



Universidade de Aveiro
Departamento de Ambiente e Ordenamento

Estudo da Pegada de Carbono de
Óleo Vegetal Alimentar

Autor:

Manuel Arlindo Amador de Matos

AVEIRO, 11 de Novembro de 2009

Nota: O presente estudo não veicula ou condiciona institucionalmente a posição da Universidade de Aveiro ou de qualquer dos seus serviços ou departamentos, sendo da exclusiva responsabilidade do seu autor.

Este trabalho corresponde a um caso de estudo proposto ao grupo de trabalho de Gestão e Tratamento de Resíduos do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

Índice

Índice.....	i
Equipa executiva.....	iii
Resumo.....	iv
1 Introdução.....	1
1.1 Informação geral.....	1
1.1.1 A Pegada de Carbono.....	1
1.1.2 Interesse da aplicação da pegada de carbono.....	2
1.2 Metodologia de inventário.....	2
1.2.1 Normas para o cálculo da pegada de carbono.....	2
1.2.2 Descrição do procedimento de inventário.....	3
1.2.2.1 Definição dos objectivos do estudo.....	3
1.2.2.2 Escolha do produto.....	3
1.2.2.3 Definição da unidade funcional.....	4
1.2.2.4 Definição do produto.....	4
1.2.2.5 Definição das fronteiras do estudo.....	4
1.2.2.6 Dados de inventário.....	4
1.3 Modelo operacional.....	5
1.3.1 Procedimento geral.....	5
1.3.2 Fluxos de materiais e energia.....	5
1.4 Descrição dos objectivos deste estudo.....	5
2 Processo produtivo.....	7
2.1 Considerações gerais.....	7
2.1.1 Definição da unidade funcional.....	7
2.1.2 Fronteiras.....	7
2.1.3 Descrição geral do processo produtivo.....	7
2.1.4 Dados de processos.....	7
2.1.4.1 Dados gerais.....	8
2.1.4.2 Dados específicos directos.....	8
2.1.4.3 Esforço de transporte.....	8
2.1.4.4 Bases de dados (process raw data files).....	9
2.1.4.5 Inventário (Life Cycle Inventory).....	10
2.1.4.6 Pegada de carbono.....	10
2.1.4.7 Responsabilidade.....	11

2.1.5	Pressupostos do estudo.....	11
2.1.6	Modelo operacional de cálculo da pegada de carbono.....	11
2.2	Processo produtivo.....	12
2.2.1	Descrição geral (99999).....	12
2.2.2	Produção de sementes de girassol (9980).....	13
2.2.3	Extracção e refinação do óleo de girassol (9990).....	14
2.2.4	Empacotamento do óleo de girassol (10000).....	14
2.2.5	Centro de distribuição (10010).....	15
2.2.6	Distribuição em hipermercados (10020).....	16
3	Análise de resultados.....	18
3.1	Pegada de carbono.....	18
3.2	Análise de incidências ambientais.....	19
3.2.1	Produção de sementes de girassol.....	19
3.2.2	Logística.....	20
3.3	Estudo comparado.....	21
3.3.1	Produção de sementes.....	21
3.3.2	Processo de extracção e refinação.....	22
3.4	Melhorias processuais.....	22
4	Conclusões e recomendações.....	23
4.1	Conclusões.....	23
4.2	Limitações.....	24
4.3	Recomendações.....	24
	Referências.....	25
	Anexo A – Especificações gerais dos processos Ecoinvent v2.1.....	26

Equipa executiva

Manuel Arlindo Amador de Matos, Professor Auxiliar, DAO, Universidade de Aveiro

Este trabalho contou com a colaboração de:

Maria Isabel da Silva Nunes, Professora Auxiliar Convidada, DAO, Universidade de Aveiro

Viviana da Silva Ferreira, Mestre em Engenharia do Ambiente, Bolseira de Investigação, DAO, Universidade de Aveiro.

Nuno Alegria, Engenheiro , PRIO, Gafanha da Nazaré.

Cristina Borges Correia , Directora de I&D I R&D Manager, PRIO, Gafanha da Nazaré.

Resumo

A produção de óleo vegetal alimentar faz-se a partir de sementes de plantas oleaginosas. Para este efeito, em Portugal uma das principais sementes é o girassol, produzido no Ribatejo e no Alentejo, geralmente sobre a forma de culturas de sequeiro. Neste caso de estudo considerou-se que as sementes são enviadas para Espanha onde sofrem o processo de extracção e refinação. O óleo vegetal refinado volta a Portugal onde é embalado e distribuído ao consumidor.

A análise de inventário das emissões de gases com efeito de estufa (pegada de carbono) para disponibilizar 1 litro de óleo vegetal alimentar em garrafa de PET nas prateleiras dos hipermercados nacionais permitiu concluir que a (pegada de carbono) do referido produto é de 2.77 kgCO₂eq, tendo-se concluído que é a fase de produção agrícola das sementes a que apresenta a maior contribuição (80%), seguida da fase da extracção e refinação com cerca de 12% e depois da fase de empacotamento com cerca de 6%. A distribuição em alta é responsável por 0,5% e a distribuição até aos retalhistas por cerca de 1% do total da pegada de carbono. A análise do processo produtivo das sementes de girassol e da composição dos gases com efeito de estufa emitidos mostra que o maior contributo para a pegada de carbono advém do óxido nitroso, que resulta dos processos de desnitrificação associados ao uso de fertilizantes na agricultura.

O transporte por estrada é responsável por apenas cerca de 3% da pegada de carbono total.

Tratando-se de um produto obtido a partir de recursos biológicos que, apesar de fixarem CO₂ atmosférico, este não pode ser deduzido da pegada de carbono pois volta a ser novamente mobilizado para a atmosfera uma vez consumido como alimento, o que ocorre num prazo inferior a um ano.

1 Introdução

1.1 Informação geral

A competitividade de produtos bens e serviços apresenta hoje componentes que vão para além do preço. Cada vez mais as empresas exigem certificados não só de qualidade, mas também de conformidade ambiental e de higiene e segurança. A Responsabilidade Ambiental das empresas estende-se hoje a toda a cadeia produtiva e há cada vez mais empresas a aderir a este conceito, nomeadamente fomentando a instalação de florestas (adquirindo créditos de carbono).

O funcionamento da Economia assenta no uso de combustíveis fósseis. Esta situação tem contribuído para o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera e que justifica as alterações climáticas no entender de alguns se vêm verificando. A tentativa da redução das emissões de CO₂ que estão na base do Protocolo de Kyoto, nomeadamente através da fixação de cotas de emissão de CO₂ devidas ao uso de combustíveis fósseis, vêm conduzindo ao desenvolvimento de um mercado global, em que as empresas, em função das limitações de emissão de CO₂ que lhe são impostas, procuram melhorar a sua eficiência fazendo uso de tecnologias mais eficientes, substituindo os combustíveis fósseis por combustíveis renováveis, ou ainda investindo na criação de florestas.

A avaliação da sustentabilidade (ambiental, económica e social) dos processos de produção de bens e serviços é assim hoje uma necessidade, não essencialmente por razões de imagem, mas cada vez mais por necessidade de sobrevivência em economias mais competitivas. As metodologias de avaliação de sustentabilidade são actualmente instrumentos importantes no apoio à tomada de decisão.

Uma das metodologias que maior maturidade atingiu é a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), embora se reconheça que é um instrumento de avaliação voltado essencialmente para a componente ambiental. Para este efeito, encontram-se disponíveis ferramentas e bases de dados que permitem realizar a referida avaliação de uma forma cada vez mais abrangente e precisa.

No âmbito da avaliação de ciclo de vida cabe a designada Pegada de Carbono (Carbon Footprint) que é uma ferramenta de avaliação de impacte ambiental que pode ser aplicada a bens e serviços e que se traduz em termos de um indicador ambiental: a massa de dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq}) por unidade de produto ou serviço. O interesse deste indicador é a simplicidade de cálculo e a abrangência ambiental que efectivamente traduz em termos de uso de recursos. A aplicação do indicador Pegada de Carbono permite a comparação ou “benchmarking” entre diversos processos produtivos e a avaliação de incidências de procedimentos de melhoria.

1.1.1 A Pegada de Carbono

A Pegada de Carbono é uma metodologia de avaliação de impactes ambientais traduzida sob a forma de um indicador de emissão de gases com efeito de estufa (Greenhouse Gas - GHG): em termos de massa de dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq}) por unidade de produto. Na

verdade existem diferentes substâncias que, como o dióxido de carbono (CO₂), absorvem a radiação infravermelha, tais como o metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e em menor abundância certas famílias de gases tais como os hidrocarbonetos fluorados (HFC's). A Pegada de Carbono é um indicador equivalente ao Potencial de Aquecimento Global (Alterações Climáticas) da metodologia de ACV de Leiden, 2001.

De facto, pode ainda ocorrer a necessidade de distinguir diferentes origens para a emissão de CO₂: se a origem resulta da utilização directa ou indirecta dos combustíveis fósseis, que se traduz no aumento efectivo da concentração de CO₂ na atmosfera, ou se, em alternativa, resulta da utilização de recursos energéticos renováveis, uso de materiais reciclados (não aumenta nem diminui a curto prazo a concentração de CO₂) ou ainda da fixação de CO₂ em biomassa (a um prazo curto reduz a concentração de CO₂ na atmosfera mas não a um prazo longo (100 anos por exemplo)).

1.1.2 Interesse da aplicação da pegada de carbono

O cálculo da pegada de carbono de produtos ou serviços é um processo que permite que as empresas possam obter informação necessária para:

- reduzir a emissão de gases com efeito de estufa;
- identificar oportunidades de poupança de recursos;
- incorporar o impacto das emissões nos processos de selecção de: matérias primas, fornecedores, *design* do produto, fabrico dos produtos, etc.;
- demonstrar liderança em termos de responsabilidade ambiental;
- satisfazer a procura dos clientes em termos de informação sobre a pegada de carbono dos produtos.

1.2 Metodologia de inventário

O cálculo da pegada de carbono consiste na inventariação dos gases com efeito de estufa que são captados por um lado e produzidos por outro durante todo o processo produtivo. Tem particular interesse os gases com efeito de estufa que resultam do uso directo de combustíveis fósseis no processo e indirecto (associado ao fabrico da maquinaria produtiva, por exemplo), pois neste caso correspondem a uma efectiva contribuição para o aumento de CO₂ da atmosfera. No âmbito de processos biológicos tem particular interesse a emissão de CH₄ e N₂O.

1.2.1 Normas para o cálculo da pegada de carbono

A metodologia de cálculo de inventário utilizada segue as normas de inventário usadas no âmbito da análise de ciclo de vida (família da Norma NP EN ISO 14040, Avaliação de Ciclo de Vida - ACV) (Life Cycle Assessment – LCA) no âmbito da qual são acumulados todas as contribuições (entradas de recursos ambientais e de saídas para o ambiente ar, água e solo) relativas a todas as intervenções/componentes ambientais e tecnológicas que concorrem directa ou indirectamente para a produção do referido bem.

