo tipo "Primus Vitória" 10x10 cm, até 1,90 m	873,17	656,94	238,60	27,38	27,38	27,38	27,38	921,05	
	Azulejo tipo "Primus Vitória" 10x10 cm, até 2,00 m									248,78
	Marmorite polida vitrificada, espessura 1 cm	154,82								
	Placas de gesso standard da Knauf, espessura 12,5 mm	96,79								
TECTOS	Placas de gesso cartonado STD (espessura 12,5 mm) + Placas perfuradas Delta 8/18R (espessura 12,5 mm) + Painéis de manta de lã de rocha com 40 kg/m3 (espessura 40 mm)	2729,65	2144,44		856,37	856,37	856,37	857,22		50,36
	Placas de gesso cartonado hidrófugo impregnadas H, espessura 12,5 mm	447,24	18,28	178,56					300,24	89,46
	Placas de cimento "Aquapanel Outdoor", espessura 12,5 mm	49,28							99,83	11,34
	Placas de gesso cartonado com isolamento acústico reforçado	853,05	255,38							
	Salpisco, emboço e reboco, com acabamento a areado fino, para pintar	289,66	119,37						59,45	
PAVIMENTOS	Marmorite polida vitificada, espessura 1 cm	2289,28	707,24	159,10	162,45	162,45	162,67	164,82	884,44	123,31
	Vinílico tipo "Optic -Compact - Tarkett", espessura 2 mm	1318,14	311,96		312,80	312,80	312,80	316,57		50,36
	Vinílico tipo "Optic -Acustic - Tarkett", espessura 3,05 mm	847,82	700,90		330,48	330,48	330,48	330,48		
	Vinílico antiderrapante "Safetred Universal Pur - Tarkett", espessura 2 mm	218,94	830,07		19,31	19,31	19,31	19,31		
	Pavimento em betão "In Situ" + Pigmento colorido tipo "Bayferrox"	110,00								
	Microcubo de granito 5x5x5 cm	275,61							72,25	
	Pavimento desportivo "Mondosport" da Mondo, espessura 4,5 mm								370,00	
	Pavimento desportivo de borracha vulcanizada "Mondoflex", espessura 4,0 mm								1115,52	
CARPINTARIA										
PAREDES	Painéis de MDF hidrófugo, espessura 16 mm, até 1 m de altura	33,80								
	Painéis de MDF colorido "Valchromat", espessura 16 mm	1064,52	642,14		406,42	392,26	401,47	441,99		
	Painéis perfurados de contraplacado de madeira de tola desenrolada, espessura 19 mm	28,75								
	Painéis de MDF colorido tipo "Valchromat", espessura 19 mm								357,10	29,80
SERRALHARIA										
PLATIBANDA	Painéis sandwich tipo "ACH - ARCELORMITTAL", espessura 80 mm								555,90	
PAREDES	Lâminas de alumínio anodizado tipo "extrusal"									
ALVENARIAS										
ALVENARIAS INTERIORES	Placa de gesso com lã de rocha tipo isolada tipo "Woolplac 13+50 mm" da Knauf				168,64	168,64	168,64	82,35		

*Quantidades registadas em m²

5. RESULTADOS

5.1. DEFINIÇÃO DO OBJECTIVO E ÂMBITO

5.1.1.Objectivo

O objectivo deste estudo de ACV incidiu na avaliação do impacte ambiental do ciclo de vida do PVC e da madeira de carvalho (ambos constituintes de diferentes materiais aplicados nos pavimentos), a fim de comparar o seu desempenho ambiental e estudar a viabilidade, sob o ponto de vista ambiental, da substituição de um pavimento composto por PVC por um à base de madeira de carvalho.

5.1.2.Público-alvo

O público-alvo é constituído pelos decisores e pelos responsáveis pela selecção dos materiais de construção, podendo estes resultados ser usados para divulgação pública.

5.1.3.Sistemas de produto

O sistema de produto do PVC engloba os processos unitários esquematizados na figura 5.1.

O PVC resulta da polimerização de cloreto de vinilo, obtido a partir de eteno e de cloro. Por sua vez, o eteno provém do processo de pirólise de nafta, extraída do petróleo. O cloro é obtido por electrólise do cloreto de sódio presente no sal (Santos & Martins, 2004).

Depois da sua produção, o PVC passa pela fase de uso, tratamento no fim de vida útil e termina o seu ciclo de vida no seu destino final.

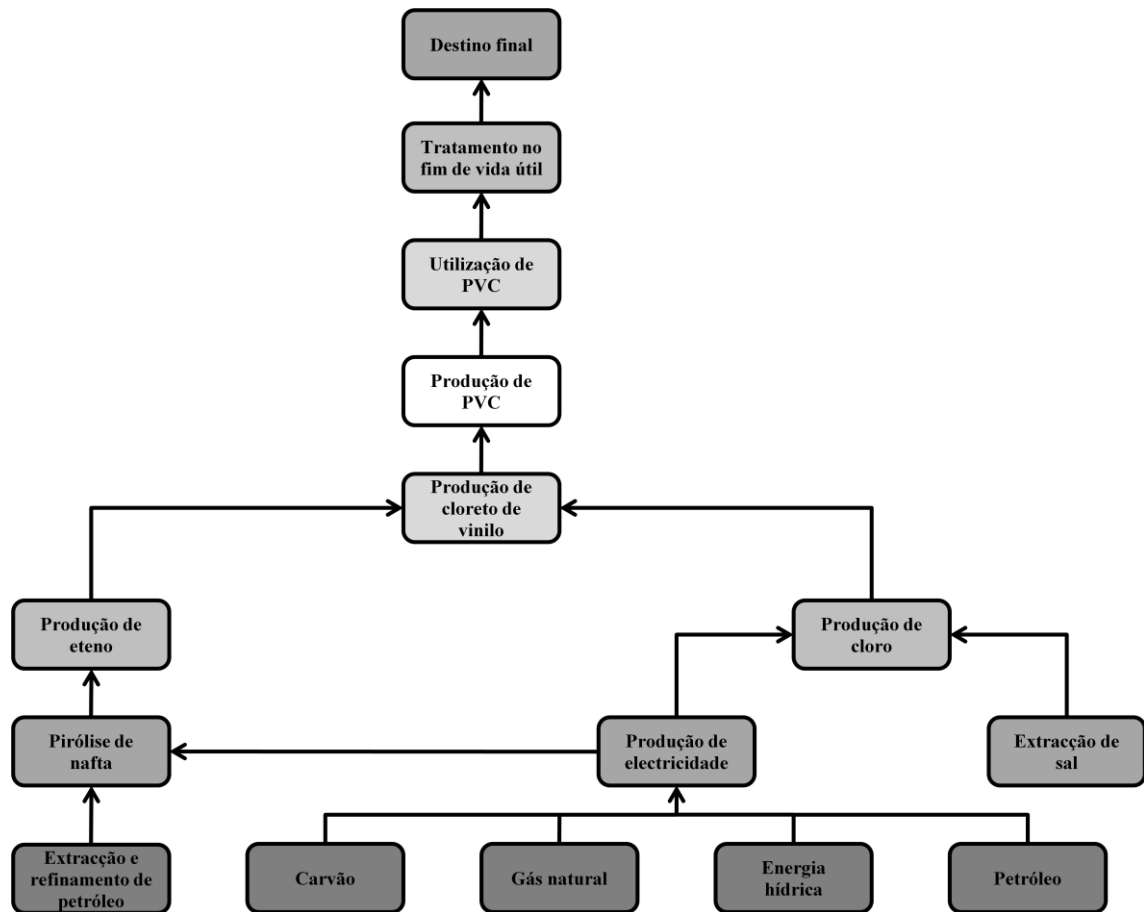


Figura 5.1 – Representação esquemática dos processos unitários que compõem o sistema de produto do PVC

O sistema de produto da madeira de carvalho encontra-se representado na figura 5.2.

O passo inicial neste sistema é o abate de árvores (carvalhos), seguindo-se a produção da madeira serrada e a sua secagem, que implicam uso de electricidade e de petróleo (para os fornos de secagem). Posteriormente, a madeira passa pela sua fase de utilização, bem como pelo seu tratamento de fim de vida e destino final.

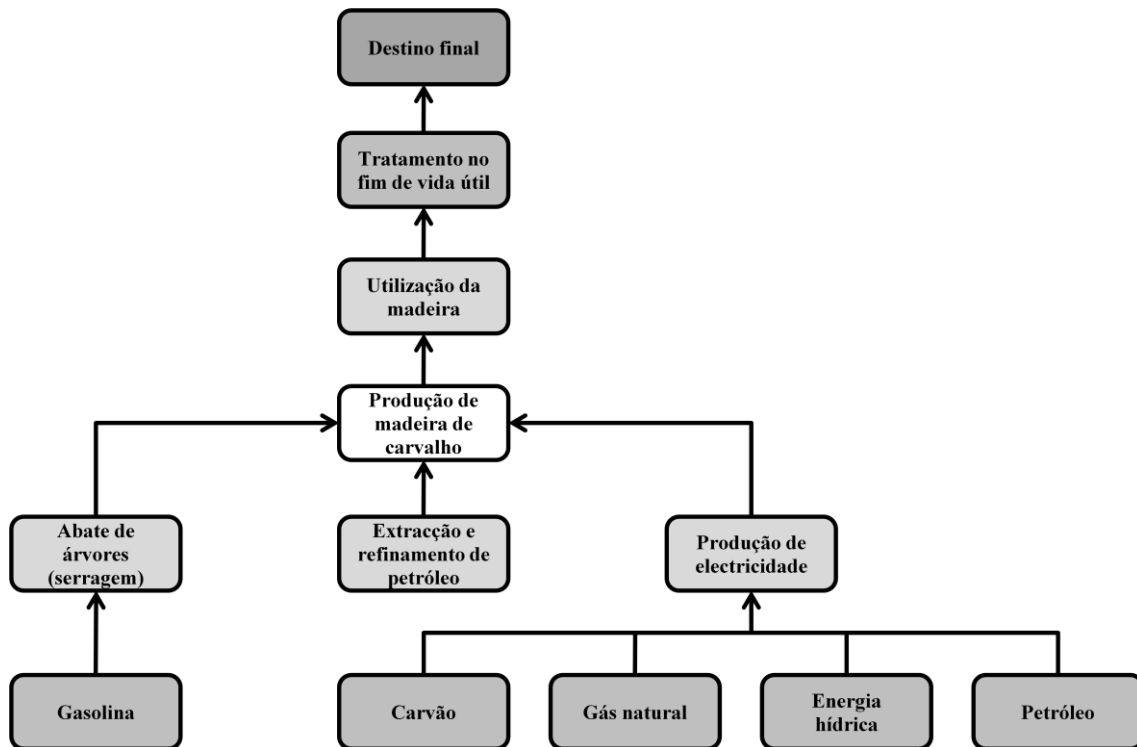


Figura 5.2 - Representação esquemática dos processos unitários que compõem o sistema de produto da madeira de carvalho

5.1.4. Função do sistema

A função de ambos os sistemas em análise é revestir, uma vez que integram materiais de revestimento.

5.1.5. Unidade funcional

A unidade funcional foi definida como “revestir 10 m² durante 15 anos”, o que significa que a capacidade de revestimento de cada um dos materiais ao longo de um período de 15 anos deverá servir de referência para os fluxos de entrada e saída, permitindo uma correcta comparação entre os resultados obtidos.

5.1.6. Fluxo de referência

Optou-se por definir 1 kg de produto como fluxo de referência.

5.1.7. Fronteiras do sistema de produto

As fronteiras definidas incluem a extração de matérias-primas e o processo de produção dos materiais, tendo sido estudados todos os processos envolvidos nestas etapas, incluindo aqueles cujo impacto ambiental é reduzido.

5.1.8. Categorias de impacte seleccionadas e metodologia de avaliação de impacte

O método de avaliação de impacte utilizado neste estudo foi o Eco-indicator 99, que considera onze categorias de impacte: substâncias cancerígenas; substâncias orgânicas respirométricas; substâncias inorgânicas respirométricas; aquecimento global; radiação; depleção da camada do ozono; ecotoxicidade; acidificação/eutrofização; uso do solo; minerais; e combustíveis fósseis. Estas são posteriormente agrupadas em categorias de dano: a saúde humana, a qualidade do ecossistema e os recursos.

5.1.9. Requisitos dos dados

Dado tratar-se de um estudo de PVC e madeira de carvalho como materiais genéricos a aplicar em materiais de revestimento, e não específicos de uma empresa, os dados recolhidos para o inventário podem ser abrangentes e representativos das práticas industriais comuns (como os existentes em bases de dados).

Assim, os dados foram exclusivamente consultados nas bases de dados disponíveis no SimaPro 5.1. Dado o período de tempo disponível para a realização do trabalho, considerou-se inexequível a recolha atempada de dados recorrendo à cedência de informação por parte das empresas envolvidas nos processos do sistema.

O software SimaPro 5.1 permite a escolha de indicadores de qualidade dos dados, cujo objectivo é permitir verificar até que ponto a informação das bases de dados é compatível com as exigências definidas para o estudo. Neste estudo foram considerados os seguintes indicadores:

- **Tempo:** de 1985 a 2010;
- **Geografia:** Europa ocidental;
- **Tipo:** tecnologia média e moderna; representatividade média de processos específicos, com saídas similares e de todos os fornecedores;
- **Limites do sistema:** segunda ordem (fluxos de materiais/energia).

Para verificar a compatibilidade, o software faz corresponder os diferentes processos unitários a uma determinada cor. Existem quatro cores possíveis: verde (indica que os dados correspondem na totalidade às exigências do projecto); amarelo (existe correspondência, mas não total); laranja (existe pouco relacionamento entre os dados e os requisitos); e vermelho (os dados podem ser utilizados no estudo, mas não se adequam aos seus requisitos) (Goedkoop, Oele, & Gelder, 2003).

No caso do PVC, todos os dados utilizados apresentam a cor verde, ou seja, cumprem na totalidade os requisitos acima indicados. Porém, na produção de madeira de carvalho, o processo de abate de árvores apresenta a cor amarela (pois os dados relativos à geografia são mistos), bem como a extracção e refinamento de petróleo e a gasolina (pois os dados relativos à tecnologia são mistos).

5.1.10. Pressupostos/Limitações

Conforme citado anteriormente, os dados do inventário foram recolhidos exclusivamente em bases de dados, as quais não continham informação acerca do ciclo de vida completo do PVC e da madeira de carvalho. Por outro lado, existe desconhecimento no que respeita ao destino final dos produtos. Assim, o estudo ficou limitado a algumas fases dos ciclos de vida dos produtos em análise (extracção de matérias-primas e processo de produção).

É importante salientar que não foi considerado qualquer tipo de transporte das matérias, por desconhecimento do meio e da distância percorrida.

As etapas do ciclo de vida não são o único factor que fica condicionado pelo facto de o estudo estar limitado à informação existente nas bases de dados, pois consequentemente os requisitos dos dados tomam um elevado grau de abrangência. É de salientar que o espaço temporal compreende 25 anos e a localização espacial compreende qualquer parte da Europa ocidental. O ideal seria utilizar dados específicos das empresas ou dados nacionais, porém estes não estão contemplados nas bases de dados a que foi possível aceder.

Dado que a definição das fronteiras do sistema limitou o estudo às fases de extracção das matérias-primas e de produção, a unidade funcional não influencia o estudo de ACV. Por outras palavras, comparar os produtos com base nestas duas fases do ciclo de vida para a quantidade necessária para obter 10 m² de PVC e madeira de carvalho capazes de revestir o pavimento ao longo de 15 anos é semelhante a comparar para 1kg, pois desde que a quantidade dos dois materiais seja igual, a área revestida e a capacidade de revestimento não influenciam esta comparação.

Note-se que caso fosse estudada a fase de uso, bem como as fases posteriores do ciclo de vida, seria necessário entrar em consideração com a unidade funcional definida, a fim de obter uma base comparável e resultados verosímeis.

5.1.11. Tipo e formato do relatório requerido para o estudo

Os resultados serão apresentados de acordo com a metodologia ACV presente na norma ISO 14040:2008 e a configuração apresentada no programa informático utilizado.

5.2. INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA (ICV)

Com a elaboração do inventário pretende-se obter informações ambientalmente relevantes para os processos unitários identificados, de acordo com o definido na etapa anterior da ACV.

5.2.1. Elaboração de fluxogramas

5.2.1.1. PVC

A figura 5.3 exibe o fluxograma do processo de produção de PVC, evidenciando as entradas e saídas identificadas e disponíveis na base de dados consultada.

