



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Avaliação de Ciclo de Vida da castanha e do tomate em Portugal

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia
do Ambiente na Especialidade de Tecnologia e Gestão do Ambiente

Autor

Diana Filipa Marques Rosa

Orientador

Fausto Miguel Cereja Seixas Freire

Coorientador

Filipa Daniela Francisco de Figueiredo

Júri

Presidente	Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar
Vogal	Professor Doutor António Rui de Almeida Figueiredo
Orientador	Professor Doutor Fausto Miguel Cereja Seixas Freire

Coimbra, Setembro, 2014

Agradecimentos

A concretização desta tese de mestrado marca a conclusão de uma importante etapa da minha formação académica e da minha vida. Por essa razão, desejo expressar os meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que me auxiliaram, direta ou indiretamente, a cumprir os meus objetivos e a tornar a realização deste trabalho possível.

Ao Professor Doutor Fausto Freire, orientador desta dissertação, agradeço o seu apoio, a partilha do saber e as valiosas críticas e opiniões que enriqueceram este trabalho. Obrigado pelo nível de exigência aplicado, que me compeliu a esforçar-me mais e a desenvolver as minhas capacidades.

À Filipa Figueiredo, investigadora do Centro para a Ecologia Industrial (CIE), pela sua total disponibilidade, colaboração e conhecimentos transmitidos.

Manifesto um sentido e profundo reconhecimento aos meus pais e à restante família próxima, pelo apoio incondicional, incentivo, amizade e paciência demonstrados ao longo destes anos.

Não podia deixar de agradecer aos amigos, os que fiz ao longo do percurso académico e os de infância que de alguma forma me apoiaram e incentivaram.

Ao Philip, um agradecimento especial pelo apoio e afeto, pela transmissão de confiança e de força, por me fazer acreditar nas minhas capacidades e que triunfaria no final desta difícil e gratificante etapa.

Agradeço aos projetos EcoDeep – Eco-Eficiência e a Eco-Gestão no sector Agro-Industrial (FCOMP-05-0128-FEDER-018643) e EMSURE – Energia e Mobilidade para Regiões Sustentáveis (CENTRO-07-0224-FEDER-002004) a decorrerem no Centro para a Ecologia Industrial (CIE), pela facultação dos dados imprescindíveis à realização desta dissertação. Agradeço também ao CIE pelas excelentes condições de trabalho e colaboração prestadas.

Mais uma vez, a todos os meus sinceros agradecimentos.

Resumo

A presente dissertação teve como principal objetivo avaliar o desempenho ambiental de ciclo de vida do tomate e da castanha em Portugal, pela aplicação da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Foram desenvolvidos modelos e inventários de CV para os produtos em estudo.

Relativamente à castanha foram considerados três produtores no norte de Portugal (Produtor 1, 2 e 3). Foi analisada uma fábrica de processamento com duas linhas de produção distintas (castanha para consumo em fresco e castanha congelada) e um tipo de embalagem (saco de PEBD). Quanto ao transporte, foi estudada a exportação para o Brasil (de avião e barco) e para França (de camião e avião), e também o transporte nacional para Lisboa e Faro (de camião). As unidades funcionais (UFs) escolhidas para a ACV da castanha foram um quilograma de castanha para consumo em fresco e um quilograma de castanha congelada, embalada e transportada até à plataforma logística.

No que diz respeito à ACV do tomate foram analisados cinco produtores de tomate em campo aberto (Produtor A, B, C, D e E) e foram comparados quatro tipos de processamento (polpa, concentrado, tomate cortado e tomate pelado). Quanto à embalagem foram comparados quatro tipos (frasco de vidro de 0,5 L e de 1 L, lata de 0,4 kg e pacote TR 390 mL). Foi também modelada a exportação para Inglaterra e para a Alemanha (comparando o transporte em avião e em camião), e o transporte nacional para o Porto e para Faro (em camião). A unidade funcional selecionada para a ACV do tomate foi uma tonelada de tomate processado, embalado e transportado até à plataforma logística.

A avaliação de impactes do ciclo de vida (AICV) foi realizada com recurso aos métodos CML2001 e ReCiPe. Foram identificadas as fases de CV críticas e os processos com maior contribuição para os impactes ambientais.

Da ACV da castanha concluiu-se que os impactes do cultivo provém essencialmente da produção e aplicação de fertilizantes e pesticidas, sendo o produtor com impactes ambientais superiores o P3[2010]. As emissões do cultivo para o aquecimento global variaram entre 0,37 e 3,26 kg CO₂ eq/kg_{castanha}, estando esta diferença associada às variações de produtividade. Quanto ao processamento, a linha de congelação obteve impactes superiores à linha de fresco em todas as categorias de impacte. Isto deve-se aos superiores consumos de energia, principalmente de eletricidade (o consumo de eletricidade representa 57-96% do impacte nas diversas categorias). Quanto ao ciclo de vida completo, a exportação para o Brasil em avião apresentou impactes ambientais mais elevados devido ao transporte de avião. Verificou-se que o cultivo da castanha foi a fase de CV com impactes mais elevados (47-94%), com exceção do cenário de exportação em avião para o Brasil e do cenário de exportação em avião para Marselha para a depleção abiótica, o aquecimento global e a depleção da camada de ozono. Para o aquecimento global os impactes associados ao ciclo de vida completo variaram entre 2 e 16,2 kg CO₂ eq/kg_{castanha}.