Contudo a British Standards (BSI) desenvolveu uma especificação (não exactamente uma norma) destinada à avaliação de ciclo de vida tendo em conta apenas a emissão de gases com

efeito de estufa, aplicável a bens e serviços. Esta especificação é designada de PUBLICLY AVAILABLE SPECIFICATION - PAS 2050 (2008) sendo correntemente designada de *Carbon Footprint*.

As emissões de gases com efeito de estufa resultantes do ciclo de vida são as emissões resultantes dos processos de criação, modificação, transporte, armazenamento, uso, reciclagem e eliminação de bens e serviços. A especificação PAS 2050 (2008) é dirigida exclusivamente às emissões de gases com efeito de estufa (GEE) gerados durante o ciclo de vida do produto. Não considera qualquer outro impacto ambiental, social ou económico (ex: biodiversidade, uso da água, padrão de trabalho, custos ou outros impactos). Certas actividades que alteram o uso do solo (desflorestação para realizar agricultura) devem ser consideradas para efeito do cálculo da pegada de carbono.

1.2.2 Descrição do procedimento de inventário

A metodologia da especificação PAS 2050 (2008) descreve os passos necessários ao inventário da emissão de gases com efeito de estufa (GEE).

1.2.2.1 Definição dos objectivos do estudo

Os objectivos do estudo condicionam a profundidade e a extensão. Há dois casos de análise: uma destinada ao consumidor (business-to-consumer - B2C) e outra destinada à área das empresas (business-to-business - B2B).

No primeiro caso, a avaliação inclui os materiais em bruto da natureza, os processos de transformação, distribuição e retalho, uso pelo consumidor, e finalmente valorização ou eliminação dos resíduos na natureza (*from cradle to grave*).

No segundo caso, a avaliação inclui os processos de transformação até ser entregue a um determinado cliente, de acordo com a norma EN ISO 14043 (*from cradle to gate*). Desde os materiais em bruto da natureza, o ciclo de vida inclui todas as fases até que chega a uma nova organização, incluindo ao transporte e distribuição, mas excluindo todos os processos subsequentes, nomeadamente distribuição final, uso pelos consumidores e reciclagem ou eliminação.

1.2.2.2 Escolha do produto

A selecção do produto decorre dos objectivos do projecto. Os critérios de selecção têm a ver com o número, tipologia e dimensão unitária de produtos a considerar.

Neste âmbito importa considerar algumas questões: (a) que produtos podem oferecer maiores oportunidades de redução de emissões, ou (b) que aspectos comparados, nomeadamente: especificações de produtos, processos de fabrico, opções de embalagem, métodos de distribuição, ou ainda (c) que produtos importa considerar numa perspectiva de diferenciação ou de competição no mercado, ou (d) que impacto pode apresentar sobre a fileira produtiva (*stakeholders*), ou ainda (e) o tempo e os recursos disponíveis.

1.2.2.3 Definição da unidade funcional

A escolha da unidade funcional é importante pois estabelece a base de trabalho para a análise comparada. Deve ser uma unidade que seja compreendida e que possa ser facilmente usada por outros.

1.2.2.4 Definição do produto

A definição do produto tem por objectivo identificar todos os materiais, actividades e processos que contribuam para o ciclo de vida do produto. Para este efeito deve considerar-se os diferentes componentes que constituem o produto (matérias primas) em termos de massa, usando o conhecimento interno ou dados disponíveis na literatura. Numa primeira abordagem, deve o estudo ser focado nos componentes mais importantes, identificando os respectivos processos de fabrico, armazenamento e transporte.

Numa segunda fase, e em função do desenvolvimento do estudo, é necessário aprofundar o conhecimento de alguns dos componentes do produto.

1.2.2.5 Definição das fronteiras do estudo

As fronteiras do estudo definem a extensão/profundidade/minúcia do trabalho ou seja que estágios (componentes de processo), entradas e saídas devem ser incluídas na avaliação. De acordo com a PAS 2050 (2008) as fronteiras a ter em conta devem ser consistentes com a Product Category Rule (PCR), quando disponíveis, tais como as indicadas na norma ISO 14025.

De um modo geral, e em princípio, as fronteiras do sistema devem incluir todas as emissões significativas geradas de forma directa ou indirecta pelo produto a ser produzido, pelo uso do produto e pela valorização ou eliminação. Considera-se uma emissão significativa aquela em que resulta um valor superior a 1 % do total.

1.2.2.6 Dados de inventário

Uma vez definidos os componentes do produto, os processos e as relações de materiais do processo, há lugar ao cálculo do inventário das diferentes intervenções ambientais que daí resultam.

Este cálculo exige o conhecimento de uma cadeia ponderada de intervenções ambientais (emissões de gases com efeito de estufa, por exemplo). O resultado acumulado e ponderado das diferentes intervenções ambientais (emissões) constitui o inventário de ciclo de vida. Estas intervenções ambientais podem ser calculadas a partir de bases de dados de processos relativos a fornecimento de energia, produção de materiais tecnológicos, agricultura, gestão de resíduos, transporte, etc.

Estas bases de dados são usadas no âmbito de diferentes tipos de estudos: Política Integrada do Produto (Integrated Product Policy - IPP), Declaração Ambiental de Produto (Environmental Product Declaration - EPD), Avaliação de Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment - LCA), Gestão de ciclo de vida (Life Cycle Management - LCM), projecto para o Ambiente (Design for Environment - DfE) e Pegada de Carbono (Carbon Footprint - CP).

1.3 Modelo operacional

1.3.1 Procedimento geral

Após a selecção do produto e a definição da respectiva unidade funcional, o procedimento de cálculo da Pegada de Carbono é efectuado em cinco etapas:

- Estabelecer o processo produtivo e contabilizar os diferentes utilizações de recursos ambientais e tecnológicos, desde a respectiva origem na natureza até ao produto final (*B2B – from cradle to gate*) ou até à disposição final (*B2C – from cradle to grave*), incluindo fluxos de materiais, energia e resíduos;
- Confirmar fronteiras e elaborar cálculos preliminares de pegada de alto nível, para ajudar a localizar os processos mais importantes e a orientar (priorizar) os esforços de pesquisa de informação;
- Especificar as quantidades, actividades e factores de emissão em todos os estágios de ciclo de vida;
- Calcular a pegada de carbono;
- Avaliar a precisão da análise (facultativo).

1.3.2 Fluxos de materiais e energia

A informação relativa às diferentes actividades realizadas no âmbito do processo produtivo foi estabelecida a partir de um caso de estudo. Os fluxos de materiais e energia relativos a cada actividade foram estimados a partir do referido caso de estudo, quando possível; nos restantes casos foram obtidos a partir de processos escolhidos e considerados apropriados à situação que se encontram disponíveis na base de dados Ecoinvent v2.1(2009)

Em situações específicas de ausência de informação, foram realizadas pesquisas de dados, feitas estimativas e estabelecidos factores de actividade para os processos/actividades tendo em conta as especificidades conhecidas. Os impactos destas estimativas foi tido em conta em termos da grandeza comparada dos valores obtidos para a pegada de carbono.

1.4 Descrição dos objectivos deste estudo

A determinação da Pegada de Carbono associada a um determinado bem ou serviço tem por objectivos identificar no âmbito do processo produtivo onde se localizam os maiores impactos ambientais.

Contudo é necessário especificar a quem é vocacionado o trabalho: se é dirigido internamente aos intervenientes no processo produtivo ou se é dirigido ao exterior aos parceiros comerciais ou aos clientes/ consumidores finais.

No presente caso, o propósitos deste estudo inclui vários objectivos gerais:

- desenvolver e esclarecer a metodologia necessária ao cálculo da Pegada de Carbono de um produto;

- aplicar a metodologia a um caso de estudo: a produção de óleo vegetal alimentar em garrafa de 1 litro disponível ao consumidor final na prateleira dos supermercados nacionais;
- identificar os diferentes processos (operações unitárias) e estabelecer as relações de massa e energia (entrada e saída), a partir dos dados disponíveis para o caso em estudo (dados primários) e a partir das bases de dados de processos tecnológicos disponíveis (dados secundários);
- adequar, se necessário for, a informação anterior ao caso em estudo;
- determinar a importância relativa das contribuições dos diferentes processos para a pegada de carbono, de forma a poder equacionar alternativas que possam melhorar os impactos ambientais associados.

2 Processo produtivo

2.1 Considerações gerais

O óleo de girassol alimentar resulta de um conjunto de processos que têm o seu início na produção de sementes de girassol e que termina quando é disponibilizado ao consumidor nas prateleiras do supermercado sob a forma engarrafada de um litro.

2.1.1 Definição da unidade funcional

A unidade funcional que foi considerada adequada para os fins deste estudo é um produto comercial (*good*) correspondente a um litro (1L) de óleo vegetal alimentar refinado em garrafa de plástico polietileno tereftalato (PET) e disponível ao consumidor final na prateleira dos hipermercados nacionais.

2.1.2 Fronteiras

De acordo com os interesses em causa, a abordagem pretendida é do tipo B2B (*business to business*), ou seja não inclui a fase de uso e disposição final do referido produto. Dito de outra forma, o inventário de recursos e emissões é efectuado desde a origem das matérias primas até à disponibilidade de uma garrafa de um litro de óleo na prateleira do supermercado.

2.1.3 Descrição geral do processo produtivo

A análise do processo produtivo da unidade funcional escolhida mostra que tem o seu início com a produção de sementes de girassol, seguida da extracção do óleo das sementes e respectiva refinação, a que se segue o empacotamento em garrafas de PET e finalmente a distribuição. A Figura 2.1 ilustra o conjunto de processos considerados que serão detalhados mais adiante.



Figura 2.1 - Conjunto de processos de produção de óleo vegetal

Dado que os processos referidos não ocorrem no mesmo local, há ainda uma cadeia logística de transportes e distribuição que assegura o fornecimento dos diferentes materiais nos locais adequados. Neste âmbito, foi considerado o processo seguinte: origem nacional das sementes, extracção e refinação em Espanha, empacotamento em Portugal e distribuição em Portugal.

2.1.4 Dados de processos

A disponibilidade da unidade funcional exige a utilização de recursos, tais como matérias-primas (semente de girassol, plástico de embalagem), materiais auxiliares (fertilizantes, hexano, etc.), energia (electricidade, combustíveis, etc.) no âmbito do processo produtivo. Durante o processo produtivo ocorrem emissões para o ambiente (atmosfera, água e solo).

Para o efeito da análise de ciclo de vida é necessário estabelecer as quantidades envolvidas, ou seja é necessário especificar as relações de entradas vs saída (*input/output*).

Para uma representação fidedigna, a informação atrás referida deve advir tanto quanto possível de cada processo em específico.