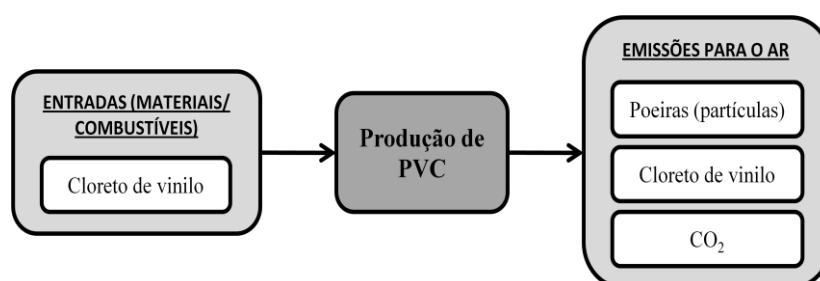


Figura 5.3 - Fluxograma da produção de PVC

Os fluxogramas dos restantes processos unitários incluídos nas fronteiras definidas são apresentados nas figuras seguintes (figuras 5.4 a 5.8), excepto da produção de electricidade devido à sua complexidade e extensa variedade de substâncias emitidas. Note-se que não estão esquematizadas todas entradas e saídas envolvidas nos processos, mas antes as presentes nas bases de dados consultadas, pelo que os processos poderão eventualmente envolver mais entradas e/ou saídas não representadas nos fluxogramas.

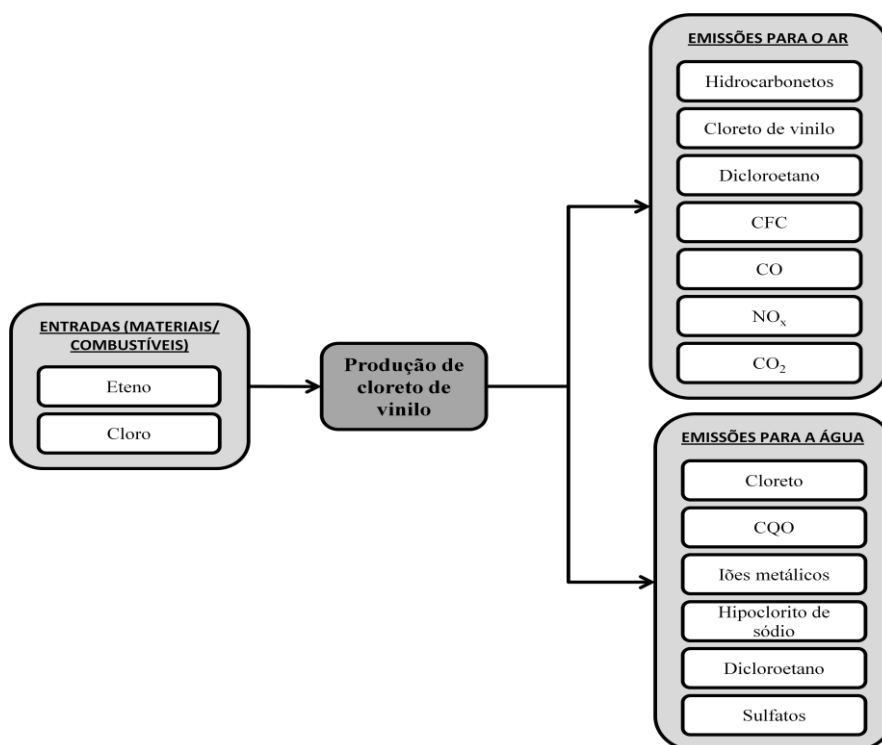


Figura 5.4 - Fluxograma da produção de cloreto de vinilo

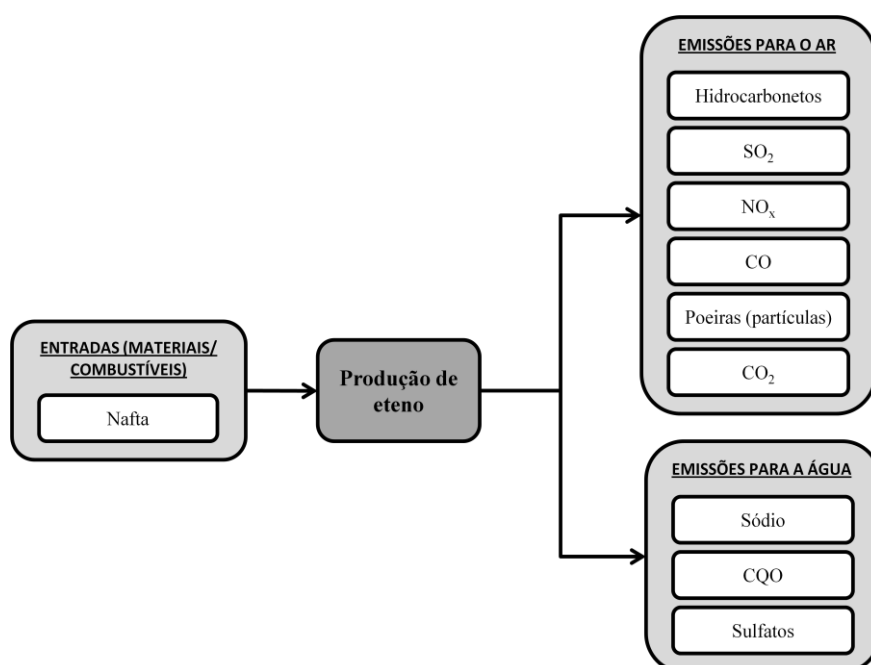


Figura 5.5 - Fluxograma da produção de eteno

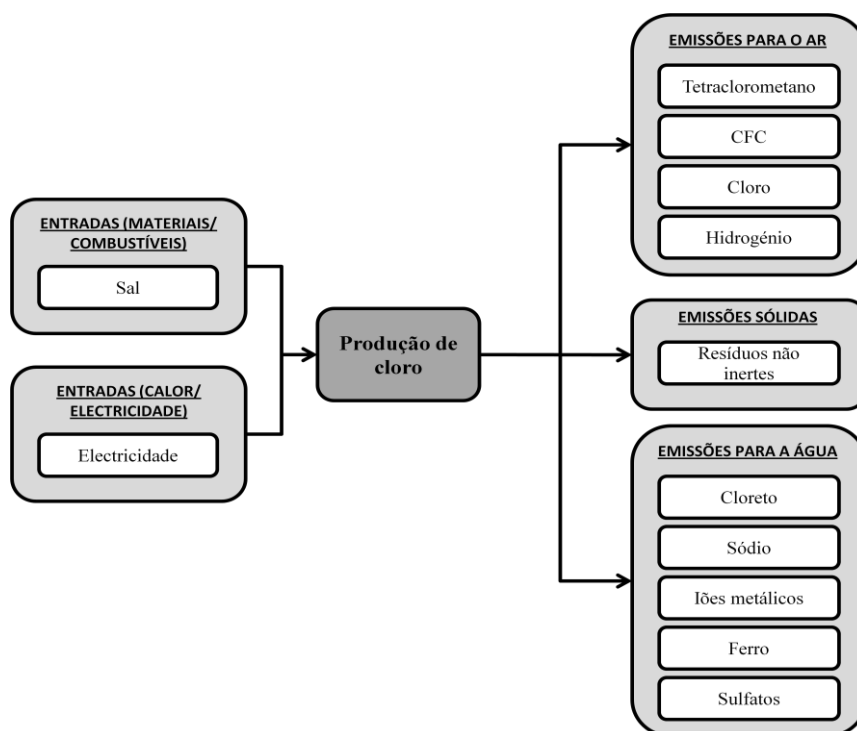


Figura 5.6 - Fluxograma da produção de cloro

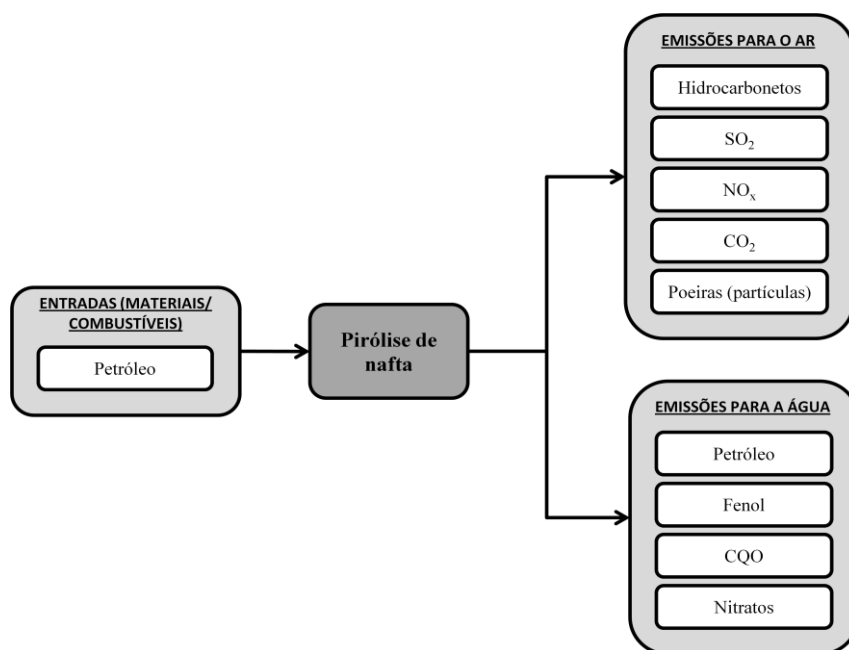


Figura 5.7 - Fluxograma da pirólise de nafta

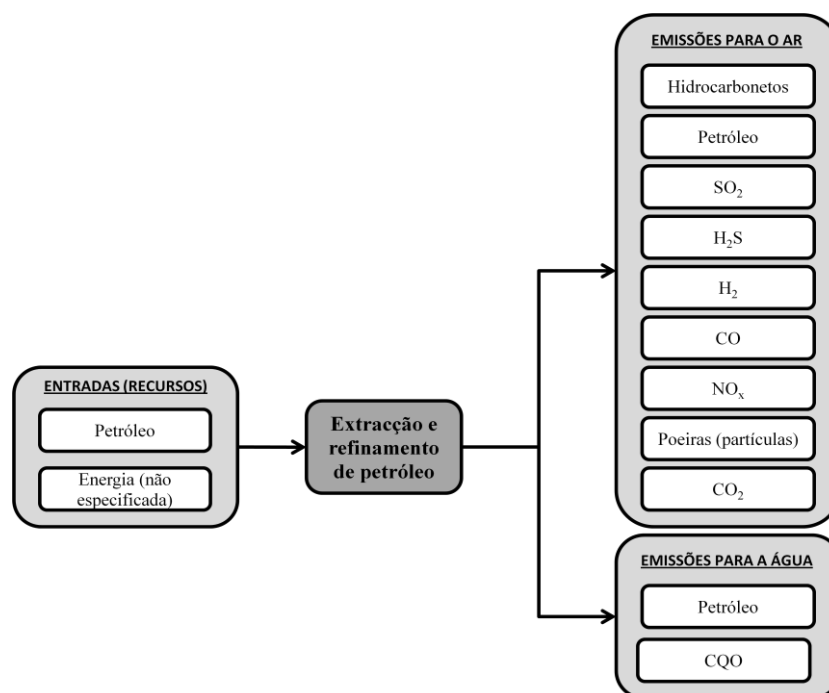


Figura 5.8 - Fluxograma da extração e refinamento de petróleo

5.2.1.2. Madeira de carvalho

O fluxograma do processo de produção de madeira de carvalho encontra-se representado na figura 5.9.

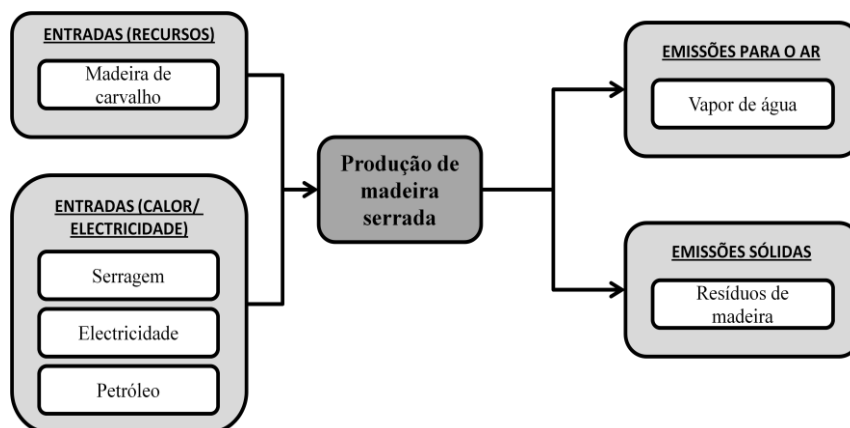


Figura 5.9 - Fluxograma da produção de madeira serrada

Este sistema engloba ainda os processos unitários de extração e refinamento de petróleo (já indicado na figura 5.8), de produção de electricidade (não representado pelos motivos atrás indicados) e de abate de árvores (figura 5.10).

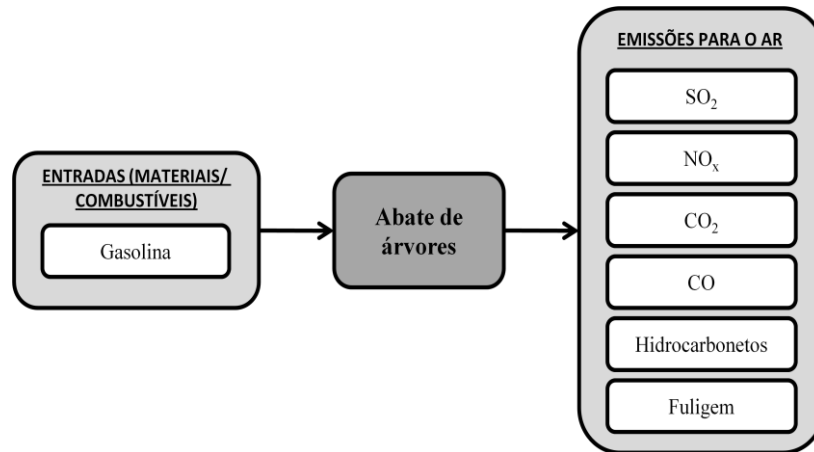


Figura 5.10 - Fluxograma do abate de árvore (serragem)

5.2.2.Recolha de dados

Os dados para a elaboração do ICV foram consultados nas bases de dados disponíveis no SimaPro 5.1, das quais se retiraram informações ambientalmente relevantes acerca das entradas (de energia, de matérias-primas, auxiliares e outras entradas físicas), dos produtos, co-produtos e resíduos, bem como das emissões para o ar, água, solo e outros aspectos ambientais.

5.2.3.Cálculo das cargas ambientais em relação à unidade funcional

Dada a complexidade e morosidade deste processo, os cálculos da fase de ICV foram efectuados recorrendo ao programa informático utilizado, que permite aceder directamente aos resultados.

5.2.4.Avaliação e apresentação dos resultados

Os resultados da fase de ICV encontram-se na tabela 5.1, a qual evidencia as entradas e saídas de ambos os sistemas de produto, bem como as quantidades totais consumidas/libertadas e respectivas unidades de referência.

Note-se que o inventário obtido é uma compilação das entradas e saídas de todos os processos unitários considerados neste estudo e não somente do processo unitário “produção de PVC” ou “produção de madeira de carvalho”.