Em relação às conclusões da ACV do tomate verificou-se que os produtores com impactes no cultivo mais elevados são P[C] e P[D], devido principalmente aos elevados consumos de energia (eletricidade e gásóleo) e à produção e aplicação de fertilizantes e pesticidas. Para o aquecimento global, as emissões da fase do cultivo do tomate variaram entre 35 kg CO₂ eq/t_{tomate} para P[A] e 80 kg CO₂ eq/t_{tomate} para P[C]. Na análise ao processamento concluiu-se que os tipos de processamento com impactes mais elevados são o fabrico de concentrado de tomate (devido aos elevados consumos de gás natural) e de tomate pelado (devido ao consumo de eletricidade). Verificou-se que o frasco de vidro de 0,5 L é a embalagem com impactes superiores (para todas as categorias com exceção da toxicidade humana, ecotoxicidade de água doce e ecotoxicidade marinha em que é a lata de 0,4 kg), e o pacote tetra é a embalagem com impactes inferiores (com exceção da depleção da camada de ozono). Por fim, na análise ao ciclo de vida completo do tomate, verificou-se que os impactes mais relevantes foram para o transporte de avião até Berlim e os impactes mais reduzidos para o transporte nacional para o Porto. A embalagem apresentou os impactes de CV superiores (com exceção da exportação em avião, dos cenários de transporte em camião nas categorias aquecimento global e oxidação fotoquímica, e do cenário de exportação ‘Berlim Camião’ para a depleção abiótica e a eutrofização). Para os cenários de exportação, o cultivo foi a fase de CV que apresentou impactes inferiores nas categorias depleção abiótica, aquecimento global, depleção da camada de ozono e oxidação fotoquímica, sendo que para as restantes categorias foi o processamento. Para o tomate distribuído a nível nacional os impactes de CV mais reduzidos provieram do transporte. Em pormenor para o Aquecimento Global as emissões de GEE de CV completo variaram de 1116 a 7367 kg CO₂ eq/t_{tomate}.

Quanto ao cultivo da castanha e do tomate, verifica-se que para as categorias toxicológicas os consumos energéticos não representam uma contribuição significativa, contrariamente ao verificado nas restantes categorias analisadas. Para as toxicológicas, as principais contribuições devem-se essencialmente à produção e aplicação de fertilizantes e pesticidas.

De um modo geral, e excetuando os cenários de exportação em que o transporte é a fase de CV com maiores impactes ambientais, verifica-se que as fases que mais contribuem para os impactes ambientais de CV são diferentes para o tomate e a castanha. Para o tomate, o cultivo não aparece como a fase de CV com impactes ambientais mais relevantes devido às elevadas produtividades apresentadas.

Ao analisar os meios de transporte propostos conclui-se que o avião apresenta impactes ambientais mais elevados para ambos os produtos estudados, devido principalmente aos elevados consumos de combustível.

Palavras-chave: Avaliação de ciclo de vida, tomate, castanha, impactes ambientais, cultivo, processamento, embalagem, transporte.

Abstract

This thesis aimed to assess the environmental performance of the life cycle of tomatoes and chestnuts in Portugal, by the application of Life Cycle Assessment (LCA) methodology. Life cycle models and inventories were developed. Regarding chestnut, three producers in northern Portugal were considered (Producers 1, 2 and 3). A processing factory with two distinct production lines (fresh chestnut and frozen chestnut) and LDPE bag packaging were analysed. Regarding the transportation phase, exports to Brazil and France, as well as the national transfers to Lisbon and Faro were studied. The functional unit (FU) chosen for the chestnut LCA was 1 kg of chestnuts. Concerning the tomato LCA, five open field tomato growers were analysed (Producers A, B, C, D and E) and four types of processing (tomato puree, tomato paste, diced tomatoes and peeled tomatoes) were compared. As for packaging, four types (1 L and 0.5 L glass bottles, 0.4 kg can and 390 mL carton) were compared. Exports to England and Germany as well as the national transfers to Porto and Faro were also modelled. The functional unit (FU) selected for the LCA tomato was 1 ton of tomatoes. The life cycle impact assessment (LCIA) was performed with CML2001 and Recipe methods. The life cycle's most critical phases and the processes with greater contributions to the environmental impacts were identified.

The chestnut LCA concluded that cultivation impacts derived mostly from the production and application of fertilizers and pesticides, and that the producer with higher environmental impacts was P3 [2010]. The contribution to global warming from cultivation ranged between 0.37 and 3.26 kg CO₂ eq/kg_{chestnut}. Regarding the processing phase, the impact of the frozen line was superior to the fresh one in all impact categories, which is due to the higher consumption of energy, mainly electricity (57-96%). As for the complete life cycle analysis, exports to Brazil by plane showed higher environmental impacts due to transport by plane. It was found that the cultivation was the LC phase with higher impacts (47-94%), except for the scenario of exports to Brazil by plane and the scenario of exports to Marseille by plane for abiotic depletion, global warming and depletion of the ozone layer. The results of the analysis of the complete LC show that the emissions contributing to global warming range between 2 and 16.2 kg CO₂ eq/kg_{chestnut}.