Contudo, não é geralmente viável ou possível ou necessário até, em alguns casos, dispor de informação específica (depende da profundidade do estudo). De facto, em muitos casos, é possível dispor das referidas relações de entrada vs saída a partir de bases de dados com a informação necessária (ver Ecoinvent, v2.1).

Estas relações de entrada vs saída para obter um determinado bem ou serviço (unidade funcional), são traduzidas em termos do uso de recursos naturais directos e recursos tecnológicos, estes últimos obtidos a partir de processos que por sua vez recorrem a outros recursos naturais directos e tecnológicos.

2.1.4.1 Dados gerais

Os dados gerais respeitam a informação que está disponível na literatura aberta, nomeadamente a massa volúmica do óleo vegetal, a distância entre locais, etc.. A distância entre locais onde se realizam os processos foi estabelecida com a ajuda de um programa disponível na Internet de ajuda ao estabelecimento de percursos (<http://www.viamichelin.pt/viamichelin/>).

2.1.4.2 Dados específicos directos

A informação específica diz respeito à descrição do processo produtivo, nomeadamente: ao rendimento da extracção de óleo a partir das sementes, à utilização de electricidade nos diferentes processos identificados, aos materiais de embalagem para a realização do empacotamento, ao uso de outros materiais auxiliares, à localização dos diferentes processos, à capacidade de transporte dos veículos envolvidos na logística, etc.. De um modo geral esta informação foi obtida a partir dos processos produtivos em estudo, de acordo com o caso de estudo considerado.

No que concerne aos materiais de empacotamento, a informação utilizada foi obtida a partir de casos de estudo disponíveis (Ribeiro, 2002)

Várias situações foram resolvidas por aproximação ou estimativa, na ausência de informação específica. Um exemplo deste caso é a alocação do serviço de empilhadores e utilização de electricidade nas centrais de distribuição.

Esta informação (intensidade de actividade) deve ser quantificada em (kg, MJ, kWh, unidades, litros)/unidade funcional referente ao processo específico (kg de sementes, litro de óleo). Naturalmente é necessário estabelecer a relação entre a unidade funcional de cada processo específico e a unidade funcional do produto de referência (ex: kg sementes/1 litro de óleo).

2.1.4.3 Esforço de transporte

O esforço de transporte diz respeito à utilização de recursos e emissões resultantes da movimentação de bens entre os diferentes locais onde ocorre o processo de transformação e distribuição. No caso da distribuição a partir dos grandes centros de distribuição até aos distribuidores ao consumidor, foi determinada uma distância média equivalente em resultado

da ponderação das distâncias das capitais de distrito por um factor relativo à utilização de óleo alimentar que é consumida por distrito, obtido por estimativa grosseira da distribuição da população portuguesa por distrito.

Para cada trajecto a realizar, o esforço de transporte (intensidade da actividade) utilizada neste trabalho é dado em termos de veículo.kilómetro (vkm)/unidade funcional referente ao processo específico. (ex: kg semente, kg de óleo, litro de óleo,).

$$\begin{aligned} \text{Intensidade de actividade} \left[\frac{\text{vkm}}{\text{unidade funcional}} \right] &= \\ &= \frac{2(\text{Distância})[\text{km}]}{(\text{Carga do veículo}) \left[\frac{\text{ton óleo}}{\text{veículo}} \right] \left(\frac{\text{L óleo}}{\text{kg óleo}} \right) \left[\frac{\text{unidade}}{\text{kg}} \right] (1000)} \end{aligned} \quad (\text{Eq. 2.1})$$

Assim, e a título de exemplo, o esforço de transporte de sementes é dado por

$$\begin{aligned} \text{Intensidade de actividade} \left[\frac{\text{vkm}}{\text{kg sementes}} \right] &= \\ &= \frac{2(\text{Distância})[\text{km}]}{(\text{Carga do veículo}) \left[\frac{\text{ton sementes}}{\text{veículo}} \right] (1000)} \end{aligned} \quad (\text{Eq. 2.2})$$

ou esforço de transporte de resíduos para reciclagem é dado por

$$\begin{aligned} \text{Intensidade de actividade} \left[\frac{\text{vkm}}{\text{unidade funcional}} \right] &= \\ &= \frac{2(\text{Distância})[\text{km}]}{(\text{Carga do veículo}) \left[\frac{\text{ton resíduos}}{\text{veículo}} \right] \left(\frac{1}{\frac{\text{massa resíduos}}{\text{palete}}} \right) \left[\frac{1}{\frac{\text{kg resíduos}}{\text{palete}}} \right] \left(\frac{\text{litros óleo}}{\text{palete}} \right) \left[\frac{\text{unidade funcional}}{\text{palete}} \right] (1000)} \end{aligned} \quad (\text{Eq. 2.3})$$

A base dados Ecoinvent apresenta as emissões e a utilização de recursos para um determinado tipo de veículo, a seleccionar de conjunto veículos, cada um dos quais com determinada capacidade de carga (ton/veículo), durante 1 km.

2.1.4.4 Bases de dados (process raw data files)

A utilização de recursos e as emissões que decorrem de alguns processos, como por exemplo a utilização de electricidade, (que por sua vez depende do país produtor), a operação dos veículos de transporte, ou a produção de sementes de girassol – exige informação adicional que ultrapassaria o âmbito do trabalho. Para tornar exequível o trabalho pode recorrer-se a bases de dados de processos, nomeadamente a que foi usada neste trabalho Ecoinvent v2.1 (acessível em <http://www.ecoinvent.org/>, sob licença de utilização).

A referência e o descritivo dos processos seleccionados a partir da base de dados Ecoinvent encontra-se no Anexo A. Alguma desta informação tem especificidade em relação à origem (país), que pode condicionar os resultados finais. Tendo em conta a informação geral disponibilizada pelo processo, foi efectuada uma selecção dos processos que pareceram mais adequados; para este efeito é necessário analisar e ponderar a informação relativa às fronteiras de cada um desses processos de modo a que não ocorresse duplicações ou faltas.

De um modo geral foram seleccionados processos que incluíam as infra-estruturas, com a excepção das infra-estruturas de transporte, que foram negligenciadas. Nesta abordagem admitiu-se como negligenciáveis as emissões resultantes dos processos de produção e manutenção dos meios produtivos (infra-estruturas fixas).

Os impactos ambientais resultantes da construção e desmantelamento das infra-estruturas de produção de produtos químicos devem ser tidos em conta, mas são geralmente de pouca importância quando comparadas com o funcionamento das infra-estruturas em si, pelo que a respectiva avaliação poderá ser feita de uma forma relativamente grosseira (ver pp16, Althaus et al., 2007).

No âmbito deste trabalho foram considerados: (a) construção da infra-estrutura (materiais, processos de construção, instalação) e (b) desmantelamento (processos de desmantelamento e disposição final da infra-estrutura) tendo em conta a capacidade de processamento ou produção anual e a vida útil da instalação.

Nos casos em que ocorre armazenamento, inclui uso do solo, construção, operação e desmantelamento, por unidade.

A base de dados Ecoinvent v2.1 apresenta uma lista de cerca de 4000 processos que o utilizador pode considerar no seu estudo. Muitos destes processos descrevem a produção de bens tecnológicos mas outros são relacionados com a utilização de recursos ambientais (recursos naturais, solo, água, atmosfera). Cada processo aparece descrito sob a forma de ficha (*raw data file*) obedecendo a um modelo apropriado de especificações relativamente ao conteúdo e à forma (em formato xml). Esta ficha está acessível e pode ser descarregada a partir do site do Ecoinvent, acessível aos utilizadores registados.

2.1.4.5 Inventário (Life Cycle Inventory)

Para cada processo considerado adequado, a ferramenta Ecoinvent oferece a possibilidade de aceder ao respectivo inventário de ciclo de vida (Life Cycle Inventory - LCI) ou seja em que todos os bens tecnológicos são convertidos em incidências ambientais ou seja utilização de recursos naturais e emissões. Este inventário é descarregado sob a forma de uma ficha em formato xml a partir do site do Ecoinvent, acessível aos utilizadores registados. Este inventário inclui a todos os recursos naturais (ex: petróleo bruto) usados para a produção dos recursos tecnológicos (ex diesel) necessários ao fabrico do bem em estudo, e naturalmente todas as emissões para a atmosfera, a água e o solo. Este inventário inclui os gases com efeito de estufa (GEE) (Green House Gases - GHG). Os referidos valores são conhecidos como factores de emissão e podem ser expressos como por exemplo kg de CH₄/(unidade, kWh, kg, MJ, vkm, etc.).

O Ecoinvent permite também a avaliação do impacto do ciclo de vida (Life Cycle Impact Assessment - LCIA) de cada processo, sob a forma de indicadores de impacto de acordo com diferentes metodologias (CML, Ecoindicador, etc).

2.1.4.6 Pegada de carbono

A pegada de carbono é calculada a partir da contribuição dos diferentes gases com efeito de estufa e do potencial de aquecimento global que cada um apresenta em relação ao CO₂. Este potencial de aquecimento global de cada gás encontra-se estabelecido pelo IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) sob a forma de factores GWP_i (Global Warming

Potential) (kg CO_{2eq}/kg GHG_i) para diferentes períodos. No presente caso foi considerado um período de 100 anos.

2.1.4.7 Responsabilidade

Tendo em vista avaliar o rigor da análise efectuada, a especificação PAS 2050 impõe o registo detalhado de todas as fontes e de todos os pressupostos utilizados na avaliação das emissões. Tendo em vista a comunicação externa da pegada de carbono, os detalhes das fronteiras, o perfil (neste caso B2B) e todas as fontes de dados devem ser adequadamente referenciados para facilitar a transparência do estudo.

2.1.5 Pressupostos do estudo

Os pressupostos considerados para a avaliação da pegada de carbono da unidade funcional incluem:

- Não houve conversão directa de solo não agrícola para solo agrícola, tendo em vista a produção de sementes de girassol, embora possa ter havido reconversão de culturas (ex. trigo) para outra cultura (neste caso girassol); neste caso não há lugar a um adicional de emissão de CO₂;
- O armazenamento directo de CO₂ nas sementes (para um período de avaliação de 100 anos) não foi considerado, pois trata-se de um bem biogénico destinado à alimentação humana (o período de mobilização de carbono é inferior a um ano);
- O uso de materiais de embalagem com origem biogénica (madeira e papel) considera-se produzido a partir de matérias primas virgens; o cartão é obtido por reciclagem.

2.1.6 Modelo operacional de cálculo da pegada de carbono

O modelo operacional utilizado para o cálculo da pegada de carbono parte da caracterização do processo produtivo global em termos dos componentes processuais, seguida da identificação e descrição de cada um desses componentes; para as diferentes intervenções ambientais associadas a cada um desses componentes recorreu-se ao uso do inventário de ciclo de vida (LCI) dado a partir da base de dados EcolInvent.