Tabela 5.1 - Resultados do inventário (extraída do software SimaPro 5.1)

N.º	SUBSTÂNCIA	COMPARTIMENTO	UNIDADE	PVC	MADEIRA DE CARVALHO
1	bauxite	Matéria-prima	kg	1,70E-06	X
2	carvão	Matéria-prima	kg	1,44E-06	X
3	carvão ETH	Matéria-prima	kg	4,05E-02	1,93E-01
4	crude	Matéria-prima	kg	1,30E-01	6,74E-01
5	crude ETH	Matéria-prima	kg	2,21E-02	1,05E-01
6	crude IDEMAT	Matéria-prima	kg	4,37E-03	X
7	energia (não definida)	Matéria-prima	MJ	5,21E-01	X
8	ferro (minério)	Matéria-prima	kg	8,50E-07	X
9	lenhite ETH	Matéria-prima	kg	6,44E-04	3,06E-03
10	gás natural (vol)	Matéria-prima	m ³	2,76E-04	X
11	gás natural ETH	Matéria-prima	m ³	1,73E-03	8,25E-03
12	energia hidroelétrica	Matéria-prima	MJ	1,44E-01	6,85E-01
13	sal	Matéria-prima	kg	X	8,80E-01
14	energia não especificada	Matéria-prima	MJ	X	1,30E+00
15	urânio (minério)	Matéria-prima	kg	4,37E-08	2,08E-07
16	água	Matéria-prima	kg	2,34E-04	X
17	madeira	Matéria-prima	kg	3,92E-04	1,87E-03
18	madeira de carvalho	Matéria-prima	kg	2,54E+00	X
19	1,2-dicloroetano	Ar	kg	X	1,27E-03
20	aldeídos	Ar	kg	5,20E-06	X
21	amónia	Ar	kg	3,04E-06	2,11E-06
22	benzeno	Ar	kg	2,09E-07	9,93E-07
23	Cd	Ar	kg	4,98E-09	2,37E-08
24	CFC	Ar	kg	X	3,10E-05
25	Cl ₂	Ar	kg	X	1,37E-05
26	CO	Ar	kg	2,62E-03	5,44E-04
27	CO ₂	Ar	kg	1,89E-01	2,99E+00
28	crude	Ar	kg	X	7,74E-04
29	C _x H _y	Ar	kg	2,44E-03	5,30E-04
30	C _x H _y alifático	Ar	kg	X	2,28E-03
31	C _x H _y aromático	Ar	kg	1,34E-06	2,17E-05
32	C _x H _y choro	Ar	kg	1,14E-12	6,66E-04
33	poeiras	Ar	kg	1,43E-04	6,81E-04
34	poeiras (SPM)	Ar	kg	2,97E-05	8,43E-04
35	H ₂	Ar	kg	1,61E-08	1,43E-03
36	H ₂ S	Ar	kg	1,40E-08	6,50E-06
37	HALON-1301	Ar	kg	5,29E-09	2,52E-08
38	HCl	Ar	kg	2,05E-05	9,73E-05
39	HF	Ar	kg	2,17E-06	1,03E-05
40	Hg	Ar	kg	2,76E-09	1,31E-08
41	metais	Ar	kg	7,30E-06	3,48E-05
42	metano	Ar	kg	3,67E-04	1,75E-03
43	Mn	Ar	kg	1,97E-08	9,37E-08
44	N ₂ O	Ar	kg	8,16E-06	9,16E-06
45	Ni	Ar	kg	3,85E-07	1,83E-06
46	VOC não metânicos	Ar	kg	1,78E-04	8,46E-04
47	NO _x	Ar	kg	2,73E-04	1,91E-03
48	NO _x (NO ₂)	Ar	kg	3,20E-04	1,52E-03
49	PAH's	Ar	kg	2,46E-09	1,17E-08
50	Pb	Ar	kg	5,27E-08	2,51E-07
51	SO ₂	Ar	kg	5,09E-04	2,04E-03

N.º	SUBSTÂNCIA	COMPARTIMENTO	UNIDADE	PVC	MADEIRA DE CARVALHO
52	fuligem	Ar	kg	1,02E-05	X
53	SO _x (SO ₂)	Ar	kg	9,94E-04	4,73E-03
54	tetraclorometano	Ar	kg	X	1,72E-04
55	cloreto de vinilo	Ar	kg	X	6,71E-04
56	água	Ar	kg	7,10E-01	X
57	Zn	Ar	kg	5,27E-08	2,51E-07
58	Al	Água	kg	6,44E-05	3,06E-04
59	substâncias inorg. dissolvidas	Água	kg	6,42E-04	3,05E-03
60	AOX	Água	kg	3,83E-09	1,83E-08
61	As	Água	kg	1,31E-07	6,23E-07
62	Ba	Água	kg	7,93E-06	3,77E-05
63	BOD	Água	kg	8,79E-07	2,68E-07
64	Cd	Água	kg	4,51E-09	2,15E-08
65	Cl ⁻	Água	kg	9,93E-04	1,07E-01
66	COD	Água	kg	3,64E-06	5,01E-04
67	Cr	Água	kg	6,54E-07	3,11E-06
68	crude	Água	kg	2,12E-05	7,31E-06
69	Cu	Água	kg	3,25E-07	1,55E-06
70	C _x H _y	Água	kg	8,50E-08	X
71	C _x H _y aromático	Água	kg	9,42E-07	4,48E-06
72	C _x H _y cloro	Água	kg	9,84E-10	4,68E-09
73	cianeto	Água	kg	4,60E-09	2,19E-08
74	dicloroetano	Água	kg	X	3,12E-05
75	substâncias dissolvidas	Água	kg	1,65E-03	6,21E-05
76	DOC	Água	kg	4,63E-09	2,20E-08
77	Fe	Água	kg	2,00E-05	1,31E-04
78	H ₂	Água	kg	4,25E-09	X
79	Hg	Água	kg	1,05E-10	4,99E-10
80	Kjeldahl-N	Água	kg	1,09E-07	5,19E-07
81	iões metálicos	Água	kg	1,33E-05	7,22E-03
82	N-tot	Água	kg	1,09E-06	5,21E-06
83	Na	Água	kg	X	1,53E-02
84	NH ₃	Água	kg	4,25E-08	X
85	NH ₄ ⁺	Água	kg	1,18E-06	5,60E-06
86	Ni	Água	kg	3,28E-07	1,56E-06
87	nitrato	Água	kg	2,27E-06	1,61E-05
88	petróleo	Água	kg	2,93E-05	1,40E-04
89	PAH's	Água	kg	1,44E-08	6,86E-08
90	Pb	Água	kg	3,25E-07	1,55E-06
91	fenol	Água	kg	X	1,57E-07
92	fenóis	Água	kg	1,60E-07	7,60E-07
93	fosfato	Água	kg	3,87E-06	1,84E-05
94	sulfato	Água	kg	3,07E-04	1,46E-03
95	sulfatos	Água	kg	X	4,01E-03
96	sulfureto	Água	kg	3,40E-08	1,62E-07
97	substâncias suspensas	Água	kg	6,50E-05	3,06E-04
98	TOC	Água	kg	8,89E-06	4,23E-05
99	tolueno	Água	kg	1,31E-07	6,25E-07
100	emissões não especificadas	Água	kg	X	3,88E-05
101	Zn	Água	kg	6,58E-07	3,13E-06
102	água mineral	Sólido	kg	5,95E-07	X
103	resíduos não inertes	Sólido	kg	2,03E-04	1,94E-01
104	escórias	Sólido	kg	2,12E-07	X

N.º	SUBSTÂNCIA	COMPARTIMENTO	UNIDADE	PVC	MADEIRA DE CARVALHO
105	madeira (poeiras)	Sólido	kg	1,00E-01	X
106	conv. para área industrial	Não mat.	m ²	1,02E-08	X
107	ocupação de área industrial	Não mat.	m ²	2,37E-05	X
108	subst. radioactivas para o ar	Não mat.	Bq	3,80E+03	1,81E+04
109	subst. radioactivas para a água	Não mat.	Bq	3,56E+01	1,69E+02

5.3. AVALIAÇÃO DE IMPACTE DO CICLO DE VIDA (AICV)

Como já referido, a AICV foi efectuada recorrendo ao método de avaliação de impactes Eco-indicator 99, que relaciona as categorias de impacte a danos. Desta forma, a ponderação torna-se menos complexa, sendo possível agregar a informação do inventário em categorias de dano.

No entanto, há que ter em conta que à medida que as informações são agrupadas vai-se perdendo o grau de especificidade e de pormenor, pelo que se considerou importante a apresentação dos resultados obtidos em cada etapa da AICV.

5.3.1. Selecção de categorias de impacte, indicadores de categoria e modelos de caracterização

Estes parâmetros são intrínsecos ao método Eco-indicator 99, utilizado neste trabalho, pelo que não é necessário realizar esta selecção.

O referido método considera onze categorias de impacte: substâncias cancerígenas; substâncias orgânicas respirométricas; substâncias inorgânicas respirométricas; aquecimento global; radiação; depleção da camada do ozono; ecotoxicidade; acidificação/eutrofização; uso do solo; minerais; e combustíveis fósseis.

Estas categorias de impacte são posteriormente agrupadas em três categorias de dano: saúde humana, recursos e qualidade do ecossistema.

5.3.2. Classificação

Na fase de classificação os resultados do ICV são combinados com as categorias de impacte seleccionadas anteriormente. Este passo é efectuado automaticamente pelo software SimaPro 5.1.

5.3.3. Caracterização

Os resultados desta fase da AICV são obtidos directamente a partir do programa informático utilizado, de acordo com o método seleccionado (ver factores de caracterização

correspondentes nos anexos I e II). Como neste estudo foi utilizado o método Eco-invent 99, os resultados da caracterização são apresentados em relação às onze categorias de impacto anteriormente mencionadas (tabela 5.2) e em relação às três categorias de dano (tabela 5.3).

Tabela 5.2 - Resultados da fase de caracterização por categoria de impacto

CATEGORIA DE IMPACTE	UNIDADE ⁽¹⁾	PRODUÇÃO DE PVC	PRODUÇÃO DE MADEIRA
Substâncias cancerígenas	DALY	$6,52 \times 10^{-7}$	$3,46 \times 10^{-8}$
Substâncias orgânicas respirométricas	DALY	$2,06 \times 10^{-9}$	$3,36 \times 10^{-9}$
Substâncias inorgânicas respirométricas	DALY	$8,44 \times 10^{-7}$	$1,56 \times 10^{-7}$
Aquecimento global	DALY	$5,92 \times 10^{-7}$	$4,19 \times 10^{-8}$
Radiação	DALY	X	X
Depleção da camada do ozono	DALY	$2,17 \times 10^{-7}$	$6,66 \times 10^{-11}$
Ecotoxicidade	PAF.m ² .ano	$2,68 \times 10^{-1}$	$5,10 \times 10^{-2}$
Acidificação/ Eutrofização	PDF.m ² .ano	$2,67 \times 10^{-2}$	$5,00 \times 10^{-2}$
Uso do solo	PDF.m ² .ano	X	$2,01 \times 10^{-5}$
Minerais	MJ	X	$8,75 \times 10^{-7}$
Combustíveis fósseis	MJ	2,93	$5,93 \times 10^{-1}$

⁽¹⁾ DALY - Disability Adjusted Life Years; PAF - Potentially Affected Fraction; PDF - Potentially Disappeared Fraction; MJ – Mega Joule

Tabela 5.3 - Resultados da fase de caracterização por categoria de dano

CATEGORIA DE DANO	UNIDADE ⁽¹⁾	PRODUÇÃO DE PVC	PRODUÇÃO DE MADEIRA
Saúde humana	DALY	$2,31 \times 10^{-6}$	$2,36 \times 10^{-7}$
Qualidade dos ecossistemas	PDF.m ² .ano	$5,35 \times 10^{-2}$	$1,01 \times 10^{-2}$
Recursos	MJ	2,93	$5,93 \times 10^{-1}$

⁽¹⁾ DALY - Disability Adjusted Life Years; PAF - Potentially Affected Fraction; PDF - Potentially Disappeared Fraction; MJ – Mega Joule

Para uma melhor percepção dos resultados obtidos, estes podem ser visualizados sob a forma gráfica nas figuras 5.11 e 5.12.

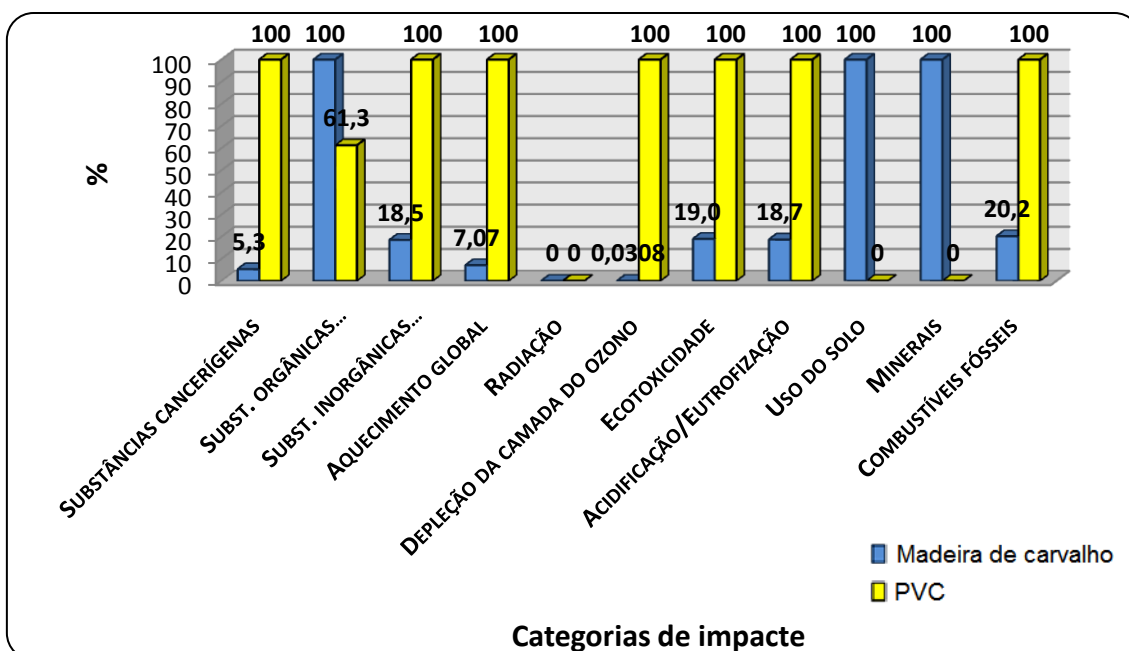


Figura 5.11 - Representação gráfica dos resultados obtidos na fase de caracterização por categoria de impacte

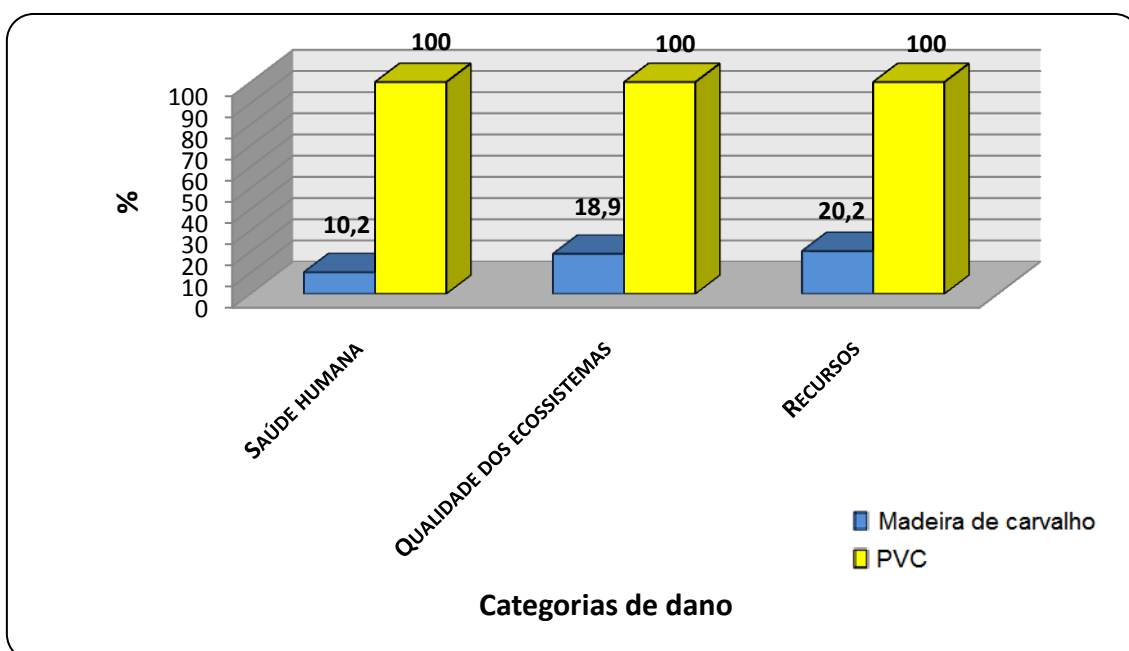


Figura 5.12 - Representação gráfica dos resultados obtidos na fase de caracterização por categoria de dano

5.3.4. Normalização

À semelhança dos anteriores, os resultados da normalização são calculados automaticamente pelo software, que promove a divisão do resultado não normalizado pelo respectivo factor de normalização (ver factores utilizados no anexo III).