The LCA for tomato showed that the producers with higher cultivation impacts were P[C] and P[D]. The impact of these producers was caused mainly by energy consumption (electricity and diesel) and fertilizer application (and its emissions). Emission contributions to global warming from cultivation ranged between 35-80 kg CO₂ eq/t_{tomato}. In the analysis regarding processing it is concluded that the types of processing with larger impacts are the manufacture of tomato concentrate (from the high consumption of natural gas) and peeled tomatoes (from the consumption of electricity). It was found that the packaging with higher impacts was the glass bottle of 0.5 L (for all categories except human toxicity, freshwater

ecotoxicity and marine ecotoxicity which was the can of 0.4 kg), and the packing with lower impacts was tetra pack (except for ozone layer depletion). Finally, in the complete LC analysis it was found that the impacts were most relevant for transportation by airplane to Berlin and the impacts were lower for national transport to Porto. The packaging showed the highest LC impacts (except for exports by plane, truck transportation scenarios for global warming and photochemical oxidation and exports scenario 'Berlin by truck' for abiotic depletion and eutrophication). For exports scenarios the cultivation was the LC phase that showed the lower impacts in the categories abiotic depletion, global warming, depletion of the ozone layer and photochemical oxidation, whereas for the other categories it was processing. For tomatoes distributed in Portugal the lower LC impacts came from the transportation phase. The results of the analysis to the whole LC show that the total emissions to global warming ranged from 1116 to 7367 kg CO₂ eq/t_{tomato}.

Regarding chestnut and tomato cultivation it was verified that for the toxicological categories the energy consumption does not represent a significant contribution, in opposition to the other categories analysed. For toxicological categories the major contributions were the production and application of fertilizers and pesticides.

In general, with exception to the export scenarios in which transport was the phase of CV with major environmental impacts, it was apparent that the phases that contributed most to the environmental impacts of LC differed depending on the production system (tomato and chestnut). For tomato the cultivation did not appear as the LC phase with the most relevant environmental impacts due to the high productivities presented.

From the analysis of the transportation methods it was concluded that the airplane had higher environmental impacts for both products, mainly due to a higher fuel consumption.

Keywords Life cycle assessment, tomato, chestnut, environmental impacts, cultivation, processing, packaging, transport.

ÍNDICE

Índice de Figuras	viii
Índice de Tabelas.....	x
Siglas.....	xii
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e motivação	1
1.2. A castanha e o tomate.....	1
1.3. Metodologia de ACV.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.5. Estrutura da dissertação	5
2. Estado da arte: revisão e análise da literatura	6
2.1. Âmbito e objetivos.....	6
2.2. Principais resultados	12
2.2.1. Métodos de Avaliação de Impactes de CV	12
2.2.2. Emissões de GEE	14
2.3. Notas conclusivas	15
3. Modelo e inventário de cv da castanha	17
3.1. Sistema de produção da castanha, UF e fronteiras do sistema	17
3.2. Descrição das fases de CV e inventários	18
3.2.1. Cultivo.....	18
3.2.2. Processamento	21
3.2.3. Embalagem.....	22
3.2.4. Transporte.....	23
3.3. Principais simplificações e limitações.....	24
4. Modelo e inventário de CV do tomate	25
4.1. Sistema de produção do tomate, UF e fronteiras do sistema.....	25
4.2. Descrição das fases de CV e inventários	26
4.2.1. Cultivo.....	26
4.2.2. Processamento	30
4.2.3. Embalagem.....	32
4.2.4. Transporte.....	35
4.3. Principais simplificações e limitações.....	36
5. Análise e discussão dos resultados.....	37
5.1. Métodos de AICV utilizados	37
5.2. Avaliação dos impactes ambientais de ciclo de vida da castanha	37
5.2.1. Cultivo.....	38
5.2.2. Processamento	40
5.2.3. Transporte.....	42
5.3. Avaliação dos impactes ambientais de ciclo de vida do tomate.....	44
5.3.1. Cultivo.....	44
5.3.2. Processamento	48