Assim, a pegada de carbono (PC) [kg CO_{2eq}/unidade funcional] do processo global (99999) é dada por

$$PC \left[\frac{\text{kg CO}_{2\text{eq}}}{\text{unidade funcional}} \right] = \sum g_k P_k \quad (\text{Eq. 2.4})$$

em que g_k é o coeficiente tecnológico relativo ao componente (ou factor) processual k (exemplo kg semente | kg óleo | L óleo | / unidade funcional) no processo global, e P_k é a pegada de carbono de cada componente processual k (kg CO_{2eq}/ kg semente | kg óleo | L óleo); ($k=9980, 9990, 10000, 10010, 10020$ a descrever na secção seguinte).

A pegada de carbono de cada componente processual k é dada por

$$P_k \left[\frac{\text{kg CO}_{2\text{eq}}}{\text{unidade funcional}} \right] = \sum x_{jk} \sum f_{ij} \text{GWP}_i \quad (\text{Eq. 2.5})$$

em que x_{jk} são os coeficientes tecnológicos relativo ao uso de recursos tecnológicos ou naturais (bens) j necessários ao processo k (exemplos: | kg fertilizante | m^3 de água | vkm de transporte | kWh electricidade | / | kg semente | kg óleo | L óleo |) determinados tendo em conta as especificidades do processo global, em que f_{ij} são os coeficientes de inventário de ciclo de vida (LCI) que reportam o uso de recursos naturais e as emissões para o ar, a água e o solo da natureza i que resultam da produção do bem tecnológico j (exemplos: | kg CO_2 | kg N_2O | kg petróleo bruto | MJ calor | m^3 ar | m^2 solo | / | kg fertilizante | m^3 de água | vkm de transporte | kWh electricidade |) determinados por recurso ao inventário de ciclo de vida através da base de dados Ecolnvent; GWP_i é o potencial de aquecimento global de certas emissões relativo ao uso de recursos naturais (resultante da conversão de solo florestal para solo agrícola ou eventualmente da destruição de solo para a construção de auto-estradas) ou da emissão de gases com efeito de estufa (kg CO_2eq/kg GEE_i) (utilização de combustíveis fósseis, emissão de metano em processos tecnológicos, uso de fertilizantes químicos, etc.), definidos de acordo com o IPCC; (exemplo: para $k=9980$, vem $j=6961, 1921, 1916, 1351, 631$ descritos no Ecolnvent conforme referido na secção seguinte).

2.2 Processo produtivo

O processo produtivo refere-se ao conjunto de operações necessárias efectuar desde a produção de sementes de girassol até ao dispor de óleo vegetal sob a forma de garrafas de PET de um litro de capacidade na prateleira do hipermercado.

As secções seguintes descrevem o procedimento, especificações e resultados da pegada de carbono relativos às diferentes operações do processo produtivo.

2.2.1 Descrição geral (99999)

O processo de produção da unidade funcional passa pela produção de sementes de girassol no Ribatejo e no Alentejo e armazenamento em silo de Beja, Portugal.

A partir de Beja as sementes são enviadas para Espanha onde são sujeitas a um processo de extracção mecânica e extracção por solvente (óleo bruto) seguida de refinação (desengomagem) com ácido dando origem ao óleo vegetal refinado de grau alimentar. O rendimento ponderal em óleo da semente de girassol é de 40 %. Do processo resulta ainda em farelo ("meal") que é usado na preparação de rações para animais. O factor de alocação de valor ao óleo é de 74,3 % (ver processo Ecolnvent 6109); o mesmo valor foi usado para ponderar a pegada de carbono do óleo cru, ou seja, foi ponderado o processo de extracção mas não o processo de refinação. A densidade do óleo é de 0,92 kg/L.

O óleo refinado é enviado para Portugal onde é sujeito a embalagem e depois a distribuição.

O processo inclui uma logística que inclui o transporte por estrada entre os diferentes locais. Para o efeito do cálculo do esforço de transporte é necessário considerar a tipologia do veículo (capacidade de carga), a carga efectivamente transportada e a distância a transportar. Os dados respeitantes ao inventário de emissões e uso de recursos são os que constam da base de dados Ecolnvent tendo em conta o processo de transporte.

A fronteira do processo global vem na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Descrição geral e fronteira do processo global (99999)

	includedProcesses	generalComment
99999	Inclui todos os processos e transportes envolvidos na disponibilização ao consumidor de óleo vegetal alimentar em garrafas PET de 1 L. A fronteira do sistema é a prateleira de um hipermercado em Portugal (B2B - business to business case).	O inventário refere-se à produção de óleo vegetal em garrafa (1 litro) a partir de sementes de girassol produzidas em Portugal.

O conjunto de processos (ou fases) considerados na análise, os respectivos factores e unidades, bem como a pegada de carbono respeitante a cada processo e ainda a componente devida exclusivamente ao transporte vêm na Tabela 2.2 e resultam dos cálculos presentes nas secções seguintes onde cada processo é escrutinado.

Tabela 2.2 – Caracterização do processo global e pegada de carbono (99999)

Unit Process Raw Data					Footprint	
Sunflower oil, packet in a 1L PET bottle, at market retail					Total	Transport
number10	name15	location16	unit17	meanValue	kg CO _{2eq} /unit	kg CO _{2eq} /unit
9980	Sunflower seeds dried, at Beja silo	PT	kg	2,30	2,2344	0,0155
9990	Sunflower oil, refined, at Sevilha oil mill	SP	kg	0,92	0,3328	0,0249
10000	Sunflower oil, packet in a 1L PET bottle, at packing mill in Setúbal.	PT	unit	1	0,1557	0,0281
10010	Sunflower oil, packet in a 1L PET bottle, at distribution centers.	PT	unit	1	0,0149	0,0125
10020	Sunflower oil, packet in a 1L PET bottle, at market retail	PT	unit	1	0,0301	0,0093
99999	Sunflower oil, packet in a 1L PET bottle, at market retail	PT	unit	1	2,7679	0,0903

2.2.2 Produção de sementes de girassol (9980)

As características do processo de produção de sementes de girassol vem dado na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Descrição do processo de produção de sementes de girassol (9980)

	includedProcesses	generalComment
9980	Este processo inclui a produção de semente de girassol no Ribatejo (A) e no Alentejo (B) em Portugal. O processo inclui a secagem da semente. Transporte da semente de girassol desde os locais A e B em Portugal até ao silo em Beja. Tratamento da semente e armazenamento no silo.	O inventário refere-se à produção de 1kg de semente girassol em Portugal. Na ausência de dados específicos foi usado o processo de produção de sementes de girassol em Espanha (Ecoinvent 6961).

O estudo considera dois locais de produção de sementes (base: semente limpa e seca: 6 % humidade): local A (Ribatejo) produz 75% da semente e local B (Alentejo) produz 25 % da semente. As sementes são depois transportadas até ao silo de Beja onde são limpas, secas e armazenadas. A logística do transporte inclui o serviço de transporte em camiões com capacidade de 25 ton de semente desde o Ribatejo até Beja (150 km); o transporte no Alentejo até ao silo em Beja é efectuado em camiões capacidade de 10 ton (20 km).

O inventário relativamente à produção agrícola de sementes de girassol foi escolhido a partir da base Ecoinvent e respeitava originalmente à produção de sementes de girassol no sul de Espanha (ver processo 6961 do Ecoinvent); este processo inclui já a secagem das sementes e armazenamento em silo, mas não faz referência ao consumo de electricidade no silo; considerou-se um valor de 1467 kWh para transportar 1,5 kton semente /dia.

O conjunto dos processos considerados relevantes no âmbito da produção de sementes de girassol vêm referidos no Anexo A.

2.2.3 Extracção e refinação do óleo de girassol (9990)

As sementes de girassol depois de serem transportadas até Pilas, Espanha, são sujeitas a um processo de esmagamento mecânico que retira uma pequena parte do óleo; a massa resultante é em seguida sujeita a um processo de extracção com um solvente orgânico (hexano), que é em seguida recuperado. O óleo cru resultante é transportado até Sevilha onde é sujeito a um processo de refinação para remoção de impurezas (ver Tabela 2.4) e depois enviado para Portugal.

Tabela 2.4 – Descrição do processo de extracção e refinação do óleo de girassol (9990)

	includedProcesses	generalComment
9990	Transporte de sementes camião de 25 ton desde o silo em Beja até Pilas (Espanha) onde ocorre extracção mecânica a frio e extracção por solvente (óleo bruto); transporte do óleo em camião de 25 ton desde Pilas até Sevilha onde ocorre a refinação (desengomagem) com ácido fosfórico e soda cáustica. O farelo ou bagaço (meal) é um subproduto destinado ao fabrico de rações animais. Os dados de consumo de materias auxiliares foram estabelecidos com base nos processos produtivos da PRIO e Ecoinvent V2.1.	O inventário refere-se à produção de 1kg de óleo refinado de semente de girassol. A densidade do óleo é de 0,92 kg/L. O processo produz um subproduto (meal) conhecido como farelo ou bagaço, que é utilizado para rações de animais. O rendimento ponderal em farelo da semente de girassol é de 60 %. Admite-se um factor de alocação económico ao óleo de 74.3%, que se considera adequado para repartir as emissões de CO2.

O rendimento do óleo de girassol é de 40 % (kg óleo refinado por kg sementes) (base: semente seca: 6 % humidade); do processo resulta 60 % de farelo (“meal”), que se destina ao fabrico de rações animais.

Carga de 25 ton de sementes a partir de Beja até Pilas (Espanha), 350km, e transporte de óleo cru para Sevilha, 100 km, 25ton

Os dados relativos à utilização de energia e materiais auxiliares no processo de extracção e de refinação foram fornecidos a partir do caso de estudo a que o grupo de estudo teve acesso. A base de dados EcoInvent não dispõe de dados específicos para a extracção de óleo de girassol; o processo 6575 (rape oil, at oil mill) da base de dados EcoInvent relativo à produção de óleo de colza pode ser considerado para efeitos de comparação. O conjunto dos processos considerados relevantes no âmbito da extracção e refinação de óleo de girassol vêm referidos no Anexo A.

2.2.4 Empacotamento do óleo de girassol (10000)

Uma vez refinado o óleo vegetal é transportado por camião cisterna de 25ton (grau alimentar) desde Sevilha até Setúbal (400km), onde se localiza a unidade de empacotamento, que tem capacidade para embalar até 25 ton/dia de óleo alimentar.

As condições gerais de realização do processo estão descritas na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Descrição do processo empacotamento do óleo de girassol (10000)

	includedProcesses	generalComment
10000	Transporte de óleo refinado de Sevilha até Setúbal em camião de 25 ton (400km). Empacotamento de óleo vegetal em unidades (garrafas) de 1 L, embaladas em caixas de cartão de 12 unidade e em paletes de 720 unidades (60 caixas) em paletes de madeira. Este processo inclui o transporte dos materiais de embalagem (). Foi considerado que o transporte interno de paletes em empilhador é equivalente a operação com veículo van <3.5t (Ecoinvent 5743), ocupado a 25%, 2,3l diesel/hora, distância equivalente a um consumo de 6l diesel/100km. As paletes são reutilizadas a 99%; as perdas vão para incineração. Os restantes materias de embalagem são virgens.	O inventário refere-se à produção de 1 litro de óleo vegetal alimentar numa embalagem de 1Litro. A produção da fábrica foi estimada em 34 paletes de óleo de girassol correspondente ao processamento de 25ton de óleo vegetal. A fronteira é a fábrica de empacotamento.