Estes são apresentados para cada categoria de impacte e para as diferentes categorias de dano sob a forma de tabela (tabelas 5.4 e 5.5) e de gráfico (figuras 5.13 e 5.14):

Tabela 5.4 - Resultados da fase de normalização por categoria de impacte

CATEGORIA DE IMPACTE	PRODUÇÃO DE PVC	PRODUÇÃO DE MADEIRA
Substâncias cancerígenas	$4,22 \times 10^{-5}$	$2,24 \times 10^{-6}$
Substâncias orgânicas respirométricas	$1,33 \times 10^{-7}$	$2,18 \times 10^{-7}$
Substâncias inorgânicas respirométricas	$5,46 \times 10^{-5}$	$1,01 \times 10^{-5}$
Aquecimento global	$3,83 \times 10^{-5}$	$2,71 \times 10^{-6}$
Radiação	X	X
Depleção da camada do ozono	$1,40 \times 10^{-5}$	$4,31 \times 10^{-9}$
Ecotoxicidade	$5,23 \times 10^{-6}$	$9,94 \times 10^{-7}$
Acidificação/ Eutrofização	$5,21 \times 10^{-6}$	$9,75 \times 10^{-7}$
Uso do solo	X	$3,93 \times 10^{-9}$
Minerais	X	$1,47 \times 10^{-10}$
Combustíveis fósseis	$4,93 \times 10^{-4}$	$9,96 \times 10^{-5}$

Tabela 5.5- Resultados da fase de normalização por categoria de dano

CATEGORIA DE DANO	PRODUÇÃO DE PVC	PRODUÇÃO DE MADEIRA
Saúde humana	$1,49 \times 10^{-4}$	$1,53 \times 10^{-5}$
Qualidade dos ecossistemas	$1,04 \times 10^{-5}$	$1,97 \times 10^{-6}$
Recursos	$4,93 \times 10^{-4}$	$9,96 \times 10^{-5}$

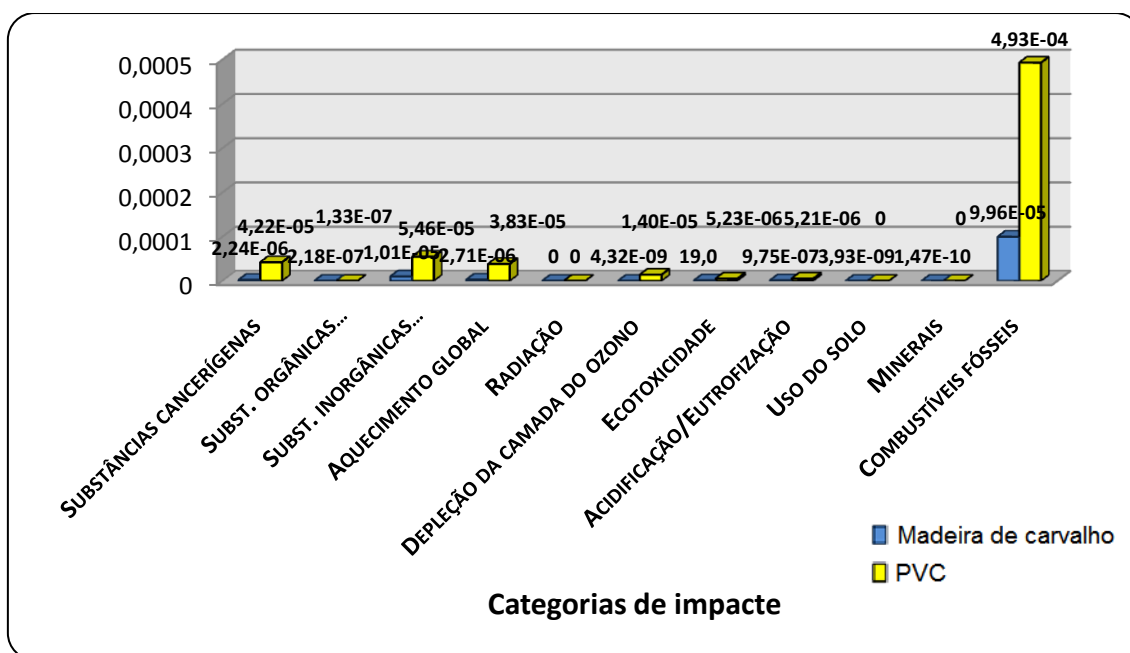


Figura 5.13 - Representação gráfica dos resultados obtidos na fase de normalização por categoria de impacte

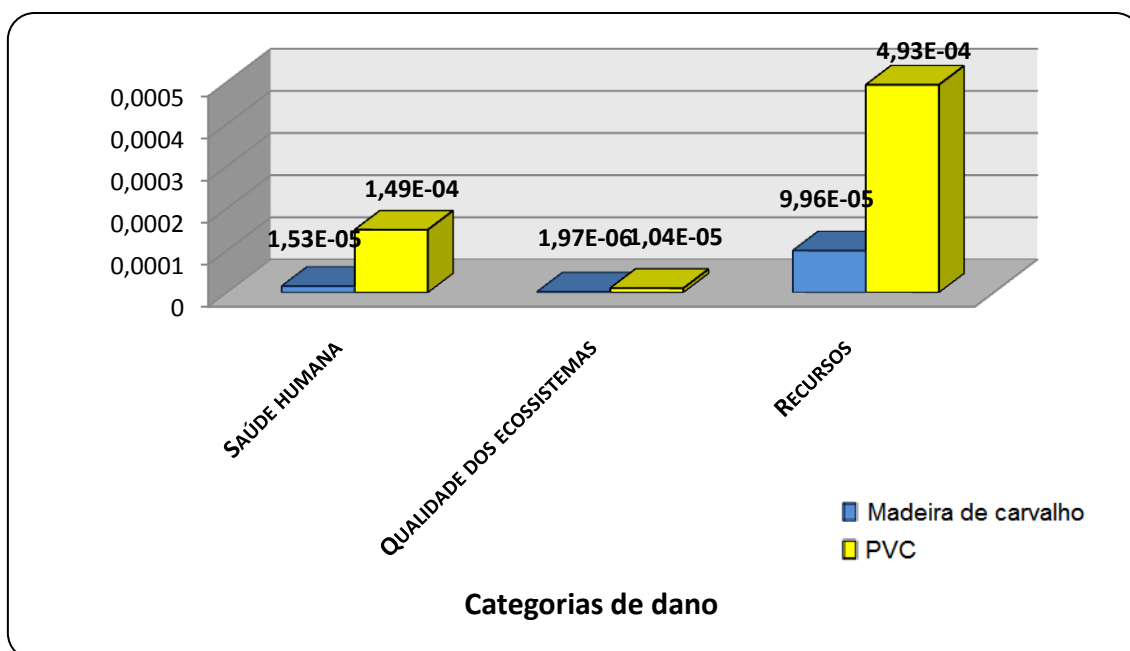


Figura 5.14 - Representação gráfica dos resultados obtidos na fase de normalização por categoria de dano

5.3.5. Ponderação

Apesar de ser uma etapa facultativa da AICV, ponderação foi efectuada atribuindo pesos às diferentes categorias de impacte/dano (ver factores de ponderação no anexo III) e multiplicando os resultados normalizados da AICV por esse valor. Estes resultados foram igualmente obtidos através do programa informático utilizado e encontram-se representados nas tabelas 5.6 e 5.7 (por categoria de impacte e por categoria de dano), bem como nas figuras 5.15 e 5.16, expressos na unidade relativa à pontuação atribuída (Pt).

Tabela 5.6 - Resultados da fase de ponderação por categoria de impacte

CATEGORIA DE IMPACTE	UNIDADE	PRODUÇÃO DE PVC	PRODUÇÃO DE MADEIRA
Substâncias cancerígenas	Pt	$1,27 \times 10^{-2}$	$6,71 \times 10^{-4}$
Substâncias orgânicas respirométricas	Pt	$4,00 \times 10^{-5}$	$6,53 \times 10^{-5}$
Substâncias inorgânicas respirométricas	Pt	$1,64 \times 10^{-2}$	$3,03 \times 10^{-3}$
Aquecimento global	Pt	$1,15 \times 10^{-2}$	$8,12 \times 10^{-4}$
Radiação	Pt	X	X
Depleção da camada do ozono	Pt	$4,20 \times 10^{-3}$	$1,29 \times 10^{-6}$
Ecotoxicidade	Pt	$2,62 \times 10^{-3}$	$4,97 \times 10^{-4}$
Acidificação/ Eutrofização	Pt	$2,61 \times 10^{-3}$	$4,88 \times 10^{-4}$
Uso do solo	Pt	X	$1,96 \times 10^{-6}$
Minerais	Pt	X	$2,94 \times 10^{-8}$
Combustíveis fósseis	Pt	$9,86 \times 10^{-2}$	$1,99 \times 10^{-2}$
TOTAL	Pt	$1,49 \times 10^{-1}$	$2,55 \times 10^{-2}$

Tabela 5.7 - Resultados da fase de ponderação por categoria de dano

CATEGORIA DE DANO	UNIDADE	PRODUÇÃO DE PVC	PRODUÇÃO DE MADEIRA
Saúde humana	Pt	$1,49 \times 10^{-1}$	$4,58 \times 10^{-3}$
Qualidade dos ecossistemas	Pt	$4,48 \times 10^{-2}$	$9,87 \times 10^{-4}$
Recursos	Pt	$5,22 \times 10^{-3}$	$1,99 \times 10^{-2}$
TOTAL	Pt	$1,49 \times 10^{-1}$	$2,55 \times 10^{-2}$

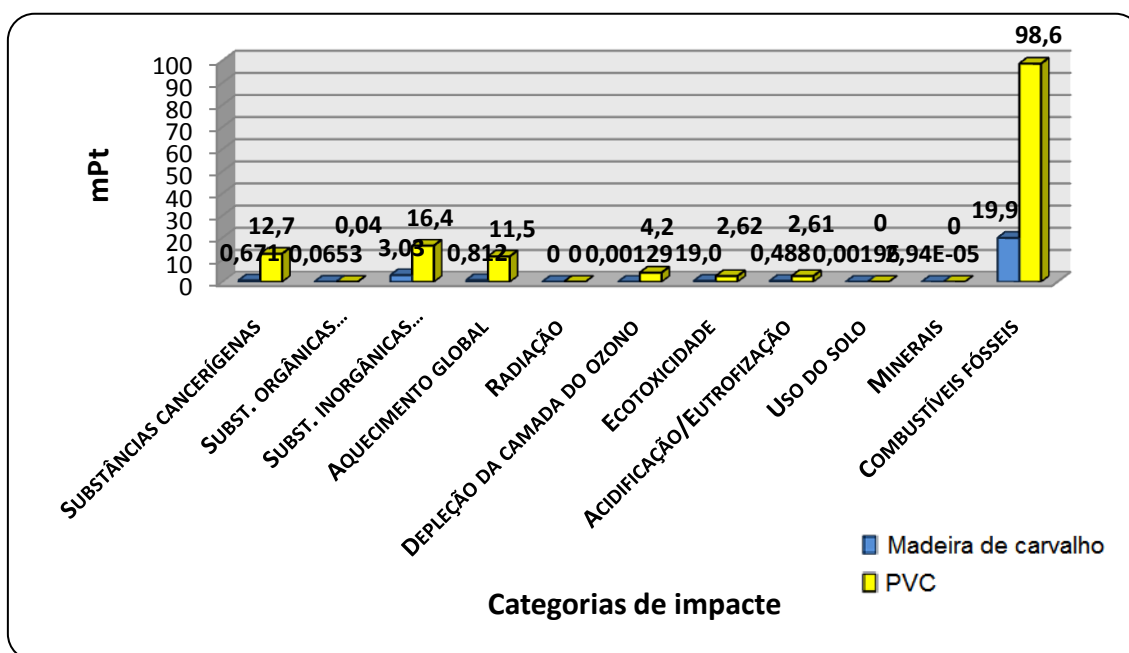


Figura 5.15 - Representação gráfica dos resultados obtidos na fase de ponderação por categoria de impacto

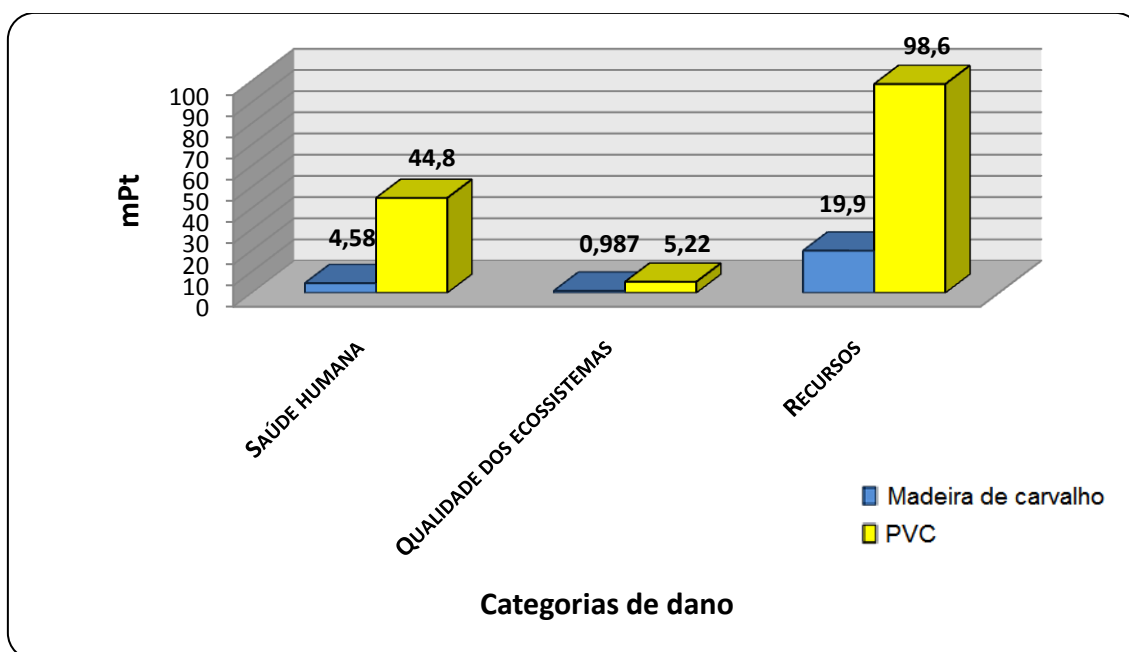


Figura 5.16 - Representação gráfica dos resultados obtidos na fase de ponderação por categoria de dano

A representação gráfica dos resultados da ponderação pode ainda ser efectuada recorrendo a pontuação única (figuras 5.17 e 5.18).

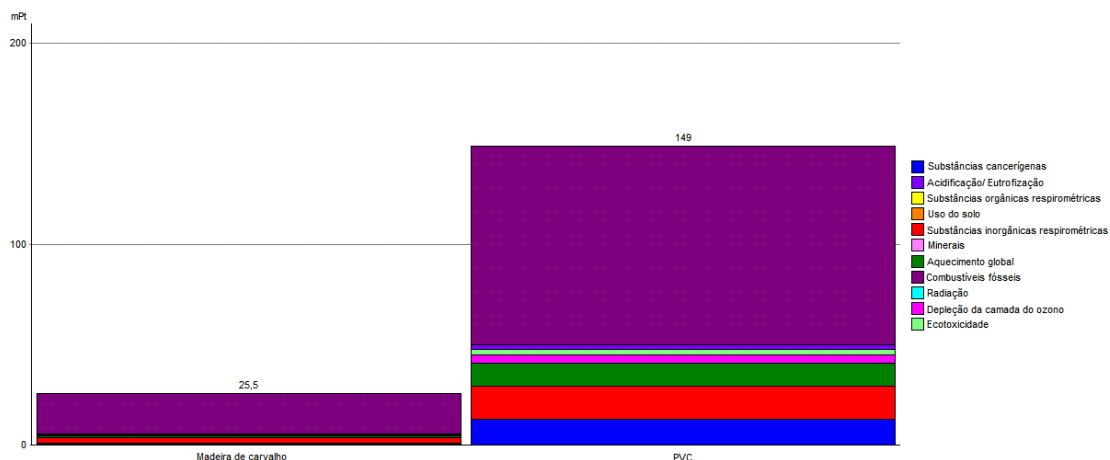


Figura 5.17 - Representação gráfica dos resultados obtidos na fase de ponderação por categoria de impacto - Pontuação única

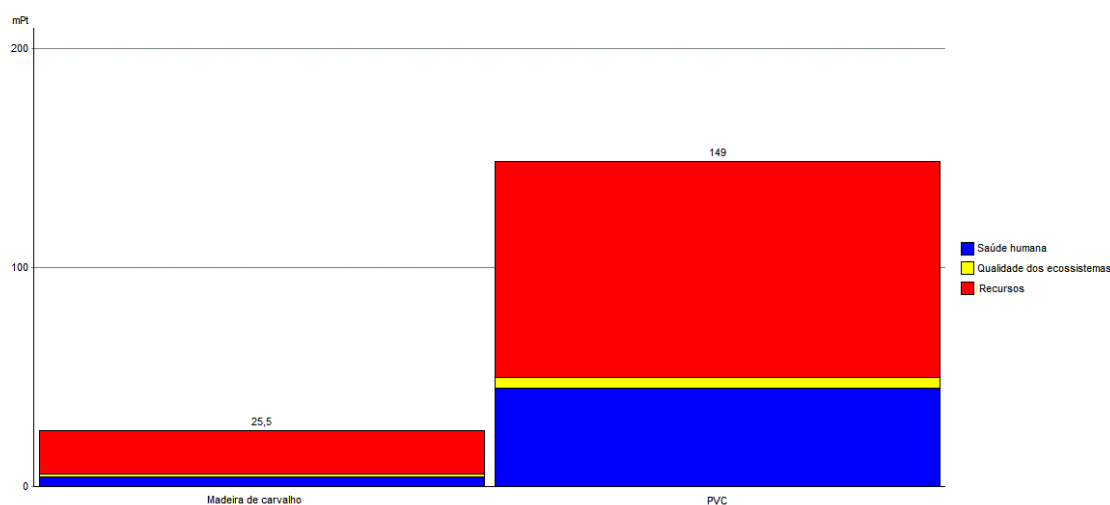


Figura 5.18 - Representação gráfica dos resultados obtidos na fase de ponderação por categoria de dano - Pontuação única

5.3.6.Redes e contribuições relativas

O software SimaPro 5.1 inclui uma funcionalidade que permite visualizar a rede do sistema de produto, revelando a contribuição de cada processo unitário para o impacto total do produto através da espessura das setas que ligam os processos. Por outras palavras, quanto maior a espessura da seta, maior é a contribuição do processo unitário para o impacto ambiental total. As percentagens de contribuição relativa de cada processo unitário encontram-se no canto inferior esquerdo de cada rectângulo apresentado na rede.

As figuras 5.19 e 5.20 evidenciam as redes correspondentes ao PVC e à madeira de carvalho, respectivamente.