5.3.3. Embalagem	50
5.3.4. Transporte.....	52
5.4. Comparação com outros estudos	54
6. Conclusões.....	56
6.1. Avaliação de Ciclo de Vida da castanha e do tomate	56
6.2. Recomendações para trabalho futuro.....	58
Referências bibliográficas	60
Apêndice A - Resultados da ACV da castanha	67
Apêndice B – Resultados da ACV do tomate	70
Apêndice C – Outros estudos do tomate consultados.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Fases de uma Análise de Ciclo de Vida (Fonte: ISO 14040: 2006).....	3
Figura 3.1 - Fluxograma do modelo de ciclo de vida da castanha	17
Figura 4.1 – Fluxograma de CV do tomate	26
Figura 5.1 – Impacte ambiental por kg de castanha cultivada. [A] Depleção abiótica; [B] Aquecimento global; [C] Acidificação.	39
Figura 5.2 – Impacte ambiental por kg de castanha cultivada. [D] Eutrofização; [E] Depleção da camada de ozono; [F] Oxidação fotoquímica.	39
Figura 5.3 – Impacte ambiental por kg de castanha cultivada. [G] Toxicidade humana; [H] Ecotoxicidade terrestre.....	40
Figura 5.4 – Impacte ambiental por kg de castanha cultivada. [I] Ecotoxicidade de água doce; [J] Ecotoxicidade marinha.....	40
Figura 5.5 - Impacte ambiental por kg de castanha processada. [A] Depleção abiótica; [B] Aquecimento global; [C] Acidificação.	41
Figura 5.6 - Impacte ambiental por kg de castanha processada. [D] Eutrofização; [E] Depleção da camada de ozono; [F] Oxidação fotoquímica.	41
Figura 5.7 - Impacte ambiental por kg de castanha processada. [G] Toxicidade humana; [H] Ecotoxicidade terrestre; [I] Ecotoxicidade de água doce; [J] Ecotoxicidade marinha.....	42
Figura 5.8 - Impacte ambiental por kg de castanha transportada. [A] Depleção abiótica; [B] Aquecimento global; [C] Acidificação.	43
Figura 5.9 - Impacte ambiental por kg de castanha transportada. [D] Eutrofização; [E] Depleção da camada de ozono; [F] Oxidação fotoquímica.	43
Figura 5.10 - Impacte ambiental por kg de castanha transportada. [G] Toxicidade humana; [H] Ecotoxicidade terrestre.	44
Figura 5.11 - Impacte ambiental por kg de castanha transportada. [I] Ecotoxicidade de água doce; [J] Ecotoxicidade marinha.....	44
Figura 5.12 - Impacte ambiental por tonelada de tomate cultivado. [A] Depleção abiótica; [B] Aquecimento global; [C] Acidificação.	46
Figura 5.13 - Impacte ambiental por tonelada de tomate cultivado. [D] Eutrofização; [E] Depleção da camada de ozono; [F] Oxidação fotoquímica.	46
Figura 5.14 - Impacte ambiental por tonelada de tomate cultivado. [G] Toxicidade humana; [H] Ecotoxicidade terrestre.	47
Figura 5.15 - Impacte ambiental por tonelada de tomate cultivado. [I] Ecotoxicidade de água doce; [J] Ecotoxicidade marinha.	47
Figura 5.16 - Impacte ambiental por tonelada de tomate processado. [A] Depleção abiótica; [B] Aquecimento global; [C] Acidificação.	49

Figura 5.17 - Impacte ambiental por tonelada de tomate processado. [D] Eutrofização; [E] Depleção da camada de ozono; [F] Oxidação fotoquímica.....	49
Figura 5.18 - Impacte ambiental por tonelada de tomate processado. [G] Toxicidade humana; [H] Ecotoxicidade terrestre.....	50
Figura 5.19 - Impacte ambiental por tonelada de tomate processado. [I] Ecotoxicidade de água doce; [J] Ecotoxicidade marinha.....	50
Figura 5.20 - Impacte ambiental por tonelada de tomate embalado. [A] Depleção abiótica; [B] Aquecimento global; [C] Acidificação.	51
Figura 5.21 - Impacte ambiental por tonelada de tomate embalado. [D] Eutrofização; [E] Depleção da camada de ozono; [F] Oxidação fotoquímica.....	51
Figura 5.22 - Impacte ambiental por tonelada de tomate embalado. [G] Toxicidade humana; [H] Ecotoxicidade terrestre. [I] Ecotoxicidade de água doce; [J] Ecotoxicidade marinha.	52
Figura 5.23 - Impacte ambiental por tonelada de tomate transportado. [A] Depleção abiótica; [B] Aquecimento global; [C] Acidificação.	53
Figura 5.24 - Impacte ambiental por tonelada de tomate transportado. [D] Eutrofização; [E] Depleção da camada de ozono; [F] Oxidação fotoquímica.....	53
Figura 5.25 - Impacte ambiental por tonelada de tomate transportado. [G] Toxicidade humana; [H] Ecotoxicidade terrestre. [I] Ecotoxicidade de água doce; [J] Ecotoxicidade marinha.	54
Figura 5.26 - Comparação dos resultados com outros estudos.....	55