Os dados necessários ao processo de empacotamento foram retirados da literatura (ver Ribeiro, 2002), nomeadamente no que respeita às quantidades de materiais envolvidas na embalagem de uma paleta. Os dados considerados foram os seguintes:

- Densidade do óleo refinado: 0,92kg/L.
- A embalagem de 1 litro de óleo necessita de 27 gramas de plástico PET conformado sob garrafa de 1 L por processo de extrusão por sopro no local (dimensões médias de diâmetro 8 cm e 28 cm de altura); 2,5 gramas de rótulo de papel; 4,0 g plástico PEHD para o fabrico da cápsula. As garrafas são embaladas em caixas de cartão com 235 gramas, contendo 12 garrafas de 1 L de óleo (capacidade: $(4 \times 0,08) \times (3 \times 0,08) \times 0,28 = 0,021 \text{ m}^3$). Considerou-se que cada paleta é envolvida por 250g filme PEBD. Cada paleta de apresenta 25 kg de madeira e suporta 720 garrafas de 1 L de óleo ou seja 60 caixas de cartão (o volume útil estimado de uma paleta 60 caixas $\times 0,0215 + 1,2 \times 0,8 \times 0,144 = 1,42 \text{ m}^3 = 1,5 \text{ m}^3$). Assim cada paleta pesa: 14 kg cartão + 19.5 kg PET + 0.288 kg PEHD + 25 kg madeira + 662 kg óleo = 720 kg. Admitiu-se que a renovação das paletes é de 1 %.
- Serviço de uma empilhador, ocupação a 25 % durante 24 h/dia com um consumo de diesel de cerca 2,3 L/h para movimentação de materiais e paletes. Na ausência de informação mais específica, admitiu-se que o serviço de empilhador era um serviço equivalente a uma carrinha de transporte que gasta 6 L diesel/100 km a operar durante o mesmo tempo.
- Serviço de transporte de camiões com capacidade de 20 m³ de materiais de embalagem (madeira + PET + cartão + PEAD + papel) a uma distância média de 20 km (1 carga por dia em média de 25 ton de paletes de garrafas de óleo).
- A unidade de empacotamento tem potência eléctrica instalada de 20 kW, operação de 24h/dia e a produção de até 34 paletes de garrafas de óleo/dia.
- Os materiais residuais são eliminados por incineração; não foi considerado relevante o transporte dos materiais residuais.

O conjunto dos processos considerados relevantes no âmbito empacotamento de óleo de girassol vêm referidos no Anexo A.

2.2.5 Centro de distribuição (10010)

Após o empacotamento do óleo vegetal ocorre o respectivo transporte até ao centro de distribuição (plataforma logística) localizado em Azambuja, que serve o Sul e o Centro do país, e o centro de distribuição de Guardedeiras que serve o Norte do país, de acordo com uma repartição de 65% e 35%, respectivamente.

Tabela 2.6 – Descrição do processo de “distribuição em alta” do óleo de girassol (10010)

	includedProcesses	generalComment
10010	Transporte de paletes de garrafas de óleo embalado desde Setúbal até aos centros de distribuição em Azambuja e em Guardedeiras. Foi considerado que o transporte interno de paletes em empilhador é equivalente a operação, van <3.5t (Ecoinvent 5743), ocupado a 1%, 2,3l diesel/hora, distância equivalente a um consumo de 6l diesel/100km. As paletes são reutilizadas a 99%; as perdas vão para incineração. Este processo não inclui o transporte dos resíduos de embalagem para incineração (desprezável).	Foi assumido factor de alocação do óleo empacotado por centro de distribuição: 70% para Azambuja e 30% para Guardedeiras. A fronteira é o centro de distribuição.

O processo de distribuição em alta inclui:

- Serviço de transporte de camiões com capacidade de carga de 25 ton de óleo embalado em paletes. Cada paleta pesa 14 kg cartão + 19,5 kg PET + 0,288 kg PEHD + 25kg madeira + 662 kg óleo = 720 kg; o volume de uma paleta com 60 caixas com 12 garrafas cada caixa=1,5m³; uma carga são 34 paletes de óleo embalado. A distância Setúbal-Azambuja: 86 km; serviço de volta com paletes vazias); 70 % de alocação. A distância Setúbal-Guardeiras: 366 km; serviço de volta com paletes vazias); 30 % de alocação.
- Serviço de empilhador, ocupação a 1 % durante 24 h/dia com um consumo de diesel de cerca 2,3 L/h para movimentação de materiais equivalente a 34 paletes/dia de óleo alimentar. Na ausência de informação mais específica, admitiu-se que o serviço de empilhador era um serviço equivalente a uma carrinha de transporte que gasta 6 L diesel/100 km a operar durante o mesmo tempo.
- Electricidade gasta no centro de distribuição: 21 kW; operação de 24 h/dia; a distribuição de 34 paletes de óleo/dia; factor de alocação 1 %
- Aquisição de paletes novas por perdas de 1 %; distância de 25 km ao fornecedor de paletes. Os materiais residuais são eliminados por incineração; não foi considerado relevante o transporte dos materiais residuais.

O conjunto dos processos considerados relevantes no âmbito do transporte e operação de plataforma logística para a distribuição em alta de óleo de girassol vêm referidos no Anexo A.

2.2.6 Distribuição em hipermercados (10020)

A partir do grandes centros de distribuição (plataformas logísticas), é efectuado o transporte até às unidades de distribuição ao público (hipermercados)(ver Tabela 2.7). Como não foi possível dispor das quantidades transportadas até aos diferentes hipermercados, foi ponderado um modelo de distribuição que tivesse em conta a distância do centro de distribuição mais favorável a cada capital de distrito e ainda a distribuição da população por distrito. O modelo de distribuição da população foi considerado pouco rigoroso, mas suficiente para a finalidade em causa. A distância equivalente calculada entre o centro de distribuição de Azambuja e os distritos servidos do Centro e Sul foi estimada em 150km e 70% de alocação; a distância entre o centro de distribuição de Guardedeiras e os distritos do Norte servidos foi estimada em 59km e 30% de alocação. Não foi feita uma análise de sensibilidade deste modelo

Tabela 2.7 – Descrição do processo de distribuição em hipermercados do óleo de girassol (10020)

	includedProcesses	generalComment
10020	Transporte de paletes de garrafas de óleo embalado desde os centros de distribuição de Azambuja e Guardedeiras, até aos supermercados que realizam a distribuição ao consumidor. O esforço de transporte é ponderado em função do consumo de óleo vegetal por capital de distrito e por proximidade de centro de distribuição, estabelecido em função da distribuição da população por distrito. O serviço de transporte em empilhador é equivalente a operation, van <3.5t (Ecoinvent 5743), ocupado a 0,5%, 2,3l diesel/hora, distância equivalente a um consumo de 6l diesel/100km. O processo inclui o desempacotamento e colocação das embalagens de 1L nas prateleiras dos hipermercados. Este processo inclui o transporte dos materiais de embalagem para reciclagem ou incineração. As paletes são reutilizadas a 99%; as perdas vão para incineração. Os resíduos de cartão de material de embalagem são enviados para reciclagem. Os resíduos de plástico são enviados para incineração.	A fronteira do inventário é a prateleira do hipermercado.

Serviço de um empilhador, ocupação a 0,5 % durante 24 h/dia com um consumo estimado de diesel de 2,3 L/h para o serviço de movimentação de materiais equivalente a 34 paletes/dia de óleo alimentar. Na ausência de informação mais específica, admitiu-se que o serviço de empilhador era um serviço equivalente a uma carrinha de transporte que gasta 6 L diesel/100 km a operar durante o mesmo tempo.

Serviço de transporte de camiões com capacidade de carga de 25 ton de óleo embalado em paletes. Cada palete pesa 14 kg cartão + 19,5 kg PET + 0,288 kg PEHD + 25kg madeira + 662 kg óleo = 720 kg; o volume de uma palete com 60 caixas com 12 garrafas cada caixa=1,5m³; uma carga são 34 paletes de óleo embalado.

Electricidade gasta no hipermercado: 25 kW; operação de 24 h/dia; a distribuição de 34 paletes de óleo/dia; factor de alocação 0,5 %

Os materiais de embalagem de cartão são enviados na totalidade para reciclagem (unidade de reciclagem a 40 km); a incineração da totalidade do filme de plástico e das perdas de paletes de 1 % (unidade de incineração a 50 km). O transporte para reciclagem e incineração é efectuado por cargas de 6 ton em veículo com tipologia de 20ton de capacidade.

Aquisição de paletes por perdas de 1 %.

O conjunto dos processos considerados relevantes no âmbito da distribuição de óleo de girassol em hipermercados vêm referidos no Anexo A.

3 Análise de resultados

A análise de resultados respeita aos valores globais mas também à identificação desses valores em sede das diferentes fases do processo produtivo.

Deve notar-se que como o processo produtivo em estudo respeita a um bem alimentar, por si só, esse bem não contribui para reduzir ou aumentar a pegada de carbono; de facto se por um lado a produção de sementes é um sumidouro (*sink*) de CO₂, a verdade é que a curto prazo vai ser objecto de consumo e degradação para dar origem à formação (*source*) de CO₂ atmosférico.

Registe-se o facto de o processo dar origem a um subproduto com interesse para a produção de rações animais: o farelo (*meal*). Pela razão anterior foi ponderada a contribuição dos processos de produção de sementes de girassol e de extracção para a pegada de carbono do óleo vegetal. O factor de ponderação usado foi de 0,743 para o óleo de girassol, idêntico ao que a base de dados Ecoinvent apresenta para a produção de óleo de colza (6109); este factor de ponderação reflecte um valor económico relativo.

3.1 Pegada de carbono

O cálculo da pegada de carbono relativa ao processo produtivo de óleo de girassol, disponível ao consumidor sob a forma de garrafas em PET de 1 litro, desde a produção das sementes até à prateleira do supermercado (unidade funcional), permitiu concluir que são emitidos quase 2,8 kg de CO_{2eq} por cada litro de óleo vegetal, embalado em garrafas de PET, disponível ao consumidor (ver tabela Tabela 2.2). As incidências da pegada de carbono pelas diferentes fases do processo produtivo em valor absoluto vêm indicadas também na Figura 3.1 e em percentagem na Figura 3.2.