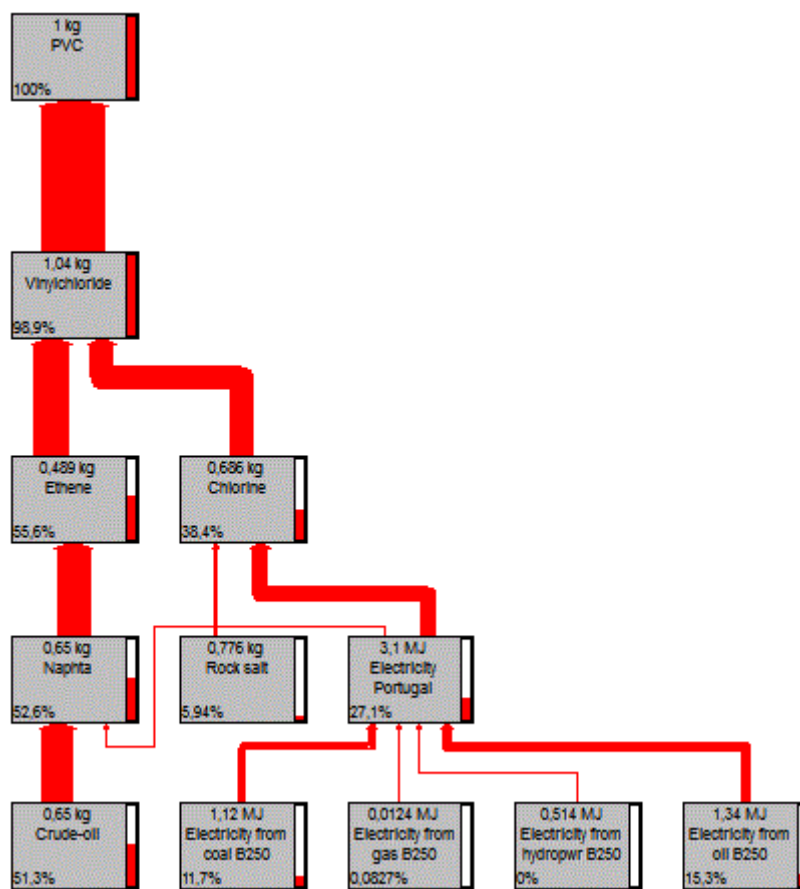


Figura 5.19 - Rede do PVC (extraída do software SimaPro 5.1)

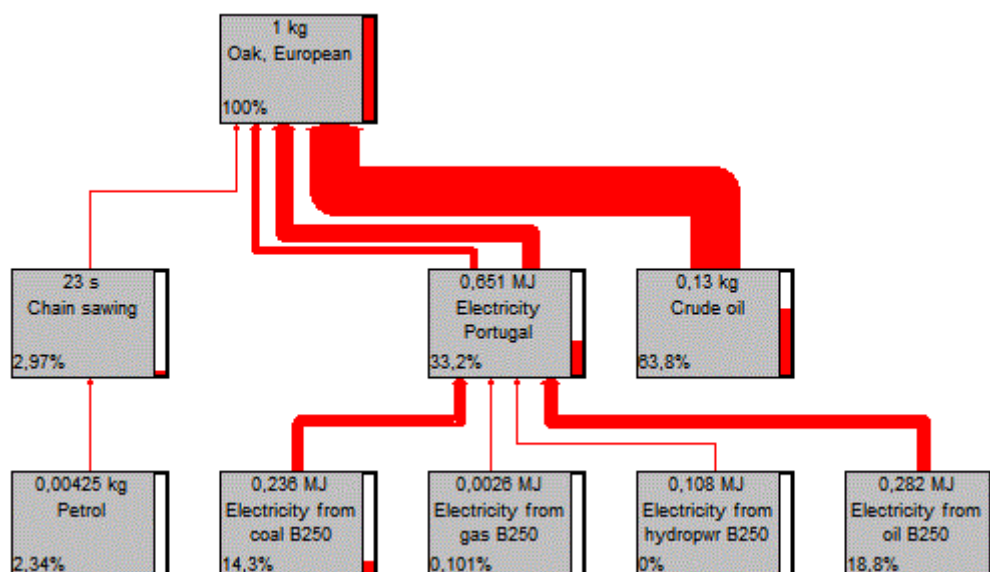


Figura 5.20 - Rede da madeira de carvalho(extraída do software SimaPro 5.1)

As contribuições relativas de cada processo unitário para o impacto total podem ser observadas através de gráficos circulares para cada sistema de produto, obtidos através do software utilizado (figuras 5.21 e 5.22).

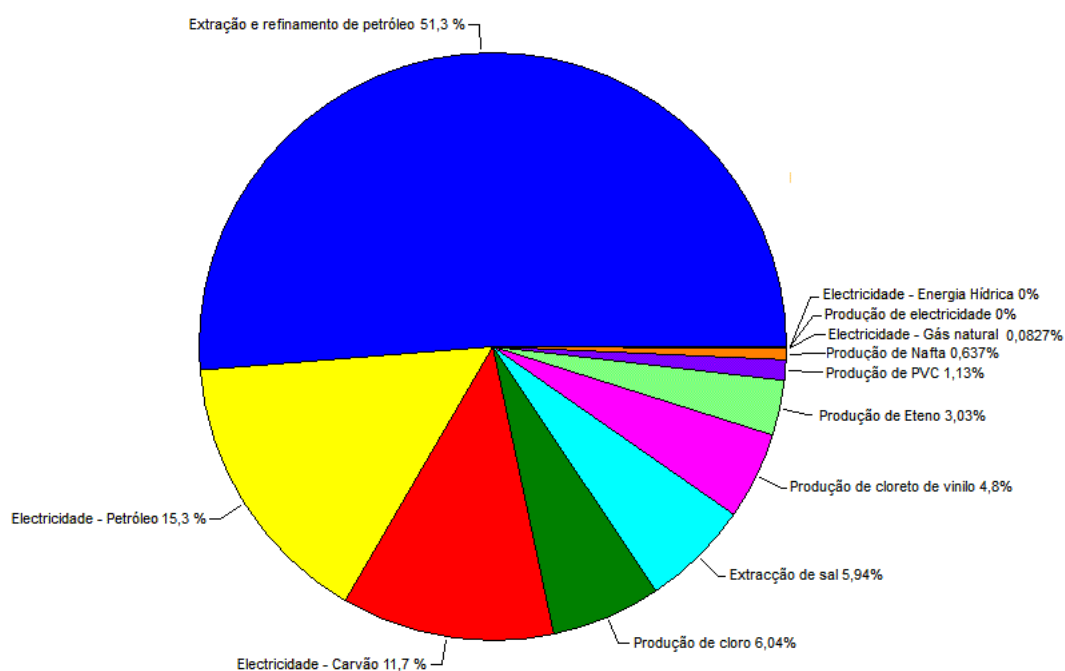


Figura 5.21 - Representação gráfica da contribuição relativa dos processos unitários considerados no estudo do PVC

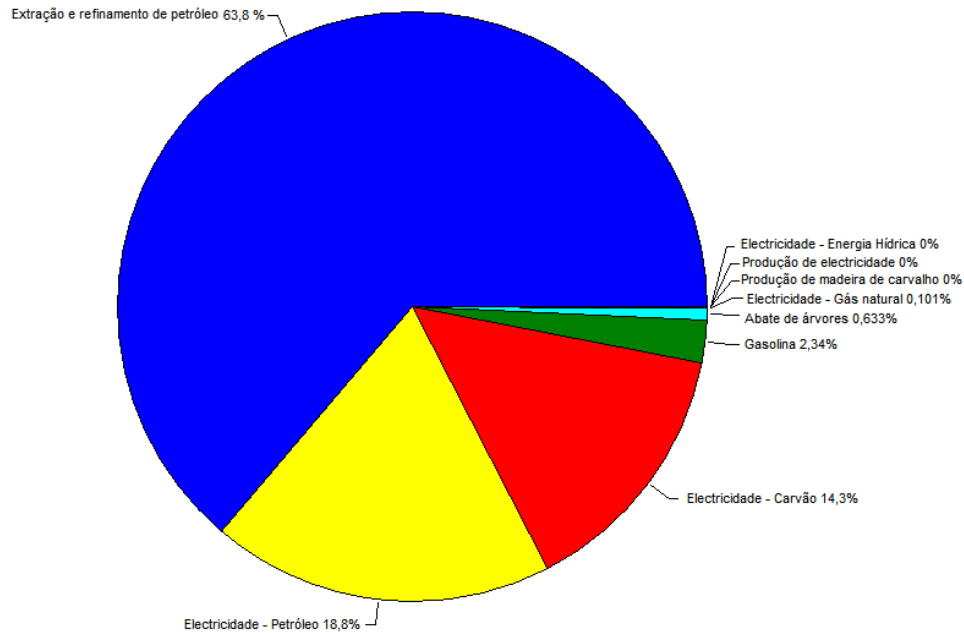


Figura 5.22 - Representação gráfica da contribuição relativa dos processos unitários considerados no estudo da madeira de carvalho

5.4. INTERPRETAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Logo à partida, os resultados obtidos na fase de caracterização da AICV permitem verificar que o PVC apresenta valores de impacto substancialmente superiores aos da madeira de carvalho para sete das categorias avaliadas (figura 5.11). Este facto traduz-se num domínio do PVC em todas as categorias de dano (figura 5.12).

Após a fase de normalização, torna-se possível avaliar quais as categorias com maior e menor expressão. Assim, os combustíveis fósseis são a categoria de impacto com maior evidência em ambos os produtos, atingindo valores superiores no caso do PVC (figura 5.13). Por outro lado, nenhum dos produtos tem qualquer implicação a nível da radiação, apresentando pontuações nulas nessa categoria. Note-se ainda que o PVC não tem qualquer impacto ao nível do uso do solo e dos minerais, ao contrário da madeira de carvalho que apresenta uma ligeira contribuição nessas categorias. A representação dos resultados da normalização para as diferentes categorias de dano permite verificar que os recursos são a categoria de dano mais preocupante em ambos os casos (figura 5.14), como consequência espectável do domínio da categoria de impacto de combustíveis fósseis. A mesma representação gráfica revela ainda que o PVC tem um impacto significativo na saúde humana.

No entanto, a avaliação e comparação dos resultados torna-se mais simples e clara quando são atribuídas pontuações, isto é, após a fase de ponderação.

Os resultados obtidos nesta fase da AICV permitem aferir que a categoria de impacto dominante, em ambos os produtos, é a dos combustíveis fósseis. Tal seria expectável, uma vez que a extracção e refinamento de petróleo é o processo unitário com maior contribuição para o impacto total dos mesmos (51,3% no caso do PVC e 63,8% no caso da madeira de carvalho) (figuras 5.21 e 5.22).

O PVC revela ainda pontuações significativas nas categorias de substâncias inorgânicas respirométricas (devida particularmente à produção de electricidade a partir do petróleo e do carvão e à extracção de sal), substâncias cancerígenas (associada essencialmente à produção de cloro e de cloreto de vinilo) e aquecimento global (relacionada de forma mais significativa com a extracção de sal, produção de cloreto de vinilo e de eteno) (figuras 5.15 e 5.17).

Por sua vez, ao contrário do PVC, a madeira de carvalho apresenta uma contribuição para as categorias de uso do solo e minerais, uma vez que implica o consumo de gasolina no abate das árvores. Mais significativa é a pontuação que apresenta na categoria de substâncias inorgânicas respirométricas, essencialmente como consequência dos processos de produção de electricidade a partir do petróleo e do carvão e da extracção e refinamento do petróleo (figuras 5.15 e 5.17).

No que respeita às categorias de dano, o PVC exprime uma maior pontuação para todas elas, comparativamente com a madeira de carvalho (figuras 5.16 e 5.18). Os recursos são a categoria com maior expressão para ambos os produtos, face ao consumo de petróleo que os seus processos de produção implicam (figuras 5.16 e 5.18).

O processo de produção do PVC implica a produção de diferentes químicos, como o cloro, o cloreto de vinilo e o eteno, que, aliados à produção de electricidade a partir do carvão e do petróleo, fazem com que o PVC apresente um impacto significativo na saúde humana (figuras 5.16 e 5.18). No caso da madeira de carvalho, esta categoria de dano apresenta uma pontuação menos expressiva.

A qualidade dos ecossistemas fica particularmente afectada devido à produção de electricidade e à extracção e refinamento de petróleo, não apresentando, no entanto, uma pontuação muito relevante para nenhum dos produtos.

As tabelas 5.6 e 5.7 revelam o valor total do impacto de cada produto, sendo este de 0,149 Pt para o PVC e de 0,0255 Pt para a madeira de carvalho. Assim, de acordo com o definido na primeira fase da ACV, conclui-se que sob o ponto de vista ambiental, dentro das fronteiras estudadas e das considerações efectuadas, poderia ser considerada a substituição de um pavimento à base de PVC por um outro à base de madeira de carvalho, uma vez que, nas condições definidas, o PVC tem um maior impacto ambiental do que a madeira de carvalho.

No entanto, é importante lembrar que não foram consideradas todas as fases do ciclo de vida destes produtos. Um estudo mais alargado poderá conduzir a conclusões diferentes. Note-se também que os materiais de revestimento que integram o PVC ou a madeira de carvalho, possuem outros materiais na sua constituição, que não foram estudados e que poderão influenciar igualmente as conclusões retiradas. Em estudos posteriores, estes factores deveriam ser tidos em consideração, a fim de aumentar o grau de rigor do estudo e o grau de confiança nas conclusões tiradas.

Uma outra limitação deste estudo prende-se com o facto de não ter sido efectuada qualquer avaliação da qualidade dos dados, face ao prazo de entrega do trabalho, que aumentaria a confiança nos resultados obtidos. Porém, considera-se essencial a elaboração de uma análise de sensibilidade, de gravidade e/ou de incerteza, pelo que se recomenda a sua execução em trabalhos futuros.

Para estes trabalhos, recomenda-se igualmente o uso de outros métodos de avaliação de impactes, para além do Eco-indicator 99, e posterior comparação entre as conclusões retiradas face aos resultados obtidos por cada um dos métodos utilizado.

Sugere-se ainda o estudo da viabilidade económica e social dos materiais estudados, com o objectivo de verificar a sustentabilidade dos mesmos com base nos três pilares deste conceito, e não exclusivamente no seu desempenho ambiental como foi efectuada no presente estudo.

6. SUGESTÕES PARA A CRIAÇÃO DE UMA FERRAMENTA EXPEDITA PARA ESCOLHA DE MATERIAIS

A escolha de materiais e, muitas vezes, a alteração dos materiais previstos por alternativos são processos intrínsecos à gestão de obra na indústria da construção civil. Estes obrigam a uma celeridade que não possibilita às equipas de obra uma adequada análise dos critérios ambientais para efectuar esta opção. Como tal, urge a criação de um método expedito para a selecção de materiais de construção sustentáveis.

O presente trabalho permitiu verificar o elevado grau de complexidade e morosidade dos estudos de ACV. No entanto, permitiu também aferir que esta ferramenta é a mais indicada para a avaliação do desempenho ambiental dos produtos, embora não considere factores económicos e sociais, essenciais para avaliar o desempenho sustentável dos mesmos.

Pesando as vantagens e limitações desta metodologia, torna-se claro que esta seria uma boa opção (senão a ideal) para auxiliar a escolha dos materiais em obra e, simultaneamente, que para aumentar a sua aplicabilidade neste campo, seriam necessários certos ajustes, a fim de a tornar mais expedita. Assim, o ideal seria criar uma ferramenta que assentasse nos ideais da ACV, mas cujo processo fosse menos moroso, ainda que tal implicasse uma ligeira redução no rigor dos resultados obtidos.

É importante salientar que para seleccionar materiais com base no seu desempenho sustentável é necessário avaliar não só factores ambientais, mas também económicos e sociais.

De seguida é apresentada uma proposta, na qual se enumeram alguns fundamentos que se crêem ser a base para a criação desta eventual ferramenta.

6.1. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL

Considera-se que a avaliação do desempenho ambiental deverá assentar, conforme mencionado anteriormente, na avaliação do ciclo de vida, porém não seguindo esta metodologia minuciosamente, a fim de aumentar a sua praticabilidade.

O ponto de partida para o estudo do desempenho ambiental de produtos é a recolha de informação fiável acerca dos mesmos, que posteriormente permita optar conscientemente por um produto em detrimento de outro. Desta forma, a criação de uma base de dados com informações ambientalmente relevantes sobre os diferentes produtos deveria ser estabelecida como prioridade no processo de criação da ferramenta.

Para que a informação existente nesta base de dados seja comparável seria necessário, em primeiro lugar, catalogar os materiais por função, criando diferentes categorias, e definir a mesma unidade funcional e fluxo de referência para cada categoria. Este passo tornaria possível a comparação imediata entre materiais com a mesma função.

Neste momento, a dúvida que se levanta inevitavelmente é a seguinte: que informação deverá conter essa base de dados? Esta deve ser estabelecida com alguma prudência, pois um excesso de informação pode ter como consequência a criação de uma base de dados demasiado complexa. Para além disso, importa otimizar o tempo dispensado na recolha de dados.