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 Principais características dos estudos de ACV relativos ao tomate	7
Tabela 2.2 - Local, tipo de cultivo e produtividade dos estudos considerados	11
Tabela 2.3 - Categorias de impacte CML 2001 (Guinée <i>et al.</i> , 2002).	13
Tabela 2.4 - Categorias de impacte do método ReCiPe (Goedkoop <i>et al.</i> , 2013).....	14
Tabela 3.1 - Produtividade, área de cultivo e produção dos produtores de castanha considerados.....	19
Tabela 3.2 - Entradas para o cultivo de 1 kg de castanha por produtor	20
Tabela 3.3 – Principais saídas para o meio ambiente provenientes do cultivo de 1 kg de castanha	21
Tabela 3.4 – Entradas do processamento de 1 kg de castanha	22
Tabela 3.5 - Materiais necessários ao condicionamento da castanha	23
Tabela 3.6- Cenários de transporte da castanha	23
Tabela 4.1 - Produtividade, área de cultivo e produção dos produtores de tomate considerados em 2012	28
Tabela 4.2 - Entradas para o cultivo de 1 tonelada de tomate por produtor.....	29
Tabela 4.3 – Principais saídas para o meio ambiente provenientes do cultivo de 1 tonelada de tomate	29
Tabela 4.4 – Referências às quais pertencem os dados utilizados na análise ao processamento do tomate	31
Tabela 4.5 – Entradas de energia para o processamento de 1 tonelada de tomate.....	31
Tabela 4.6 - Materiais necessários à produção de 2565 embalagens TR 390 mL (BIO Intelligence Service, 2008).	32
Tabela 4.7 - Consumos totais de energia e outros recursos necessários à produção de 2565 embalagens TR 390 mL (BIO Intelligence Service, 2008).....	33
Tabela 4.8 - Materiais necessários à produção 2000 embalagens de vidro de 0,5 L (Ribeiro, 2002).	33
Tabela 4.9 - Materiais necessários à produção 1000 embalagens de vidro de 1 L (Ribeiro, 2002).	34
Tabela 4.10 - Materiais necessários à produção 2500 latas de 0,4 kg (BIO Intelligence Service, 2008).	34
Tabela 4.11 - Consumos de energia e outros recursos para o enchimento e condicionamento de 2500 latas de 0,4 kg (BIO Intelligence Service, 2008).	35
Tabela 4.12- Cenários de transporte do tomate.....	35
Tabela A.1 - Impactes ambientais do cultivo de 1 kg de castanha.....	67

Tabela A.2 - Impactes ambientais do processamento de 1 kg de castanha	67
Tabela A.3 - Impactes ambientais da embalagem de 1 kg de castanhas em saco de PEBD68	
Tabela A.4 - Impactes ambientais do transporte de 1 kg de castanhas	68
Tabela A.5 - Impactes ambientais dos cenários totais: cultivo, processamento, embalagem e transporte de 1 kg de castanhas	69
Tabela B.1 - Impactes ambientais do cultivo de 1 tonelada de tomate	70
Tabela B.2 - Impactes ambientais do processamento de 1 tonelada de tomate.....	70
Tabela B.3 - Impactes ambientais da embalagem de 1 tonelada de tomate	71
Tabela B.4 - Impactes ambientais do transporte de 1 tonelada de tomate.....	71
Tabela B.5 - Impactes ambientais dos cenários totais: cultivo, processamento, embalagem e transporte de 1 tonelada de tomate	72

SIGLAS

ACV – Avaliação de ciclo de vida
AD – *Abiotic depletion* – Depleção abiótica
AICV – Avaliação de impactes de ciclo de vida
AP – *Acidification potential* – Acidificação
APA – Agência Portuguesa do Ambiente
CF – *Carbon footprint* – Pegada de carbono
CV – Ciclo de vida
DRAPC – Direção Regional da Agricultura e Pescas do Centro
DRATM – Direção Regional de Agricultura de Trás-os-Montes
EC – European Commission
EP – *Eutrophication potential* – Eutrofização
FAETP – *Fresh-water aquatic ecotoxicity potential* – Potencial ecotoxicidade aquática de água doce
FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*
GEE – Gases com efeito de estufa
GPP – Gabinete de Planeamento e Políticas do Ministério da Agricultura
GWP – *Global warming potential* – Potencial de aquecimento global
HT – *Human toxicity* - Toxicidade humana
IA – Impactes ambientais
IES – *Institute for Environment and Sustainability*
INE – Instituto Nacional de Estatística
IPCC – *International panel on climate change*
ISO – *International organization for standardization*
JRC – *Joint Research Centre*
LC – *Life cycle*
MAETP – *Marine aquatic ecotoxicity potential* – Potencial ecotoxicidade aquática marinha
OLDP – *Ozone layer depletion potential* – Depleção da camada de ozono
OMAIAA – Observatório dos Mercados Agrícolas e das Importações Agro Alimentares
POP – *Photochemical oxidation potential* – Potencial formação de oxidantes fotoquímicos
SAIC – *Scientific Applications International Corporation*
TEP – *Terrestrial ecotoxicity potential* – Potencial ecotoxicidade terrestre.
UF – Unidade funcional
USDA – United States Department of Agriculture
USEPA – US Environmental Protection Agency
WF – *Water footprint* – Pegada hídrica
WPTC – World Processing Tomato Council