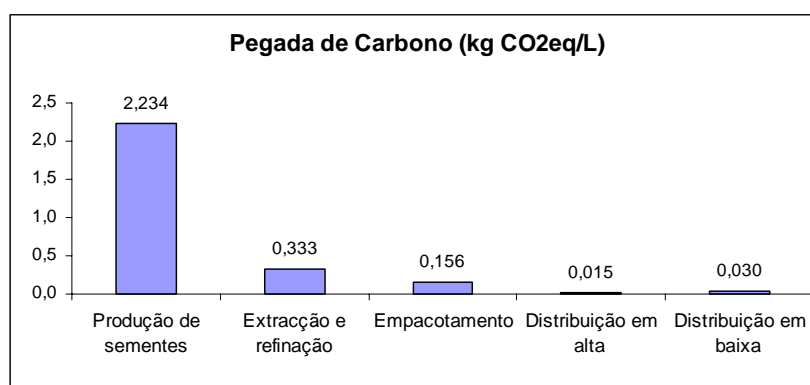


Figura 3.1 – Pegada de carbono das diferentes fases do processo produtivo

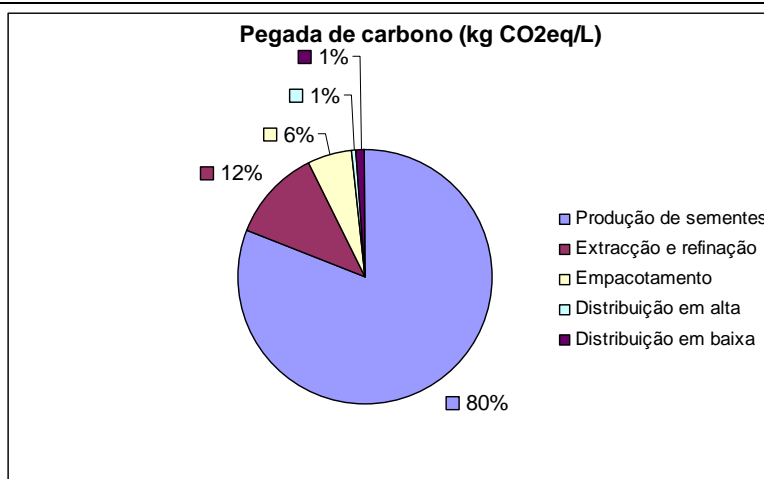


Figura 3.2– Pegada de carbono relativa das diferentes fases da produção de óleo alimentar

3.2 Análise de incidências ambientais

3.2.1 Produção de sementes de girassol

A análise dos resultados obtidos mostra que a produção agrícola de sementes de girassol é responsável pela emissão de 1,24 kgCO₂eq/kg de sementes de girassol, sendo a fase que mais contribui para a pegada de carbono do produto em estudo.

Tendo em atenção a importância global que o processo de produção de semente apresenta, foi analisado qual a repartição dos diferentes gases com efeito de estufa (GEE) na pegada de carbono. Os principais GEE são: dióxido de carbono fóssil, o óxido nitroso e o metano fóssil. A Figura 3.6 permite concluir que é o efeito da emissão de N₂O que mais contribui para a pegada de carbono (cerca de 69%). A emissão óxido nitroso para a atmosfera deve-se ao uso dos adubos químicos azotados na fertilização do solo, e resulta dos processos de desnitrificação que ocorrem no solo e na água. A presença de nitratos na água resulta da lixiviação de nitratos do solo para os rios e lençóis freáticos pela água da chuva ou de irrigação.

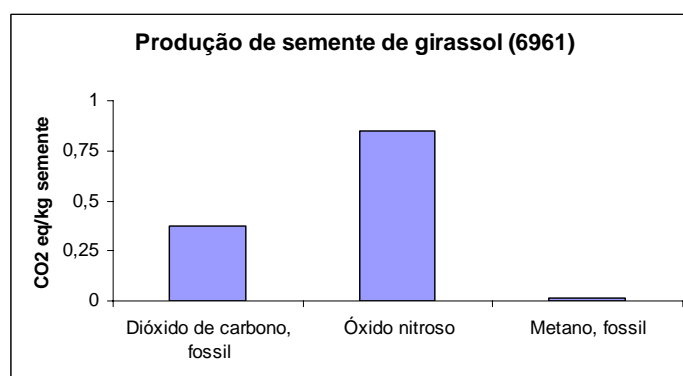


Figura 3.3 – Contribuição para a pegada de carbono dos principais GEE

3.2.2 Logística

Atendendo à localização espacial das diferentes fases envolvidas no processo produtivo (incluindo a distribuição), este está assim obrigado ao transporte das matérias primas e de processo de e para esses locais. Os serviços de transporte (logística) podem onerar significativamente o custo final do bem; contudo, sob o ponto de vista do impacte ambiental medido em termos de pegada de carbono, o serviço de logística representa cerca de 3% do processo produtivo (ver Figura 3.4).

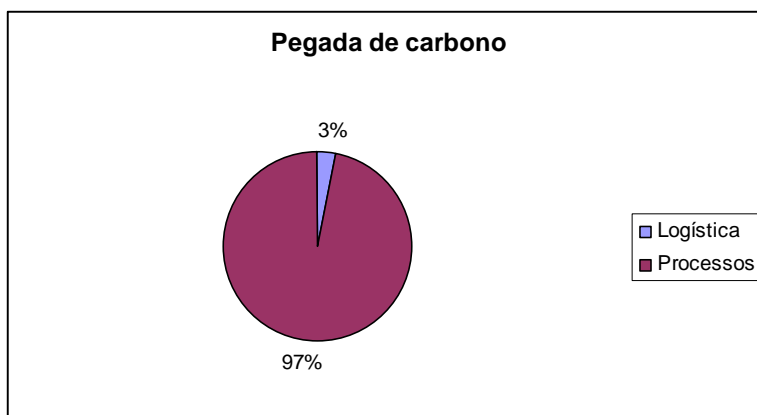


Figura 3.4 – Pegada de carbono relativa do serviço de logística

A contribuição das componentes do serviço de logística nas diferentes fases do processo produtivo podem ser observadas em termos percentuais na Figura 3.5 e em termos absolutos na Figura 3.6.

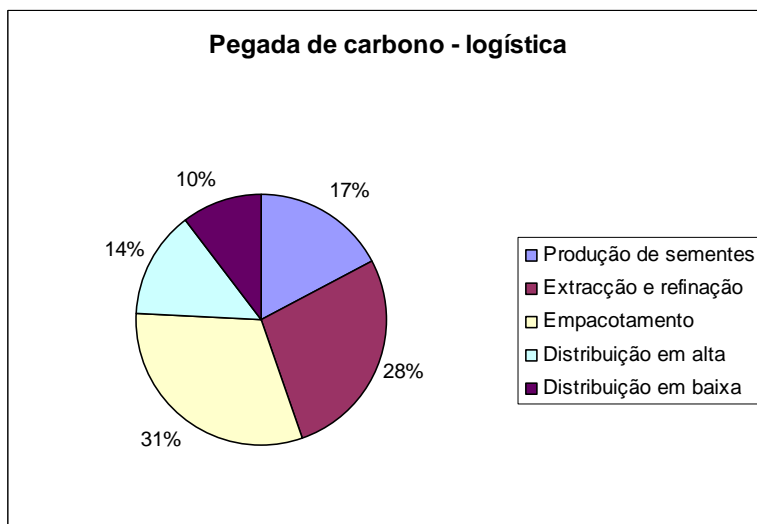


Figura 3.5 – Pegada de carbono relativa das componentes de logística nas diferentes fases do processo produtivo

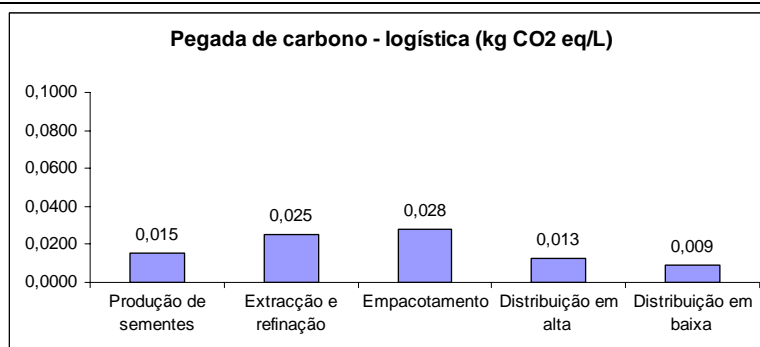


Figura 3.6 – Contribuição da actividade logística para a pegada de carbono dos diferentes processos

3.3 Estudo comparado

3.3.1 Produção de sementes

A análise das incidências ambientais em termos de pegada de carbono associadas ao processo global mostra que estas têm a ver fundamentalmente com o processo produtivo das sementes de girassol.

Para efeitos comparados foi seleccionado um processo produtivo de óleo de colza que apresenta semelhanças ao nível do processo de extração e refinação e do próprio rendimento em óleo a partir de sementes de girassol. Faz-se notar que o uso alimentar de óleo de colza é corrente nos países da Europa Central (França, Alemanha, etc.) mas não nos países da Europa do Sul.

Do conjunto de processos da base de dados Ecoinvent foi seleccionado o processo 6576 (Alemanha) relativo à produção de semente de colza. Uma análise sumária do conteúdo da Raw Data File mostra que o processo 6576 se encontra mais detalhado ao nível do uso de fertilizantes que o processo 6961, usado neste trabalho, relativo à produção de sementes de girassol em Espanha. A análise de inventário de ciclo de vida (LCI) mostra que a pegada de carbono relativa à produção de sementes de colza na Alemanha é de 1,33 kgCO₂eq/kg de sementes de colza, vindo a distribuição da pegada pelos principais gases com efeito de estufa (GEE) dada na Figura 3.7. A emissão de óxido nitroso é responsável por 60% da pegada de carbono da produção de sementes de colza.

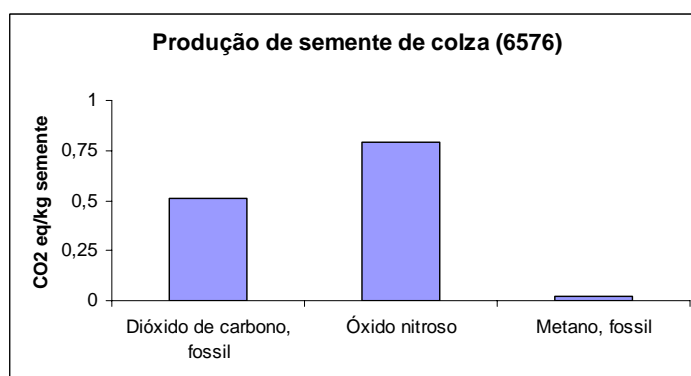


Figura 3.7 – Pegada de carbono da produção de semente de colza (DE)

Se comparamos com os resultados obtidos para a semente de girassol (ver sec.3.2.1) pode concluir-se que os resultados são coerentes entre si.