Numa fase inicial, é importante registar o nome dos produtos e uma descrição sumária dos mesmos (nomeadamente assinalando se possuem alguma certificação ambiental e, em caso afirmativo, descriminá-la). Para além deste registo de informação genérica, seguindo os princípios da ACV, a base de dados deverá conter dados acerca das etapas do ciclo de vida: extracção de matérias-primas, produção e fabrico, utilização, tratamento no fim-de-vida e destino final. Desta forma, considera-se fundamental a recolha da seguinte informação para estas etapas:

- As matérias-primas de que necessita;
- O consumo de energia, de combustíveis e de recursos (nomeadamente água) que exige;
- Eventuais co-produtos potencialmente perigosos para o ambiente que o seu processo de produção gere;
- As emissões atmosféricas que liberta;
- As descargas para a água e solo;
- Os resíduos sólidos que origina.

Deve ser feito não só o registo das substâncias, mas também da sua quantidade consumida/libertada. Estas informações devem ser recolhidas junto dos fornecedores e responsáveis por cada uma das etapas do ciclo de vida, para que o nível de confiança nos resultados seja elevado. Caso tal não seja possível, poderá recorrer-se a dados genéricos (desde que as fontes sejam fiáveis), nomeadamente dados estatísticos, estimados e modelados, dados já publicados na literatura ou em bases de dados, entre outros, preferencialmente nacionais.

Poderão eventualmente ser definidas fronteiras que não englobem todas as fases do ciclo de vida, embora seja importante evitar tal passo para conseguir alcançar resultados mais fidedignos.

Face ao possível levantamento de toda esta informação para os materiais a aplicar em obra parece evidente que este é um processo pouco viável, quando o objectivo é criar uma ferramenta prática e célere. Por este motivo, mostra-se necessário definir um critério para determinar quais as entradas e saídas dos processos que devem ser consideradas.

Uma opção que se poderá mostrar viável é a utilização dos factores de caracterização da ACV como critério selectivo. Estes factores, presentes na literatura, são utilizados na fase de caracterização da AICV e encontram-se definidos para cada substância consumida/emitada e para cada categoria de impacte. Quanto maior for este factor, maior é a contribuição da substância para a categoria de impacte para a qual foi definida. Ao excluir do estudo as substâncias com um factor de caracterização inferior a um dado limite pré-estabelecido, estar-se-ia a analisar as substâncias com um maior potencial de impacte ambiental e a reduzir o universo de compostos a examinar e, consequentemente, a morosidade do processo de avaliação.

Após a criação desta base de dados, o processo de elaboração do inventário para diferentes produtos seria praticamente imediato, dada a disponibilidade dos dados para consulta nesta base.

Após a fase do ICV, é imprescindível a elaboração da AICV. Para tal, julga-se que optar por um método de avaliação de impactes seria o mais indicado. Neste trabalho, recomenda-se a utilização do Eco-indicator 99, pois estuda onze categorias de impacte, agrupadas posteriormente em três categorias de dano (saúde humana, qualidade dos ecossistemas e recursos), que se consideram relevantes para estudar o desempenho ambiental de materiais utilizados na indústria da construção civil.

Apesar de implicar um ligeiro aumento no dispêndio de tempo no processo, recomenda-se que a AICV inclua as fases de normalização e ponderação, para que os resultados sejam obtidos sob a forma de pontuação, a fim de facilitar o estudo do desempenho sustentável dos produtos, como será explicado posteriormente neste capítulo.

Desta forma, seria possível avaliar e comparar o desempenho ambiental de diferentes produtos, de uma forma menos exaustiva se comparada com um estudo típico de ACV. No entanto, o desempenho sustentável do produto depende ainda de factores económicos e sociais, que devem ser igualmente considerados e estudados na ferramenta a criar.

6.2. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ECONÓMICO

À semelhança do efectuado para o desempenho ambiental, julga-se apropriado estudar o desempenho económico com base na análise do Custo do Ciclo de Vida (life cycle cost). A aplicação desta ferramenta revela-se consideravelmente menos complexa comparativamente com a da ACV.

Por definição o CCV é o custo total de um produto ou sistema para o consumidor, incluindo o custo inicial de aquisição, os custos de operação, de manutenção (preventiva e correctiva) e reparação, de paragem e de suporte, durante a vida do produto (Leocádio, 2004).

Este método permite a comparação entre os custos de diferentes alternativas. Tal como a ACV, este processo implica uma recolha de dados inicial (embora exija um menor volume de informação), que permitem identificar, de forma isenta, o produto com menor custo global.

Como o objectivo é criar uma ferramenta prática para a escolha de materiais, considera-se importante efectuar eventuais ajustes na metodologia a aplicar, não seguindo escrupulosamente a do CCV, tal como efectuado para a ACV. No entanto, a fim de efectuar estes ajustes, crê-se ser imprescindível um mais profundo conhecimento acerca desta ferramenta, que permita deduzir quais as etapas desta metodologia que poderão ser simplificadas e quais as essenciais, para garantir a obtenção de resultados fiáveis.

6.3. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO SOCIAL

O desempenho social do produto é um factor essencial para avaliar a sustentabilidade do mesmo. À semelhança do efectuado para a análise económica e ambiental, considera-se importante avaliar o desempenho social para as diferentes etapas do ciclo de vida do produto, uma vez que, por exemplo, a aplicação de um produto cujo desempenho social é favorável na fase de uso, mas desfavorável na fase de produção não é sustentável.

Considera-se que a avaliação do desempenho social deve ser efectuada ao nível das empresas pelas quais o produto passa ao longo do seu ciclo de vida. Actualmente, esta avaliação é efectuada por algumas empresas, que publicam esta informação no seu relatório de sustentabilidade sob a forma de indicadores de desempenho social.

Assim sendo, julga-se possível definir uma lista única de indicadores de desempenho social para as diferentes empresas envolvidas no ciclo de vida dos produtos (supondo a sua colaboração para ceder estes dados), sendo importante obter os resultados sob a forma de pontuação (note-se que a escala usada deve ser idêntica para todas as empresas). Esta importância prende-se com o facto de a pontuação facilitar a agregação dos resultados das

empresas, o que permite alcançar um resultado único para cada produto, bem como a comparação entre os resultados dos diferentes produtos.

Esta lista não deverá ser muito extensa para não comprometer a praticabilidade da avaliação, porém deve conter indicadores variados, nomeadamente: segurança no trabalho; grau de satisfação dos trabalhadores; grau de satisfação da população local; entre outros considerados relevantes.

6.4. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO SUSTENTÁVEL

Deverá ainda ser considerada a hipótese de obter um resultado global para cada produto, a fim de facilitar a sua comparação. Este resultado poderia ser alcançado recorrendo a uma análise de multi-critério. De uma forma geral, esta análise permitiria colocar as diferentes categorias de desempenho sustentável (ambiental, económico e social) numa escala comum, através da atribuição de pesos a estas categorias para o desempenho global (pesos a definir mediante a importância relativa que se considere que cada categoria deve possuir). Desta forma as três pontuações combinar-se-iam, obtendo-se um resultado único: o indicador de desempenho sustentável.

A figura 6.1 esquematiza o processo de obtenção deste resultado final.

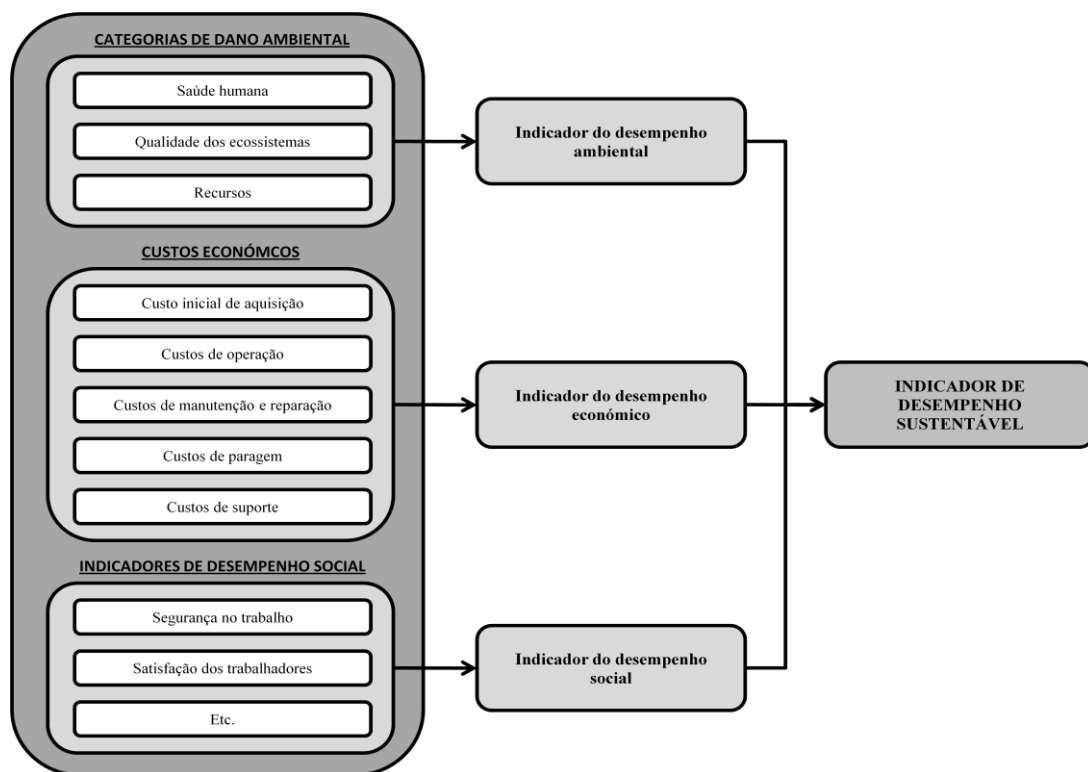


Figura 6.1 - Esquematização do processo de obtenção do indicador de desempenho sustentável de um produto

A interpretação dos resultados obtidos pela ferramenta a desenvolver deverá ser efectuada pelos responsáveis pela selecção dos materiais, através da análise crítica dos mesmos.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Cada vez se torna mais importante caminhar para a sustentabilidade no sector da construção civil. Uma das formas de a alcançar é optar por materiais mais sustentáveis, isto é, com melhor desempenho ambiental, económico e social.

A ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida aparenta ser actualmente a mais indicada para avaliar o desempenho ambiental de produtos, pois permite avaliar todo o seu ciclo de vida, desde a extracção das matérias-primas até ao destino final.

A título exemplificativo, o presente trabalho incidiu na aplicação desta ferramenta (recorrendo ao programa informático SimaPro 5.1) a dois materiais de construção, constituintes de revestimentos de pavimentos: o PVC (material aplicado na obra atribuída para efectuar este estudo) e a madeira de carvalho (como possível material alternativo).

A avaliação do ciclo de vida destes materiais ficou limitada às fases de extracção de matérias-primas e de produção. Dentro destas fronteiras, o estudo de ACV permitiu verificar que o PVC apresenta valores de impacte substancialmente superiores aos da madeira de carvalho para sete das onze categorias de impacte avaliadas (substâncias cancerígenas, substâncias inorgânicas respirométricas, aquecimento global, depleção da camada do ozono, ecotoxicidade, acidificação/eutrofização e combustíveis fósseis) e para todas as categorias de dano (saúde humana, qualidade dos ecossistemas e recursos). No entanto, ao contrário da madeira de carvalho, o PVC não provoca qualquer impacte ao nível do uso do solo e dos minerais.

O mesmo estudo permitiu verificar que nenhum dos produtos avaliados contribui para a radiação, apresentando valores nulos para esta categoria de impacte. Por outro lado, a categoria de combustíveis fósseis é a que possui maior expressão para ambos os produtos, uma vez que a extracção e refinamento de petróleo é o processo unitário com maior contribuição para o impacte total dos mesmos. Como consequência, os recursos são a categoria de dano com maior pontuação para o PVC e a madeira de carvalho.

O valor total do impacte do PVC é de 0,149 Pt e para a madeira de carvalho de 0,0255 Pt. Assim, pode concluir-se que, dentro das fronteiras estudadas e das considerações efectuadas ao longo do estudo, a substituição de um pavimento à base de PVC por um outro à base de madeira de carvalho seria vantajosa sob o ponto de vista ambiental.

No entanto, deve ser realçado que não existiu uma avaliação do ciclo de vida completo dos produtos e que os dados utilizados são bastante abrangentes sob o ponto de vista

geográfico e temporal, o que significa que actualmente em Portugal o desempenho ambiental destes produtos não é rigorosamente o apresentado no presente estudo.

Assim sendo, recomenda-se, para estudos posteriores, a consideração das restantes etapas do ciclo de vida dos produtos (fase de utilização, tratamento de fim-de-vida e destino final) e, se possível, a utilização de dados exclusivamente nacionais e relativamente recentes.

Uma vez que os processos de extracção e refinamento do petróleo e de produção de electricidade a partir do petróleo e do carvão são os que mais contribuem para o impacte ambiental do ciclo de vida destes produtos, poderia mostrar-se interessante estudar a influência do uso de fontes renováveis no desempenho ambiental destes produtos.

A utilização de outros métodos de avaliação de impactes, para além do Eco-indicator 99, deveria ser realizada no futuro, a fim de comparar as conclusões retiradas. Por vezes, a aplicação de diferentes métodos conduz a conclusões antagónicas.

Para todos os futuros trabalhos aconselha-se ainda a avaliação da qualidade dos dados (análise de sensibilidade, de gravidade e/ou de incerteza), com o objectivo de aumentar o grau de confiança nos resultados obtidos.

Sendo o objectivo a avaliação do desempenho sustentável dos produtos, e não exclusivamente do ambiental, sugere-se a posterior avaliação do desempenho económico e social dos mesmos.

A criação de uma ferramenta para a selecção de materiais com base no seu desempenho sustentável implica forçosamente uma avaliação a nível ambiental, económico e social.

Face ao reconhecimento da ACV como ferramenta mais indicada para avaliar o desempenho ambiental de produtos, conclui-se ser fundamental tomá-la como referência para a avaliação ambiental a efectuar pela ferramenta a criar. No entanto, a complexidade associada à ACV e, por outro lado, a celeridade exigida para a selecção de materiais em obra, parecem tornar inviável adoptar a metodologia ACV na ferramenta que se pretende desenvolver. Tal não é necessariamente verdade, se forem efectuadas algumas simplificações e ajustes na aplicação da ACV, que embora impliquem uma redução no rigor dos resultados, permitem obter resultados fiáveis num mais reduzido período de tempo. Por vezes, mostra-se necessário sacrificar ligeiramente a exactidão dos resultados para que se alcance alguma praticabilidade, pois por mais precisa que uma ferramenta seja, se não for expedita e prática não será viável a sua utilização.

À semelhança da avaliação do desempenho ambiental, considera-se importante que a ferramenta a desenvolver inclua a análise do desempenho económico e social ao longo do ciclo de vida dos produtos. A forma como estas avaliações deveriam ser executadas não foi

estudada pormenorizadamente neste trabalho, propondo-se apenas algumas sugestões, pelo que se sugere que, em trabalhos futuros, se invista em estudar formas de avaliar estes desempenhos (tal como efectuado neste trabalho para o desempenho ambiental), a fim de obter um método expedito e fiável para a avaliação sustentável dos produtos.

A maior conclusão que é possível retirar deste trabalho é a complexidade intrínseca à avaliação da sustentabilidade. Apesar de ser um conceito aparentemente simples, o caminho rumo à sustentabilidade encontra-se repleto de subjectividade. A única certeza é que é necessário arriscar e investir em formas de melhorar as nossas acções de hoje, tornando-as mais sustentáveis, para nos permitirmos actuar no futuro.

BIBLIOGRAFIA

Baumann, H. & Tillman, A. M. (2004). *The Hitch Hiker's Guide to LCA - An orientation in life cycle assessment methodology and application*. Lund, Suécia.

Blengini, G. A. (2006). *Tese de doutoramento: "Life Cycle Assessment tools for sustainable development: Case studies for the mining and construction industries in Italy and Portugal"*. Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, Portugal.

Curran, M. A. (1996). *Environmental Life-Cycle Assessment*. McGraw-Hill. Nova Iorque, Estados Unidos da América.

Curran, M. A. (2006). *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*. National Risk Management Research Laboratory - U. S. Environmental Protection Agency, Estados Unidos da América.

Ferreira, J. V. (2004). *Análise de Ciclo de Vida dos produtos*. Instituto Politécnico de Viseu, Portugal.

Goedkoop, M., & Spriensma, R. (2001). *The Eco-indicator 99 - A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment - Methodology Report*. Amersfoort, Holanda.

Goedkoop, M., Oele, M., & Gelder, C. d. (2003). *SimaPro 5.1 - Reference Manual*. Holanda.

Guinée et al., J. B. (2001). *Life Cycle Assessment - An operational guide to the ISO standards*. Centre of Environmental Science - Leiden University (CML), Holanda.

Leocádio, M. N. (2004). *Sobre a incorporação RAMS no desenvolvimento de produtos de base tecnológica: Uma abordagem holística a veículos ferroviários*. Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, Portugal

NP EN ISO 14040 (2008). *ISO 14040:2008 - Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Enquadramento*. Génèbra, Suíça.

Santos, R., & Martins, J. G. (2004). *Materiais de construção - Plásticos*. Universidade Fernando Pessoa, Portugal.

Torgal, F., & Jalali, S. (2007). *Construção sustentável. O caso dos materiais de construção*. Instituto Politécnico de Castelo Branco, Universidade do Minho, Portugal.