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento e motivação

O tomate e a castanha são bens alimentares que ocupam um lugar de relevo na produção agrícola portuguesa (OMAIAA, 2013a; OMAIAA, 2013b). São ambos pertencentes à fileira agroalimentar que representa um importante pilar da economia. Por serem alimentos versáteis, com elevada riqueza nutricional, são largamente utilizados na indústria alimentar, na qual são transformados em vários derivados alimentícios (Silva, 2007; Del Borghi *et al.*, 2014). Estes produtos destinam-se maioritariamente à exportação, passo crucial para o desenvolvimento económico do país. A aplicação da metodologia científica da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) permite quantificar os potenciais impactes, assim como identificar oportunidades para melhoria. Porém, não existem estudos de ACV para a castanha. Quanto ao tomate, existem estudos relativos a este produto, mas não realizados em Portugal. Considerando a importância que estes produtos têm para o país, torna-se fundamental colmatar esta falha de forma a contribuir para a redução de impactes ambientais e para aumentar a competitividade do sector. Esta tese surge no âmbito de um projeto de investigação financiado pelo COMPETE, denominado Eco-Eficiência e a Eco-Gestão no sector Agro-Industrial, que pretende implementar um conjunto de ferramentas de análise aos sistemas produtivos do setor alimentar de forma a torná-los mais eco-eficientes e competitivos. São analisadas 6 fileiras entre as quais a fileira das hortofrutícolas onde se inclui a castanha e o tomate. Deste modo os dados de inventário utilizados na presente tese relativos ao cultivo e processamento da castanha e ao cultivo do tomate foram obtidos no âmbito deste projeto a decorrer no Centro para a Ecologia Industrial (CIE: <http://www2.dem.uc.pt/CenterIndustrialEcology>). Diminuir os impactes ambientais destes produtos é um desafio relevante e necessário, o qual constitui a principal motivação desta tese.

1.2. A castanha e o tomate

No que diz respeito à castanha, várias espécies têm vindo a fornecer importantes recursos nutricionais, culturais e económicos a diversas civilizações por milhares de anos, tanto na Europa, como na Ásia e na América do Norte (Metaxas, 2013). Sinteticamente, as castanhas são as sementes do ouriço, o fruto espinescente do castanheiro. Estas possuem inúmeros benefícios ao nível da saúde pois são ricas em vitamina C e vitaminas do complexo B, são excelentes fontes de energia pela sua riqueza em amido, têm um baixo índice de colesterol e não contêm glúten (Castro *et al.*, 2009; Pereira *et al.*, 2007). A qualidade e as características físicas e químicas da castanha proporcionam que esta seja adequada quer para

consumo em fresco quer para a indústria transformadora, na qual se produz castanha congelada, assada, pilada, em calda, entre outros (Silva *et al.*, 2007). No presente estudo apenas é estudado o desempenho ambiental do processamento da castanha congelada e fresca. Em Portugal verifica-se uma percentagem de cerca de 70% de castanha destinada à exportação e os restantes 30% ao mercado interno (INE e GPP, 2013a). Os principais importadores são a Espanha e a Itália e os mercados tradicionais de emigração portuguesa, nomeadamente a França, o Brasil e a Alemanha (INE e GPP, 2013a). De acordo com os dados da *Food and Agricultural Organization* (FAO, 2013), a China é o maior produtor do mundo de castanha com uma produção em 2012 de 1,65 milhões de toneladas, seguindo-se a Coreia com 70 mil toneladas. Portugal foi neste ano o oitavo maior produtor a nível mundial, e o terceiro a nível europeu (superado apenas pela Itália e Grécia), com uma produção de 19,1 mil toneladas de castanha. Em Portugal continental no ano 2012, existia uma área ocupada com castanheiros de cerca de 34 656 hectares. O Norte do país destaca-se com uma produção em 2012 de 15393 toneladas de castanha (cerca de 80% da produção continental), (INE, 2013).

O tomate, de nome científico *Solanum lycopersicum*, é o fruto do tomateiro, e apesar de originário das Américas Central e do Sul, foi introduzido na Europa no século XVI e hoje em dia é cultivado e consumido em todo o mundo (Gianessi *et al.*, 2003). A qualidade do tomate produzido em Portugal ultrapassa fronteiras, reforçando a importância económica que este ramo exhibe para o país (Observatório do Tomate, 2014). Portugal é o único país do mundo que exporta quase a totalidade da sua produção de tomate transformado (93%) (GPP, 2013), sendo que em 2012 alcançou o quarto lugar de maior exportador internacional de tomate transformado (Expresso, 2013). Os principais destinos em 2012 foram o Reino Unido, o Japão, a Espanha e a Alemanha (INE e GPP, 2013b). O passado ano de 2013 foi assinalado por uma diminuição generalizada, em termos mundiais, da produção de tomate para fins industriais. Com efeito, as condições meteorológicas de 2013 não foram favoráveis à produção (-16,6% em volume), o que, pela sua importância relativa na produção hortícola, teve reflexos na produção total destas culturas no nosso país (INE, 2013). Contudo, Portugal reforçou a sua posição como quinto maior produtor no âmbito dos membros da Associação Mediterrânica de Tomate e oitavo a nível mundial. Os 10 maiores produtores de tomate a nível mundial, por ordem decrescente são: a Califórnia com 11 milhões de toneladas, (cerca de um terço da produção mundial), a Itália (4,1 milhões de toneladas), China (3,9 milhões de toneladas), Turquia (2,2 milhões de toneladas), Irão (1,9 milhões de toneladas), Espanha (1,7 milhões de toneladas), Brasil (1,5 milhões de toneladas), Portugal (997 mil toneladas), Chile (682 mil toneladas) e Tunísia (618 mil toneladas), segundo o *World Processing Tomato Council* (WPTC, 2013). A produção total mundial de tomate em 2013 foi de 33 milhões de toneladas.