3.3.2 Processo de extracção e refinação

O base de dados Ecoinvent não dispõe de dados para a extracção e refinação de óleo de girassol. Neste trabalho considerou-se semelhança do processo de extracção entre a semente de colza e de girassol em oposição, por exemplo, ao processo de extracção de óleo de soja.

O processo da base Ecoinvent que serviu de base ao processo de extracção e refinação de óleo de girassol foi o processo 6109 (*rape oil, at oil mill*) relativo à extracção e refinação.

3.4 Melhorias processuais

Da análise das diferentes fases do processo produtivo conclui-se que é ao nível da produção agrícola que os impactos em termos da emissão de GEE mais se fazem sentir. Neste âmbito a utilização racional de fertilizantes, o uso de fertilizantes naturais ou resultantes de processos de valorização de matéria orgânica da produção pecuária, do tratamento de resíduos industriais ou urbanos (sob garantia de qualidade), novas técnicas de mobilização e cultivo do solo, uso racional da água de irrigação, controlo de estado maturação e humidade da semente, tecnologia de colheita, limpeza e secagem da semente – poderão ser ponderados e eventualmente adequados em função das condições edafo-climáticas e orográficas do local. Contudo reconhece-se que a envolvente de conhecimento necessário, relativa ao uso de recursos naturais e emissões, para caracterizar um novo processo produtivo de semente de girassol em Portugal é uma tarefa com alguma complexidade de realizar.

Ao nível do processo de extracção, as melhorias a realizar poderão ter mais a ver com uma melhor utilização da capacidade da indústria portuguesa, nomeadamente a que está associada à indústria de rações, ou seja, que poderia reduzir as distâncias de transporte.

As restantes fases de processo apresentam um impacto relativo pequeno.

4 Conclusões e recomendações

4.1 Conclusões

A produção de óleo de girassol alimentar apresentado ao consumidor em garrafas de PET de um litro de capacidade nas prateleiras de um hipermercado (unidade funcional), envolve um conjunto de fases processuais que incluem a produção agrícola das sementes de girassol em Portugal (Ribatejo e Alentejo), a extracção e refinação do óleo em Espanha, o empacotamento em Setúbal, o envio para os centros de distribuição e finalmente a distribuição pelos hipermercados do país.

A pegada de carbono é um indicador de impacto ambiental associado à emissão de gases com efeito de estufa (GEE) pelos processos produtivos, como resultado da utilização dos combustíveis fósseis directamente, electricidade, fertilizantes químicos, etc. A pegada de carbono é determinada cumulativamente a partir do inventário de ciclo de vida que é calculado a partir das contribuições de cada intervenção ambiental (uso de recursos naturais e de emissões para o solo, atmosfera e água) de cada fase processual.

Para o efeito do cálculo da pegada de carbono relativa à unidade funcional considerada, foi efectuada uma identificação das diferentes fases processuais e dos diferentes meios/recursos tecnológicos e naturais usados nas diferentes fases do processo produtivo. Os dados relativos à composição do empacotamento foram definidos a partir da bibliografia disponível. Outros factores de processo ainda foram obtidos por estimativa (distâncias) ou arbitrados (consumos de energia na distribuição, etc.) Os restantes factores de processo foram definidos a partir da informação disponibilizada pela base de dados EcolInvent.

O resultado obtido para a pegada de carbono é de cerca 2,8 kg de CO_{2eq} por cada litro de óleo vegetal embalado em garrafas de PET disponível ao consumidor. A distribuição da pegada de carbono calculada para as diferentes fases do processo produtivo é dada na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Pegada de carbono total e dos transportes relativa a um litro de óleo alimentar

Processo	PG (kg CO ₂ /L óleo)	
	Total	Transporte
Produção de sementes	2,234	0,015
Extracção e refinação	0,333	0,025
Empacotamento	0,155	0,028
Distribuição em alta	0,015	0,013
Distribuição em baixa	0,030	0,009
Total	2,767	0,090

A análise dos resultados obtidos mostra que a principal incidência da emissão de gases com efeito de estufa está ligada ao processo produtivo da semente de girassol.

4.2 Limitações

As pesquisas efectuadas não permitiram encontrar estudos sobre o mesmo produto que possam ser usados para comparar com o valor obtido, como recomendado (de acordo com a PAS2050 de 2008).

O estudo apresentado não inclui análise de sensibilidade, mas relembra-se que o âmbito do estudo incluía a pesquisa e ensaio de uma metodologia de cálculo de pegada de carbono. Esta metodologia foi implementada em folha de cálculo (Excel) com base no caso de estudo a que foi possível ter acesso, com base na informação bibliográfica disponível, com base na base de dados EcoInvent e ainda em estimativas realizadas.

Em rigor este o estudo deveria ter em conta as diferentes infra-estruturas ao nível da construção e da manutenção. Admite-se que este efeito não tenha sido considerado no âmbito deste estudo, partindo-se do princípio de que o impacto é comparativamente pequeno, pelo que a aproximação realizada teria cabimento, no âmbito da aplicação da norma.

Os estudos de análise de ciclo de vida são muito condicionados pela qualidade, abundância e natureza da informação disponível. Durante a realização do estudo foi notório que a qualidade da informação dos processos presentes na base de dados EcoInvent não é toda idêntica, parecendo que alguns processos estão incompletos e eventualmente com erros.

O uso da informação transposta de outros locais ou a actualização da informação (o mix de energia eléctrica está sempre a variar não aparecendo reportado o ano relativamente ao qual foi calculada) deverão ser tidos em conta.

4.3 Recomendações

Recomenda-se o uso dos resultados obtidos para a finalidade essencial ou seja, através do conhecimento obtido possibilitar identificar as principais oportunidades de melhoria do desempenho ambiental do ciclo de vida do óleo alimentar.

Referências

- [1] PUBLICLY AVAILABLE SPECIFICATION - PAS 2050:2008, Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services, BSI - British Standards, Carbon Trust, DEFRA, (2008), UK, ISBN 978 0 580 50978 0.
- [2] BSI, Guide to PAS 2050 How to assess the carbon footprint of goods and services, BSI - British Standards, (2008), Carbon Trust, DEFRA, (2008), UK, ISBN 978-0-580-64636-2. <http://www.bsigroup.com/en/Standards-and-Publications/Industry-Sectors/Energy/PAS-2050/>.
- [3] Life Cycle Assessment (LCA) - A guide to approaches, experiences and information sources. Environmental Issues Series no. 6, European Environment Agency, 1997.
- [4] Rolf Frischknecht and Gerald Rebitzer, The ecoinvent database system: a comprehensive web-based LCA database, Journal of Cleaner Production 13 (2005) 1337e1343
- [5] NP EN ISO 14040:1997. "Gestão Ambiental. Avaliação de Ciclo de Vida. Princípios e enquadramento". Versão Portuguesa, Norma Europeia. 2005. ISO International Organization for Standardization.
- [6] Ribeiro, P., J., T., "Embalagens de bens alimentares: contributos para a definição de políticas eco-eficientes em Portugal", 2002, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia e Gestão de Tecnologia, Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico.
- [7] Althaus, H.J., Hischier, R., Osses, M., Primas, A., Hellweg, S., Jungbluth, N., and Chudacoff, M., "Life Cycle Inventories of Chemicals - Ecoinvent report No.8", Dübendorf, Dez 2007.

Sites visitados

<http://www.ecoinvent.org/>

<http://www.ipcc.ch>

http://www.viamichelin.pt/viamichelin/por/htm/hme/Homepage_lite.htm

Licenças

Este trabalho foi realizado ao abrigo da licença de uso da base de dados Ecoinvent (inv No.55409), detida pela Universidade de Aveiro em nome individual do autor deste trabalho.

Anexo A – Especificações gerais dos processos Ecoinvent v2.1

A1 – Produção de sementes de girassol

Unit Process Raw Data		
sunflower conventional, Castilla-y-Leon, at farm		
	includedProcesses	generalComment
6961	The inventory includes the processes of soil cultivation, sowing, weed control, fertilisation, pest and pathogen control, harvest and drying of the grains. Machine infrastructure and a shed for machine sheltering is included. Inputs of fertilisers, pesticides and seed as well as their transports to the regional processing center (10km) are considered. The direct emissions on the field are also included.	Inventory refers to the production of 1 kg sunflower IP, at farm with a moisture content of 6% Fresh matter yield/ha at 6 %moisture is 3151 kg.

A2 – Veículo de transporte de 25 toneladas

Unit Process Raw Data		
operation, lorry 20-28t, fleet average		
	includedProcesses	generalComment
1921	Fuel consumption is included. Direct airborne emissions of gaseous substances, particulate matters and heavy metals are accounted for. Particulate emissions comprise exhaust- and abrasions emissions. Heavy metal emissions to soil and water caused by tyre abrasion are included as well.	Average data for the operation of an average Swiss lorry (fleet average) in the year 2005, comprising various emission technologies.

A3 – Veículo de transporte de 10 toneladas

Unit Process Raw Data		
operation, lorry 3,5-20t, fleet average		
	includedProcesses	generalComment
1916	Fuel consumption is included. Direct airborne emissions of gaseous substances, particulate matters and heavy metals are accounted for. Particulate emissions comprise exhaust- and abrasions emissions. Heavy metal emissions to soil and water caused by tyre abrasion are included as well.	Average data for the operation of an average Swiss lorry (fleet average) in the year 2005, comprising various emission technologies.

A4 – Produção de ácido fosfórico

Unit Process Raw Data		
phosphoric acid, industrial grade, 85% in H2O, at plant		
	includedProcesses	generalComment
311	Raw materials, processing chemicals and processing energy, direct emissions to water from process, disposal of solid process waste to landfill and of spent solvent to incineration, estimations on of raw materials transport to the plant, approximation process for infrastructure. Average phosphoric acid production from wet phosphate rock with the dihydrate process in the United States (Florida) and from dry phosphate rock with the dihydrate process in Morocco as resource considered.	Data includes concentration of acid after purification to 85% H3PO4 content. Estimations made on the type and amount of solvents used. Composition of solid production wastes calculated with average content of crude phosphoric acid.

A5 – Produção de hexano

Unit Process Raw Data		
hexane, at plant		
	includedProcesses	generalComment
6120	Molecular sieve separation of naphta including materials, energy uses, infrastructure and emissions.	The multi output-process "naphta, to meolecular sieve separations" delivers the co-products hexane, heptane, 2,3-dimethylbutane, 2-methylpentane, methylcyclopentane, 1,1-dimethylcyclopentane, methylcyclohexane, fraction 1 from naphta, fraction 7 from naphta, and fraction 8 from naphta. The all location is based on mass balance.