ANEXOS

<i>Anexo I – Factores de caracterização utilizados no método Eco-indicator 99 por categoria de impacte</i>	<i>1</i>
<i>Anexo II – Factores de caracterização utilizados no método Eco-indicator 99 por categorias de dano</i>	<i>14</i>
<i>Anexo III – Factores de normalização e ponderação utilizados no método Eco-indicator 99</i>	<i>15</i>

**ANEXO I – FACTORES DE CARACTERIZAÇÃO UTILIZADOS NO MÉTODO ECO-INDICATOR 99
POR CATEGORIA DE IMPACTE**

CATEGORIA DE IMPACTE	COMPARTIMENTO	SUBSTÂNCIA	FACTOR DE CARACTERIZAÇÃO	UNIDADE
SUBSTÂNCIAS CANCERÍGENAS	Emissão atmosférica	1,1-dichloroethene	3,43E-06	kg
		1,1,1,2-tetrachloroethane	3,72E-05	kg
		1,1,2-trichloroethane	1,10E-05	kg
		1,1,2,2-tetrachloroethane	2,86E-04	kg
		1,2-dibromoethane	2,60E-04	kg
		1,2-dichloroethane	2,98E-05	kg
		1,3-butadiene	1,58E-05	kg
		1,4-dioxane	1,39E-07	kg
		2,4,6-trichlorophenol	2,05E-06	kg
		3-methylcholanthrene	1,67E-01	kg
		acetaldehyde	2,16E-07	kg
		acrylonitrile	1,69E-05	kg
		aldrin	1,93E-01	kg
		alpha-HCH	3,00E-04	kg
		As	2,46E-02	kg
		BCME	7,48E-03	kg
		benzene	2,50E-06	kg
		benzo(a)anthracene	5,86E-02	kg
		benzo(a)pyrene	3,98E-03	kg
		benzotrichloride	6,60E-03	kg
		benzylchloride	1,04E-05	kg
		beta-HCH	9,99E-05	kg
		bis(2-chloroethyl)ether	4,03E-05	kg
		bromodichloromethane	8,76E-06	kg
		Cd	1,35E-01	kg
		Cr (VI)	1,75E+00	kg
		di(2-ethylhexyl)phthalate	3,38E-05	kg
		dibenz(a)anthracene	3,10E+01	kg
		dibutylphthalate	3,43E-03	kg
		dichloromethane	4,36E-07	kg
		dichlorvos	3,15E-05	kg
		dieldrin	2,70E+01	kg
		dioxin (TEQ)	1,79E+02	kg
		epichlorohydrin	3,02E-07	kg
		ethylene oxide	1,83E-04	kg
		formaldehyde	9,91E-07	kg
		gamma-HCH (lindane)	3,49E-04	kg
		heavy metals	6,97E-04	kg
		hexachlorobenzene	8,25E-02	kg
		hexachlorobutadiene	4,30E-05	kg
		hexachloroethane	1,99E-05	kg
		metals	6,97E-04	kg
		methyl chloride	1,83E-05	kg
		Ni	2,35E-02	kg
		Ni-subsulfide	9,48E-02	kg
		Ni refinery dust	4,74E-02	kg
		PAH's	1,70E-04	kg
		particles diesel soot	9,78E-06	kg

CATEGORIA DE IMPACTE	COMPARTIMENTO	SUBSTÂNCIA	FACTOR DE CARACTERIZAÇÃO	UNIDADE
SUBSTÂNCIAS CANCERÍGENAS	Emissão atmosférica	PCB's	1,97E-03	kg
		pentachlorophenol	7,21E-03	kg
		propyleneoxide	1,17E-05	kg
		styrene	2,44E-08	kg
		tetrachloroethene	4,82E-07	kg
		tetrachloromethane	8,38E-04	kg
		trichloroethene	7,95E-08	kg
		trichloromethane	2,63E-05	kg
		trifluralin	1,10E-07	kg
		vinyl chloride	2,09E-07	kg
	Emissão em meio hídrico	1,1-dichloroethene	5,88E-05	kg
		1,1,1,2-tetrachloroethane	3,66E-05	kg
		1,1,2-trichloroethane	1,23E-05	kg
		1,1,2,2-tetrachloroethane	2,78E-04	kg
		1,2-dibromoethane	1,24E-03	kg
		1,2-dichloroethane	2,98E-05	kg
		1,3-butadiene	3,37E-04	kg
		1,4-dioxane	9,21E-07	kg
		2,4,6-trichlorophenol	1,05E-05	kg
		3-methylcholanthrene	3,71E+01	kg
		acetaldehyde	9,23E-07	kg
		acrylonitrile	4,16E-05	kg
		aldrin	6,78E+00	kg
		alpha-HCH	6,85E-03	kg
		As	6,57E-02	kg
		BCME	1,54E-02	kg
		benzene	4,12E-06	kg
		benzo(a)anthracene	6,58E-01	kg
		benzo(a)pyrene	2,99E+00	kg
		benzotrichloride	9,46E-03	kg
		benzylchloride	1,98E-05	kg
		beta-HCH	5,75E-03	kg
		bis(2-chloroethyl)ether	1,61E-04	kg
		bromodichloromethane	9,36E-06	kg
		Cd	7,12E-02	kg
		Cr (VI)	3,43E-01	kg
		di(2-ethylhexyl)phthalate	6,64E-04	kg
		dibenz(a)anthracene	4,07E+01	kg
		dibutylphthalate	5,34E-02	kg
		dichloromethane	4,79E-07	kg
		dichlorvos	1,17E-05	kg
		dieldrin	9,75E+01	kg
		dioxin (TEQ)	2,02E+03	kg
		epichlorohydrin	9,90E-07	kg
		ethylene oxide	1,39E-04	kg
		formaldehyde	4,97E-06	kg
		gamma-HCH (lindane)	4,16E-03	kg
		hexachlorobenzene	1,25E-01	kg
		hexachlorobutadiene	1,08E-04	kg
		hexachloroethane	2,12E-05	kg
		metallic ions	4,27E-05	kg

CATEGORIA DE IMPACTE	COMPARTIMENTO	SUBSTÂNCIA	FACTOR DE CARACTERIZAÇÃO	UNIDADE
SUBSTÂNCIAS CANCERÍGENAS	Emissão em meio hídrico	methyl chloride	1,78E-05	kg
		Ni	3,11E-02	kg
		Ni-subsulfide	1,00E-02	kg
		Ni refinery dust	5,02E-03	kg
		PAH's	2,60E-03	kg
		PCB's	3,91E-02	kg
		pentachlorophenol	2,29E-02	kg
		propyleneoxide	1,74E-05	kg
		styrene	1,22E-06	kg
		tetrachloroethene	4,72E-07	kg
		tetrachloromethane	8,29E-04	kg
		trichloroethene	7,97E-08	kg
		trichloromethane	2,60E-05	kg
		trifluralin	7,93E-05	kg
		vinyl chloride	2,84E-07	kg
	Emissão para o solo	1,1-dichloroethene	5,57E-06	kg
		1,1,1,2-tetrachloroethane	1,09E-03	kg
		1,1,2-trichloroethane	1,24E-04	kg
		1,1,2,2-tetrachloroethane	7,54E-03	kg
		1,2-dibromoethane	3,81E-03	kg
		1,2-dichloroethane	4,58E-04	kg
		1,3-butadiene	1,20E-05	kg
		1,4-dioxane	3,10E-07	kg
		2,4,6-trichlorophenol	2,76E-06	kg
		3-methylcholanthrene	7,85E-01	kg
		acetaldehyde	4,77E-07	kg
		acrylonitrile	7,01E-05	kg
		aldrin	3,21E+01	kg
		alpha-HCH	2,32E-02	kg
		As	1,32E-02	kg
		BCME	1,68E-02	kg
		benzene	1,33E-05	kg
		benzo(a)anthracene	1,60E-01	kg
		benzo(a)pyrene	2,06E-03	kg
		benzotrichloride	1,32E-01	kg
		benzylchloride	4,16E-05	kg
		beta-HCH	7,36E-05	kg
		bis(2-chloroethyl)ether	8,29E-05	kg
		bromodichloromethane	7,82E-05	kg
		Cd	3,98E-03	kg
		Cr (VI)	2,71E-01	kg
		di(2-ethylhexyl)phthalate	3,18E-07	kg
		dibenz(a)anthracene	2,44E+01	kg
		dibutylphthalate	6,00E-06	kg
		dichloromethane	5,99E-06	kg
		dichlorvos	2,25E-05	kg
		dieldrin	4,17E+02	kg
		dioxin (TEQ)	7,06	kg
		epichlorohydrin	1,30E-06	kg
		ethylene oxide	2,38E-03	kg
		formaldehyde	1,83E-06	kg

CATEGORIA DE IMPACTE	COMPARTIMENTO	SUBSTÂNCIA	FACTOR DE CARACTERIZAÇÃO	UNIDADE
SUBSTÂNCIAS CANCERÍGENAS	Emissão para o solo	gamma-HCH (lindane)	8,64E-03	kg
		hexachlorobenzene	1,47E-01	kg
		hexachlorobutadiene	8,56E-04	kg
		hexachloroethane	5,26E-04	kg
		methyl chloride	5,58E-04	kg
		Ni-subsulfide	1,27E-02	kg
		Ni	3,94E-03	kg
		Ni refinery dust	6,37E-03	kg
		PCB's	2,04E-02	kg
		pentachlorophenol	1,26E-05	kg
		propyleneoxide	1,40E-04	kg
		styrene	2,09E-08	kg
		tetrachloroethene	6,00E-08	kg
		tetrachloromethane	3,99E-02	kg
		trichloroethene	3,22E-07	kg
		trichloromethane	4,12E-06	kg
		trifluralin	6,89E-05	kg
		vinyl chloride	7,67E-07	kg
SUBSTÂNCIAS ORGÂNICAS RESPIROMÉTRICAS	Emissão atmosférica	1-butene	2,30E-06	kg
		1-butoxy propanol	9,39E-07	kg
		1-hexene	1,87E-06	kg
		1-methoxy-2-propanol	7,91E-07	kg
		1-pentene	2,13E-06	kg
		1,1,1-trichloroethane	1,96E-08	kg
		1,2-dichloroethene (cis)	9,36E-07	kg
		1,2-dichloroethene (trans)	8,43E-07	kg
		1,2,3-trimethylbenzene	2,72E-06	kg
		1,2,4-trimethylbenzene	2,72E-06	kg
		1,3-butadiene	1,87E-06	kg
		1,3,5-trimethylbenzene	2,98E-06	kg
		2-butene (cis)	2,47E-06	kg
		2-butene (trans)	2,47E-06	kg
		2-butoxyethanol	9,36E-07	kg
		2-ethoxyethanol	8,34E-07	kg
		2-hexanone	1,19E-06	kg
		2-hexene (cis)	2,30E-06	kg
		2-hexene (trans)	2,30E-06	kg
		2-methoxyethanol	6,47E-07	kg
		2-methyl-1-butanol	8,51E-07	kg
		2-methyl-1-butene	1,70E-06	kg
		2-methyl-2-butanol	3,06E-07	kg
		2-methyl-2-butene	1,79E-06	kg
		2-methyl hexane	8,51E-07	kg
		2-methyl pentane	9,36E-07	kg
		2-pentane	1,19E-06	kg
		2-pentane (cis)	2,38E-06	kg
		2-pentane (trans)	2,38E-06	kg
		2,2-dimethylbutane	5,19E-07	kg
		2,3-dimethylbutane	1,19E-06	kg
		3-hexanone	1,28E-06	kg
		3-methyl-1-butanol	8,51E-07	kg

CATEGORIA DE IMPACTE	COMPARTIMENTO	SUBSTÂNCIA	FACTOR DE CARACTERIZAÇÃO	UNIDADE
SUBSTÂNCIAS ORGÂNICAS RESPIROMÉTRICAS	Emissão atmosférica	3-methyl-1-butene	1,45E-06	kg
		3-methyl-2-butanol	7,91E-07	kg
		3-methyl hexane	7,83E-07	kg
		3-methyl pentane	1,02E-06	kg
		3-pentanol	9,36E-07	kg
		3-pentanone	8,51E-07	kg
		3,5-diethyltoluene	2,81E-06	kg
		3,5-dimethylethylbenzene	2,81E-06	kg
		acetaldehyde	1,36E-06	kg
		acetic acid	2,13E-07	kg
		acetone	2,04E-07	kg
		acrolein	1,70E-06	kg
		alcohols	7,60E-07	kg
		aldehydes	1,40E-06	kg
		alkanes	7,50E-07	kg
		alkenes	2,10E-06	kg
		benzene	5,68E-07	kg
		butane	7,57E-07	kg
		butanol	1,36E-06	kg
		butene	2,47E-06	kg
		CxHx	1,28E-06	kg
		CxHx aromatic	2,10E-06	kg
		CxHx chloro	3,50E-07	kg
		CxHx halogenated	3,50E-07	kg
		cyclohexane	6,21E-07	kg
		cyclohexanol	9,36E-07	kg
		cyclohexanone	6,47E-07	kg
		decane	8,26E-07	kg
		di-i-propyl ether	1,02E-06	kg
		diacetone alcohol	5,62E-07	kg
		dichloromethane	1,45E-07	kg
		diethyl ether	1,02E-06	kg
		dimethyl ether	3,74E-07	kg
		dodecane	7,66E-07	kg
		esters	3,70E-07	kg
		ethane	2,64E-07	kg
		ethane diol	8,26E-07	kg
		ethanol	8,34E-07	kg
		ethene	2,13E-06	kg
		ethers	7,40E-07	kg
		ethyl t-butyl ether	4,60E-07	kg
		ethylacetate	1,53E-06	kg
		ethylbenzene	1,87E-07	kg
		ethyne	1,11E-06	kg
		formaldehyde	6,89E-08	kg
		formic acid	1,11E-06	kg
		heptane	1,02E-06	kg
		hexane	6,64E-07	kg
		i-butane	8,09E-07	kg
		i-butanol	1,11E-06	kg
		i-butyraldehyde	8,51E-08	kg

CATEGORIA DE IMPACTE	COMPARTIMENTO	SUBSTÂNCIA	FACTOR DE CARACTERIZAÇÃO	UNIDADE
SUBSTÂNCIAS ORGÂNICAS RESPIROMÉTRICAS	Emissão atmosférica	i-pentane	4,60E-07	kg
		i-propyl acetate	1,11E-06	kg
		i-propyl benzene	2,38E-06	kg
		isoprene	2,98E-07	kg
		isopropanol ketones	8,70E-07	kg
		m-ethyl toluene	2,21E-06	kg
		m-xylene	2,39E-06	kg
		methane	1,28E-08	kg
		methanol	2,81E-07	kg
		methyl acetate	1,02E-07	kg
		methyl chloride	1,11E-08	kg
		methyl ethyl ketone	8,09E-07	kg
		methyl formate	7,15E-08	kg
		methyl i-butyl ketone	1,02E-06	kg
		methyl i-propyl ketone	7,83E-07	kg
		methyl propene	1,36E-06	kg
		methyl t-butyl ether	3,32E-07	kg
		methyl t-butyl ketone	6,98E-07	kg
		n-butanol	1,36E-06	kg
		n-butyl acetate	5,19E-07	kg
		n-butyraldehyde	1,70E-06	kg
		n-propanol	1,19E-06	kg
		n-propyl acetate	6,21E-07	kg
		n-propyl benzene	1,36E-06	kg
		neopentane	3,74E-07	kg
		non methane VOC	1,28E-06	kg
		nonane	8,51E-07	kg
		o-ethyl toluene	1,96E-06	kg
		o-xylene	2,30E-06	kg
		octane	9,36E-07	kg
		p-ethyl toluene	1,96E-06	kg
		p-xylene	2,21E-06	kg
		pentanal	1,62E-06	kg
		pentane	8,51E-07	kg
		propane	3,83E-07	kg
		propane diol	1,02E-06	kg
		propene	2,38E-06	kg
		propionic acid	3,23E-07	kg
		s-butanol	8,51E-07	kg
		s-butyl acetate	5,79E-07	kg
		t-butanol	2,64E-07	kg
		t-butyl acetate	1,36E-07	kg
		tetrachloroethene	6,21E-08	kg
		toluene	1,36E-06	kg
		trichloroethene	6,98E-07	kg
		trichloromethane	4,94E-08	kg
		undecane	8,26E-07	kg
		VOC	6,46E-07	kg
		xylene	2,21E-06	kg
		ammonia	8,50E-05	kg
		CO	3,10E-08	kg