1.3. Metodologia de ACV

O reconhecimento pelo sector empresarial de que as preocupações ambientais podem ser traduzidas em vantagens de mercado para certos produtos ou serviços levou à criação de várias declarações, títulos e rótulos ambientais (Trindade, 2009). Também algumas políticas europeias, nomeadamente a Política Integrada de Produto (EC, 2003), aplicam uma pressão crescente sobre a indústria para melhorar o desempenho ambiental dos seus produtos e comunicar essa informação ambiental ao longo da cadeia de abastecimento. Como tal, hoje em dia as empresas têm disponíveis várias ferramentas de gestão ambiental baseadas na perspectiva de ciclo de vida (CV). Destas salientam-se a metodologia científica de Avaliação de Ciclo de Vida (ISO 14040-14044:2006), os rótulos e declarações ambientais (Garcia e Freire, 2014), a Pegada de Carbono (ISO/TS 14067:2013) e, mais recentemente, a Pegada Ambiental do Produto (EC, 2012).

A ACV é amplamente reconhecida como a abordagem mais avançada para obter estas informações numa base quantitativa e comparável (EC, JRC e IES, 2010). Também a Política Integrada de Produtos (EC, 2003) identificou a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como a "melhor estrutura para avaliar os potenciais impactes ambientais de produtos" disponível. A Organização Internacional de Normalização (ISO) define Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como: "Compilação e avaliação das entradas, saídas e os impactes ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida" (ISO 14040: 2006). A ACV é uma ferramenta para a análise da carga ambiental dos produtos em todas as fases do seu ciclo de vida: a partir da extração de recursos, por meio da produção de materiais, partes do produto e o produto em si, a utilização do produto até à sua gestão depois de este ser descartado, seja por meio da reutilização, reciclagem ou disposição final (uma perspectiva holística "do berço ao túmulo") (Guinèe, 2002). O processo de ACV é uma sistemática abordagem faseada composta por quatro fases: definição de objetivos e âmbito; análise de inventário; análise de impacto; e, interpretação dos resultados, como se ilustra na Figura 1.2 (ISO 14040: 2006).

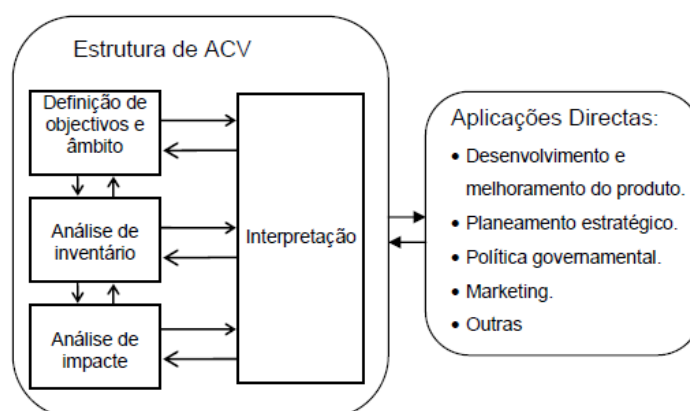


Figura 1.1 - Fases de uma Análise de Ciclo de Vida (Fonte: ISO 14040: 2006)

Genericamente podemos caracterizar as quatro fases de ACV da seguinte forma:

- ▶ Definição do objetivo e do âmbito inclui a descrição do sistema em termos das suas fronteiras e da unidade funcional;
- ▶ Inventário de CV identifica e quantifica a energia, água e materiais utilizados e descargas ambientais;
- ▶ Avaliação de impactes do CV, que inclui o cálculo das potenciais contribuições para determinadas categorias de impacte;
- ▶ Interpretação, que é efetuada de forma iterativa a todas as outras fases.

A metodologia de ACV tem vindo a ser aplicada aos mais variados tipos de produtos agrícolas, como por exemplo a maçã (Milà i Canals *et al.*, 2006; Mouron *et al.*, 2006), o feijão (Roméro-Gamez *et al.*, 2012; Abeliotis *et al.*, 2013), pimentos, melões, tomate e curgete (Cellura *et al.*, 2011), vinho e azeite (Mateus, 2012), entre outros. A introdução de boas práticas na indústria de alimentos também foi objeto de análise, com destaque para a minimização dos resíduos (Henningsson *et al.*, 2004) e de gestão de resíduos alimentares (Franchetti, 2013). Similarmente a embalagem de produtos alimentares tem sido estudada, tanto como um produto em si (tendo em conta a sua produção, materiais e resíduos) (Siracusa *et al.*, 2014; Ferreira *et al.*, 2013; Pardo e Zufía, 2012) como parte do CV de produtos alimentares, (Del Borghi *et al.*, 2014; Williams e Wikstrom, 2010). Em relação à fase de distribuição, alguns estudos têm quantificado o consumo de energia e impactes ambientais relacionados com a cadeia de abastecimento alimentar (Roy, 2008), bem como as diferenças entre produtos locais e importados (Milà i Canals *et al.*, 2007).