A6 – Produção de soda cáustica

Unit Process Raw Data		
soda, powder, at plant		
	includedProcesses	generalComment
235	Manufacturing process by means of the Solvay technique is considered, including the consumption of raw materials, auxiliaries, energy, infrastructure and land use, as well as ransport of the raw materials, auxiliaries and wastes. The system also includes the generation of wastes and emissions into air and water. Transport and storage of the final product soda are not included. No byproducts or coproducts are considered. Transcient or unstable operations are not considered, but the production during stable operation conditions. Emissions to air are considered as emanating in a high population density area. Emissions into water are assumed to be emitted into rivers. Solid wastes are assumed to be sent to landfill. Most data are from a German study based on meassurements in two German plants. A Finnish study bases also on data from one plant, but no background information about the data is available. The other sources are literature data and estimations. Highest value is taken (conservative criterion). Inventory refers to 1 kg 100%soda, powder, at plant. The production of light soda is considered; the process to obtain heavy soda from light soda is not included.	The multioutput process "soda production, Solvay process, at plant" delivers the co-products "soda, powder, at plant" and "calcium chloride, CaCl ₂ , at plant". An allocation to the two products is done by using the prices, resulting in soda 33%and calcium chloride 67%

A7 – Produção de electricidade na rede de média voltagem em Espanha

Unit Process Raw Data		
electricity, medium voltage, production ES, at grid		
	includedProcesses	generalComment
645	Included are the electricity production in Spain, the transmission network and direct SF ₆ -emissions to air. Electricity losses during medium-voltage transmission and transformation from high-voltage are accounted for.	This dataset describes the transformation from high to medium voltage as well as the transmission of electricity at medium voltage.

A8 – Produção de calor por combustão de gás natural

Unit Process Raw Data		
heat, natural gas, at industrial furnace >100kW		
	includedProcesses	generalComment
1351	The module calls the module 'natural gas, burned in industrial furnace >100kW' which in turn includes fuel input from high pressure (REF) network, infrastructure (boiler), emissions, and electricity needed for operation. The module uses the average net efficiency for the type of boiler (estimated from literature). The heat distribution is not included.	-

A9 – Produção de tereftalato de polietileno granulado

Unit Process Raw Data		
polyethylene terephthalate, granulate, bottle grade, at plant		
	includedProcesses	generalComment
1828	Average data for the production of bottle grade PET out of ethylene glycol, PTA and amorphous PET. The data include material and energy input, waste as well as air and water emissions. Missing sum parameters to water (DOC, TOC, COD), transport and infrastructure are estimated.	Data are based on the average unit process from the Eco-profiles of the European plastics industry

A10 – Produção de papel

Unit Process Raw Data		
paper, woodcontaining, LWC, at plant		
	includedProcesses	generalComment
1715	This module includes the European production of LWC paper - including transports to paper mill, wood handling, mechanical pulping and bleaching, deinking of waste paper, paper production, energy production on-site and internal waste water treatment. Not included is the transport of waste paper to the mill, as this is already included in the used waste paper datasets.	-

A11 – Produção de electricidade na rede de baixa voltagem em Portugal

Unit Process Raw Data		
electricity, low voltage, production PT, at grid		
	includedProcesses	generalComment
631	Included are the electricity production in Portugal, the transmission network as well as direct SF6-emissions to air. Electricity losses during low-voltage transmission and transformation from medium-voltage are accounted for.	This dataset describes the transformation from medium to low voltage as well as the distribution of electricity at low voltage.

A12 – Produção de polipropileno granulado

Unit Process Raw Data		
polypropylene, granulate, at plant		
	includedProcesses	generalComment
1834	Aggregated data for all processes from raw material extraction until delivery at plant	Data are from the Eco-profiles of the European plastics industry (PlasticsEurope). Not included are the values reported for: recyclable wastes, amount of air / N2 / O2 consumed, unspecified metal emission to air and to water, mercaptan emission to air, unspecified CFC/HCFC emission to air, dioxin to water. The amount of "sulphur (bonded)" is assumed to be included into the amount of raw oil.

A13 – Produção de paletes de madeira

Unit Process Raw Data		
EUR-flat pallet		
	includedProcesses	generalComment
2526	Includes only the materials and not the process of construction. The examined system is from gate to gate and as in most cases the pallets have a long life-span the waste treatment is not included. It must be included in the packing module	Module includes only materials (no production process) and should only be used for the packing and transportation of products.

A14 – Produção de caixas de cartão

Unit Process Raw Data		
corrugated board, recycling fibre, double wall, at plant		
	includedProcesses	generalComment
1691	This module includes the production of corrugated board out of the corrugated base papers. The following steps are included: energy production, corrugated board production itself, waste water treatment.	(1,2,1,1,3,2); from average European data for board & box production (FEFCO)+D55

Unit Process Raw Data		
production of carton board boxes, gravure printing, at plant		
	includedProcesses	generalComment
1700	This module includes the production of boxes out of cartonboard. It contains the steps of cutting, folding and printing with a gravure machine and therefore inks and glues are considered as well as the electricity consumption.	The input of cartonboard is not included into this module allowing the user to establish its own cartonboard boxes. Per kg of used cartonboard, 0.80 kg of this module are needed.

A15 – Produção de filme de embalagem

Unit Process Raw Data		
packaging film, LDPE, at plant		
	includedProcesses	generalComment
1854	This process contains the plastic amount and the transport of the plastic from the production site to the converting site as well as the dataset "extrusion, plastic film"	Example process for the utilization of the different converting modules in the database.

A16 – Transporte de paletes com empilhador

Unit Process Raw Data		
operation, van < 3,5t		
	includedProcesses	generalComment
5743	Fuel consumption is included. Direct airborne emissions of gaseous substances, particulate matters and heavy metals are accounted for. Particulate emissions comprise exhaust- and abrasions emissions. Hydrocarbon emissions include evaporation. Heavy metal emissions to soil and water caused by tyre abrasion are accounted for.	Average data for the operation of an average van (fleet average) in Europe in the year 2005, comprising various emission technologies

A17 – Incineração de madeira

Unit Process Raw Data		
disposal, wood untreated, 20% water, to municipal incineration		
	includedProcesses	generalComment
2130	waste-specific air and water emissions from incineration, auxiliary material consumption for flue gas cleaning. Short-term emissions to river water and long-term emissions to ground water from slag compartment (from bottom slag) and residual material landfill (from solidified fly ashes and scrubber sludge). Process energy demands for MSWI.	Inventoried waste contains 100% natural wood; waste composition (wet, in ppm): upper heating value 15.36 MJ/kg; lower heating value 13.99 MJ/kg; H ₂ O 174080; O 372180; H 50163; C 401470; S 125.51; N 986.98; P 108.97; B 2.1107; Cl 330.95; Br n.a.; F 21.106; I n.a.; Ag n.a.; As 0.42213; Ba n.a.; Cd 0.20051; Co 0.086772; Cr 0.65782; Cu 4.1482; Hg 0.31976; Mn 53.118; Mo 0.8302; Ni 0.55581; Pb 27.868; Sb n.a.; Se n.a.; Sn n.a.; V n.a.; Zn 17.807; Be n.a.; Sc n.a.; Sr n.a.; Ti n.a.; Tl n.a.; W n.a.; Y n.a.; Fe 15.479; Ca 130.89; Al 6.3322; K 65.412; Mg 197.56; Na 14.071; Share of carbon in waste that is biogenic 100% Share of iron in waste that is metallic/recyclable 0% Net energy produced in MSWI: 1.3MJ/kg waste electric energy and 2.74MJ/kg waste thermal energy. Allocation of energy production: no substitution or expansion. Total burden allocated to waste disposal function of MSWI. One kg of this waste produces 0.004126 kg of slag and 0.001698 kg of residues, which are landfilled. Additional solidification with 0.0006793 kg of cement.

A18 – Reciclagem de cartão

Unit Process Raw Data		
paper, recycling, no deinking, at plant		
	includedProcesses	generalComment
1713	This module includes the European recycling paper production without a deinking step - including pulping of waste paper, paper production, energy production on-site, internal waste water treatment and transports of the auxiliaries to the paper mill. Not included is the transport of waste paper to the mill, as this is already included in the used waste paper datasets.	-

A19 – Incineração de polietileno

Unit Process Raw Data		
disposal, polyethylene, 0.4% water, to municipal incineration		
	includedProcesses	generalComment
2114	waste-specific air and water emissions from incineration, auxiliary material consumption for flue gas cleaning. Short-term emissions to river water and long-term emissions to ground water from slag compartment (from bottom slag) and residual material landfill (from solidified fly ashes and scrubber sludge). Process energy demands for MSWI.	Inventoried waste contains 100%PE; waste composition (wet, in ppm): upper heating value 42.82 MJ/kg; lower heating value 42.47 MJ/kg; H ₂ O 4000; O 38435; H 122490; C 822050; S 426.9; N 1297.2; P n.a.; B n.a.; Cl 1461.5; Br 9.5896; F 14.384; I n.a.; Ag n.a.; As 1.822; Ba 239.74; Cd 33.946; Co 1.6782; Cr 12.466; Cu 41.367; Hg 0.047948; Mn 30.047; Mo n.a.; Ni 0.95896; Pb 22.596; Sb 10.069; Se 2.0138; Sh 3.814; V 2205.6; Zn 342.01; Be 0.47948; Sc n.a.; Sr 84.868; Ti 958.96; Tl 0.38358; W n.a.; Y n.a.; Fe 1534.3; Ca 2589.2; Al 191.79; K n.a.; Mg 95.896; Na 1405.4; Share of carbon in waste that is biogenic 0% Share of iron in waste that is metallic/recyclable 0% Net energy produced in MSWI: 5MJ/kg waste electric energy and 10.02MJ/kg waste thermal energy Allocation of energy production: no substitution or expansion. Total burden allocated to waste disposal function of MSWI. One kg of this waste produces 0.01917 kg of slag and 0.005762 kg of residues, which are landfilled. Additional solidification with 0.002305 kg of cement.

A20 – Produção de óleo de colza (factores de produção)

rape oil, at oil mill		
	includedProcesses	generalComment
6575	This process includes the transport of rape seeds to the mill, and the processing of the seeds to rape oil and rape meal. The oil extraction refers to the solvent extraction technique. System boundary is at the oil mill.	Inventory refers to the production of 1 kg rape oil, respectively rape meal. The multioutput-process 'rape seeds, in oil mill' delivers the co-products 'rape oil, at oil mill' and 'rape meal, at oil mill'. Economic allocation with allocation factor of 74.3% to rape oil. Allocation is done according to carbon balance for CO ₂ emissions.

A21 – Produção de sementes de colza (factor de alocação)

rape oil, at oil mill		
	includedProcesses	generalComment
6109	This process includes the transport of rape seeds to the mill, and the processing of the seeds to rape oil and rape meal. The oil extraction refers to the cold-press extraction technique. System boundary is at the oil mill.	Inventory refers to the production of 1 kg rape oil, respectively rape meal. The multioutput-process 'rape seeds, in oil mill' delivers the co-products 'rape oil, at oil mill' and 'rape meal, at oil mill'. Economic allocation with allocation factor of 74.3% to rape oil. Allocation is done according to carbon balance for CO ₂ emissions.