CATEGORIA DE IMPACTE	COMPARTIMENTO	SUBSTÂNCIA	FACTOR DE CARACTERIZAÇÃO	UNIDADE
Substâncias inorgânicas respirométricas	Emissão atmosférica	dust	1,10E-04	kg
		dust (PM10)	3,75E-04	kg
		dust (PM10) mobile	3,75E-04	kg
		dust (PM10) stationary	3,75E-04	kg
		dust (PM2,5)	7,00E-04	kg
		dust (SPM)	1,10E-04	kg
		NO	1,37E-04	kg
		NO2	8,91E-05	kg
		NOx	8,91E-05	kg
		NOx (as NO2)	8,91E-05	kg
		particulates (PM10)	3,75E-04	kg
		particulates (PM2,5)	7,00E-04	kg
		particulates (SPM)	1,10E-04	kg
		SO2	5,46E-05	kg
		SO3	4,37E-05	kg
		SOx	5,46E-05	kg
		SOx (as SO2)	5,46E-05	kg
Aquecimento global	Emissão atmosférica	1,1,1-trichloroethane	-4,30E-05	kg
		CF3I	2,10E-07	kg
		CFC-11	2,20E-04	kg
		CFC-113	6,30E-04	kg
		CFC-116	2,00E-03	kg
		CFC-12	1,40E-03	kg
		CFC-14	1,40E-03	kg
		CO2	2,10E-07	kg
		CO2 (fossil)	2,10E-07	kg
		CO2 (non-fossil)	2,10E-07	kg
		dichloromethane	1,90E-06	kg
		HALON-1301	-0,0071	kg
		HCFC-123	6,60E-06	kg
		HCFC-124	8,50E-05	kg
		HCFC-141b	5,20E-05	kg
		HCFC-142b	3,40E-04	kg
		HCFC-22	2,80E-04	kg
		HFC-125	5,80E-04	kg
		HFC-134	2,10E-04	kg
		HFC-134a	2,70E-04	kg
		HFC-143	6,20E-04	kg
		HFC-143a	7,80E-04	kg
		HFC-152a	2,90E-05	kg
		HFC-227ea	6,00E-04	kg
		HFC-23	2,60E-03	kg
		HFC-236fa	1,40E-06	kg
		HFC-245ca	1,20E-04	kg
		HFC-32	1,40E-04	kg
		HFC-41	3,10E-05	kg
		HFC-4310mee	2,70E-04	kg
		methane	4,40E-06	kg
		N2O	6,90E-05	kg
		perfluorbutane	1,60E-03	kg
		perfluorocyclobutane	1,90E-03	kg

CATEGORIA DE IMPACTE	COMPARTIMENTO	SUBSTÂNCIA	FACTOR DE CARACTERIZAÇÃO	UNIDADE
Aquecimento global	Emissão atmosférica	perfluorhexane	1,60E-03	kg
		perfluorpentane	1,70E-03	kg
		perfluorpropane	1,60E-03	kg
		SF6	5,30E-03	kg
		tetrachloromethane	-0,00026	kg
		trichloromethane	8,40E-07	kg
Radiação	Emissão não material	Ag110m to water	5,10E-13	Bq
		C14 to air	2,10E-10	Bq
		Co58 to air	4,30E-13	Bq
		Co58 to water	4,10E-14	Bq
		Co60 to air	1,60E-11	Bq
		Co 60 to water	4,40E-11	Bq
		Cs134 to air	1,20E-11	Bq
		Cs134 to water	1,40E-10	Bq
		Cs137 to air	1,30E-11	Bq
		Cs137 to water	1,70E-10	Bq
		H3 to air	1,40E-14	Bq
		H3 to water	4,50E-16	Bq
		I129 to air	9,40E-10	Bq
		I131 to air	1,60E-13	Bq
		I131 to water	5,00E-13	Bq
		I133 to air	9,40E-15	Bq
		Kr85 to air	1,40E-16	Bq
		Mn54 to water	3,10E-13	Bq
		Pb210 to air	1,50E-12	Bq
		Po210 to air	1,50E-12	Bq
		Pu alpha to air	8,30E-11	Bq
		Pu238 to air	6,70E-11	Bq
		Ra226 to air	9,10E-13	Bq
		Ra226 to water	1,30E-13	Bq
		Rn222 (long term) to air	2,40E-14	Bq
		Rn222 to air	2,40E-14	Bq
		Sb124 to water	8,20E-13	Bq
		Th230 to air	4,50E-11	Bq
		U234 to air	9,70E-11	Bq
		U234 to water	2,40E-12	Bq
		U235 to air	2,10E-11	Bq
		U235 to water	2,30E-12	Bq
		U238 to air	8,20E-12	Bq
		U238 to water	2,30E-12	Bq
		Xe133 to air	1,40E-16	Bq
Depleção da camada do ozono	Emissão atmosférica	1,1,1-trichloroethane	1,26E-04	kg
		CFC-11	1,05E-03	kg
		CFC-113	9,48E-04	kg
		CFC-114	8,95E-04	kg
		CFC-115	4,21E-04	kg
		CFC-12	8,63E-04	kg
		HALON-1201	1,47E-03	kg
		HALON-1202	1,32E-03	kg
		HALON-1211	5,37E-03	kg
		HALON-1301	1,26E-02	kg

CATEGORIA DE IMPACTE	COMPARTIMENTO	SUBSTÂNCIA	FACTOR DE CARACTERIZAÇÃO	UNIDADE
Depleção da camada do ozono	Emissão atmosférica	HALON-2311	1,47E-04	kg
		HALON-2401	2,63E-04	kg
		HALON-2402	7,37E-03	kg
		HCFC-123	1,47E-05	kg
		HCFC-124	3,16E-05	kg
		HCFC-141b	1,05E-04	kg
		HCFC-142b	5,26E-05	kg
		HCFC-22	4,21E-05	kg
		HCFC-225ca	2,11E-05	kg
		HCFC-225cb	2,11E-05	kg
		methyl bromide	6,74E-04	kg
		methyl chloride	2,11E-05	kg
		tetrachloromethane	1,26E-03	kg
Ecotoxicidade	Emissão atmosférica	1,2,3-trichlorobenzene	3,51E-01	kg
		1,2,4-trichlorobenzene	2,54E-01	kg
		1,2,5-trichlorobenzene	1,29E+00	kg
		2,4-D	1,46E+01	kg
		As	5,92E+03	kg
		Atrazine	2,09E+03	kg
		Azinphos-methyl	1,10E-05	kg
		bentazon	7,33E+01	kg
		benzene	2,75E-02	kg
		benzo(a)pyrene	1,42E+03	kg
		carbendazim	2,40E+04	kg
		Cd	9,65E+04	kg
		Cr	4,13E+04	kg
		Cr (III)	4,13E+04	kg
		Cr (VI)	4,13E+04	kg
		Cu	1,46E+04	kg
		di(2-ethylhexyl)phthalate	1,94E-02	kg
		dibutylphthalate	1,13E+00	kg
		dichlorvos	1,61E+01	kg
		dioxin (TEQ)	1,32E+06	kg
		diquat-dibromide	2,39E+04	kg
		diuron	4,43E+04	kg
		DNOC	8,19E+01	kg
		fentin-acetate	6,77E+03	kg
		fluoranthene	4,37E-01	kg
		gamma-HCH (lindane)	2,16E+01	kg
		heavy metals	2,55E+03	kg
		hexochlorobenzene	3,88E+02	kg
		Hg	8,29E+03	kg
		malathion	1,17E+03	kg
		maneb	3,84E+02	kg
		mecoprop	7,79E-01	kg
		metabenzthiazuron	3,07E+03	kg
		metals	2,55E+03	kg
		metamitron	3,78E+02	kg
		metribuzin	4,92E+03	kg
		mevinfos	2,13E+04	kg
		monolinuron	1,06E+03	kg

CATEGORIA DE IMPACTE	COMPARTIMENTO	SUBSTÂNCIA	FACTOR DE CARACTERIZAÇÃO	UNIDADE
Ecotoxicidade	Emissão atmosférica	Ni	7,10E+04	kg
		PAH's	7,80E-03	kg
		parathion	6,05E+02	kg
		Pb	2,54E+04	kg
		PCB's	8,07E+02	kg
		pentachlorophenol	1,33E+02	kg
		Simazine	1,44E+04	kg
		thiram	2,26E+03	kg
		toluene	2,40E-03	kg
		trifluralin	1,09E+01	kg
		Zn	2,89E+04	kg
	Emissão em meio hídrico	1,2,3-trichlorobenzene	1,56E+00	kg
		1,2,4-trichlorobenzene	1,39E+00	kg
		1,2,5-trichlorobenzene	2,73E+00	kg
		2,4-D	7,56E-01	kg
		As	1,14E+02	kg
		Atrazine	5,06E+02	kg
		Azinphos-methyl	8,87E+03	kg
		bentazon	5,81E-01	kg
		benzene	4,80E-01	kg
		benzo(a)pyrene	3,68E+02	kg
		carbendazim	1,63E+03	kg
		Cd	4,80E+03	kg
		Cr	6,87E+02	kg
		Cr (III)	6,87E+02	kg
		Cr (VI)	6,87E+02	kg
		Cu	1,47E+03	kg
		di(2-ethylhexyl)phthalate	6,37E+00	kg
		dibutylphthalate	1,62E+01	kg
		dichlorvos	1,81E+00	kg
		dioxin (TEQ)	1,87E+06	kg
		diquat-dibromide	1,18E+03	kg
		diuron	2,31E+03	kg
		DNOC	6,73E+00	kg
		fentin-acetate	7,85E+03	kg
		fluoranthene	3,96E+01	kg
		gamma-HCH (lindane)	1,04E+02	kg
		hexochlorobenzene	4,55E+02	kg
		Hg	1,97E+03	kg
		malathion	1,64E+03	kg
		maneb	6,23E+00	kg
		mecoprop	1,35E-01	kg
		metabenzthiazuron	1,43E+02	kg
		metals	3,57E+00	kg
		metamitron	3,77E+00	kg
		metribuzin	3,18E+01	kg
		mevinfos	6,73E+02	kg
		monolinuron	1,04E+02	kg
		Ni	1,43E+03	kg
		PAH's	2,10E-02	kg
		parathion	2,48E+03	kg

CATEGORIA DE IMPACTE	COMPARTIMENTO	SUBSTÂNCIA	FACTOR DE CARACTERIZAÇÃO	UNIDADE
Ecotoxicidade	Emissão em meio hídrico	Pb	7,39E+01	kg
		PCB's	2,58E+03	kg
		pentachlorophenol	2,51E+02	kg
		Simazine	6,03E+02	kg
		thiram	6,74E+03	kg
		toluene	1,73E+00	kg
		trifluralin	7,80E+02	kg
		Zn	1,63E+02	kg
	Emissão para o solo	1,2,3-trichlorobenzene	2,41E+01	kg
		1,2,4-trichlorobenzene	2,26E+01	kg
		1,2,5-trichlorobenzene	1,19E+01	kg
		2,4-D	1,27E-03	kg
		As	6,10E+03	kg
		Atrazine	1,49E+00	kg
		Azinphos-methyl	3,55E+00	kg
		bentazon	1,66E-01	kg
		benzene	4,97E+00	kg
		benzo(a)pyrene	7,25E+04	kg
		carbendazim	2,34E+01	kg
		Cd	3,01E+02	kg
		Cr	9,94E+04	kg
		Cr (III)	4,24E+04	kg
		Cr (VI)	4,24E+04	kg
		Cu	1,50E+04	kg
		di(2-ethylhexyl)phthalate	2,67E-01	kg
		dibutylphthalate	1,14E+01	kg
		dichlorvos	7,52E-03	kg
		dioxin (TEQ)	2,09E+06	kg
		diquat-dibromide	6,84E-01	kg
		diuron	4,07E-01	kg
		DNOC	6,17E-02	kg
		fentin-acetate	3,84E+00	kg
		fluoranthene	8,00E+01	kg
		gamma-HCH (lindane)	1,38E+01	kg
		hexochlorobenzene	9,96E+02	kg
		Hg	1,68E+04	kg
		malathion	2,79E-01	kg
		maneb	2,61E+00	kg
		mecoprop	2,79E-05	kg
		metabenzthiazuron	3,15E+00	kg
		metamitron	2,03E-03	kg
		metribuzin	4,91E-01	kg
		mevinfos	2,09E+00	kg
		monolinuron	4,38E+00	kg
		Ni	7,32E+04	kg
		parathion	3,24E-01	kg
		Pb	1,29E+02	kg
		PCB's	8,35E+03	kg
		pentachlorophenol	2,51E+02	kg
		Simazine	2,87E+00	kg
		thiram	9,96E+00	kg

CATEGORIA DE IMPACTE	COMPARTIMENTO	SUBSTÂNCIA	FACTOR DE CARACTERIZAÇÃO	UNIDADE
Ecotoxici- dade	Emissão para o solo	toluene	6,79E-01	kg
		trifluralin	2,07E-01	kg
		Zn	2,98E+04	kg
Acidificação/Eutrofização	Emissão atmosférica	ammonia	15,570	kg
		NO	8,789	kg
		NO2	5,713	kg
		NOx	5,713	kg
		NOx (as NO2)	5,713	kg
		SO2	1,041	kg
		SO3	0,832	kg
		SOx	1,041	kg
		SOx (as SO2)	1,041	kg
Uso do solo	Emissão não material	Conv. to continuous urban land	34,53	m ²
		Conv. to convent. arable land	34,38	m ²
		Conv. to discontinuous urban	28,73	m ²
		Conv. to green urban	25,16	m ²
		Conv. to industrial area	25,16	m ²
		Conv. to integrat. arable land	34,38	m ²
		Conv. to intensive meadow	34,02	m ²
		Conv. to less intensive meadow	30,62	m ²
		Conv. to organic arable land	32,73	m ²
		Conv. to organic meadow	30,62	m ²
		Conv. to rail/road area	25,16	m ²
		land use II-III	0,51	m ²
		land use II-IV	0,96	m ²
		land use III-IV	0,96	m ²
		land use IV-IV	1,15	m ²
		Occup. as contin. urban land	1,15	m ²
		Occup. as convent. arable land	1,15	m ²
		Occup. as discont. urban land	0,96	m ²
		Occup. as forest land	0,11	m ²
		Occup. as green urban land	0,84	m ²
		Occup. as industrial area	0,84	m ²
		Occup. as intens. meadow land	1,13	m ²
		Occup. as organic arable land	1,09	m ²
		Occup. as organiz meadow land	1,02	m ²
		Occup. as rail/road area	0,84	m ²
		Occup. integrated arable land	1,15	m ²
		Occup. less intens. meadow land	1,02	m ²
Minerais	Matéria-prima	alumnium (in ore)	2,38	kg
		bauxite	0,5	kg
		chromium (in ore)	0,9165	kg
		chromium (ore)	0,275	kg
		chromium compounds	0,9165	kg
		copper (in ore)	36,7	kg
		copper (ore)	0,415	kg
		iron (in ore)	0,051	kg

CATEGORIA DE IMPACTE	COMPARTIMENTO	SUBSTÂNCIA	FACTOR DE CARACTERIZAÇÃO	UNIDADE
Minerais	Matéria-prima	iron (ore)	0,029	kg
		lead (in ore)	7,35	kg
		lead (ore)	0,368	kg
		manganese (in ore)	0,313	kg
		manganese (ore)	0,141	kg
		mercury (in ore)	165,5	kg
		molybdene (in ore)	41	kg
		molybdenum (ore)	0,041	kg
		nickel (in ore)	23,75	kg
		nickel (ore)	0,356	kg
		tin (in ore)	600	kg
		tin (ore)	0,06	kg
		tungsten (ore)	0,927	kg
		zinc (in ore)	1,09	kg
		zinc (ore)	0,0164	kg
Combustíveis fósseis	Matéria-prima	coal	2,04	kg
		coal (feedstock) FAL	1,83	kg
		coal ETH	1,25	kg
		coal FAL	1,83	kg
		crude oil	3,4	kg
		crude oil (feedstock)	3,4	kg
		crude oil (feedstock) FAL	3,49	kg
		crude oil ETH	3,54	kg
		crude oil FAL	3,49	kg
		crude oil IDEMAT	3,54	kg
		energy from coal	0,0696	MJ
		energy from lignite	0,061	MJ
		energy from natural gas	0,089	MJ
		energy from oil	0,089	MJ
		lignite	0,61	kg
		lignite ETH	0,488	kg
		natural gas	2,7	kg
		natural gas (feedstock)	3,12	m ³
		natural gas (feedstock) FAL	4,17	kg
		natural gas (vol)	3,26	m ³
		natural gas ETH	3,12	m ³
		natural gas FAL	4,17	kg

ANEXO II – FACTORES DE CARACTERIZAÇÃO UTILIZADOS NO MÉTODO ECO-INDICATOR 99

POR CATEGORIAS DE DANO

CATEGORIA DE DANO	CATEGORIA DE IMPACTO	SUBSTÂNCIA	FACTOR
Saúde humana	Substâncias cancerígenas	DALY	1
	Substâncias orgânicas respirométricas	DALY	1
	Substâncias inorgânicas respirométricas	DALY	1
	Aquecimento global	DALY	1
	Radiação	DALY	1
	Depleção da camada do ozono	DALY	1
Qualidade dos ecossistemas	Ecotoxicidade	PAF.m ² .ano	0,1
	Acidificação/Eutrofização	PDF.m ² .ano	1
	Uso do solo	PDF.m ² .ano	1
Recursos	Minerais	MJ	1
	Combustíveis fósseis	MJ	1

**ANEXO III – FACTORES DE NORMALIZAÇÃO E PONDERAÇÃO UTILIZADOS NO MÉTODO ECO-
INDICATOR 99**

CATEGORIA DE DANO	NORMALIZAÇÃO	PONDERAÇÃO
Saúde humana	64,7	300
Qualidade dos ecossistemas	1,95E-04	500
Recursos	1,68E-04	200