1.4. Objetivos

O principal objetivo desta tese é avaliar o desempenho ambiental de ciclo de vida do tomate e da castanha produzidos em Portugal pela aplicação da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida. O objetivo principal pode ser dividido nos seguintes objetivos específicos:

- ▶ Desenvolver modelos e inventários de ciclo de vida do cultivo, processamento, embalagem e transporte do tomate e da castanha.
- ▶ Caracterizar e avaliar os impactes ambientais com base nos métodos CML 2001 (Guinée *et al.*, 2002) e ReCiPe (Goedkoop *et al.*, 2013).
- ▶ Identificar os processos mais importantes do CV em termos de impactes, ou seja, as fases críticas de cada um dos casos de estudo em análise.
- ▶ Comparar cenários alternativos de cultivo, processamento, embalagem e transporte dos produtos estudados, nomeadamente:
 - Em relação ao cultivo da castanha, comparar três produtores no norte de Portugal e para o processamento duas linhas de produção: castanha em fresco e congelada. Comparar diferentes cenários de exportação (França e Brasil) considerando os meios de transporte mais utilizados. Analisar cenários de distribuição nacional (Lisboa e Faro).

- No cultivo do tomate, analisar cinco produtores em Santarém e comparar: quatro tipos de processamento (polpa, concentrado, tomate pelado e tomate cortado); três tipos de embalagem de tomate processado (garrafa de vidro, lata e pacote); distintos cenários de exportação (Reino Unido e Alemanha) tendo em conta os meios de transporte mais utilizados; cenários de transporte nacional (Porto e Faro).
- ▶ Por final, os resultados obtidos serão comparados aos da literatura.

1.5. Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em 6 capítulos distintos. No primeiro capítulo, no qual se inclui esta secção, é elaborada a introdução ao problema e são explicados os objetivos do estudo. No segundo capítulo é apresentado o estado da arte com base numa revisão bibliográfica e numa análise detalhada a estudos de ACV do tomate. No terceiro e quarto capítulos são apresentados os modelos e inventários de ciclo de vida do tomate e da castanha. No quinto capítulo serão apresentados e analisados os resultados obtidos e, por fim, no sexto capítulo encontra-se a conclusão desta dissertação.

2. ESTADO DA ARTE: REVISÃO E ANÁLISE DA LITERATURA

Neste capítulo encontra-se o estado da arte da ACV aplicada ao tomate e à castanha. Como não foram encontrados estudos de avaliação de ciclo de vida para a castanha, este capítulo será focado exclusivamente na revisão literária respeitante ao tomate. A revisão da literatura teve por base pesquisas nas plataformas *Web of Knowledge*, *Science Direct* e no motor de busca Google e Google académico, usando as seguintes palavras-chave: *life cycle*; *life cycle assessment*; *LCA*; *tomato*; *chestnut*; avaliação do ciclo de vida, ciclo de vida, ACV, tomate e castanha. Foram selecionados catorze estudos relativos ao tomate, que nos próximos subcapítulos serão analisados relativamente aos objetivos, à UF adotada, às fronteiras do sistema, aos métodos de avaliação de impacto ambiental adotados e suas categorias, à resposta dada ao problema da multifuncionalidade, aos cenários de comparação, entre outros. Apresenta-se ainda uma breve análise dos resultados obtidos.

2.1. Âmbito e objetivos

Dos catorze artigos selecionados, dez são artigos científicos publicados na revista internacional *Journal of Cleaner Production*. Quatro destes artigos estudam outras culturas para além do tomate (Martínez-Blanco *et al.*, 2014; Khosnevisan *et al.*, 2013; Torrelias *et al.*, 2011; Cellura *et al.*, 2011). Na Tabela 2.1 encontram-se sumarizadas as principais características dos catorze estudos abordados neste capítulo.

Tabela 2.1 Principais características dos estudos de ACV relativos ao tomate

Referência	Objetivo	UF	Fases de CV	Métodos	Categorias de IA
Almeida <i>et al.</i> (2014)	Pegada da água e de carbono e utilização de energia na produção de tomate	1 kg de tomate fresco embalado e entregue no mercado local	<i>Cradle-to-market</i>	WF CF CED	-
Del Borghi <i>et al.</i> (2014)	ACV de produtos do tomate (polpa, tomate picado e pelado) e sua embalagem	1 kg de produto embalado	<i>Cradle-to-factory gate</i> e eliminação da embalagem primária	CML 2001	GWP100, ODP, POP, AP, EP, HTP, FAETP, MAETP e TEP.
Bojacá <i>et al.</i> (2014)	ACV atribucional da produção de tomate em estufa	1 t de tomate comercial fresco	<i>Cradle-to-gate</i>	CML2001 v.2.05	AD, AP, EP, FAETP, MAETP, GWP, HTP, ODP, POP e TEP.
Martínez-Blanco <i>et al.</i> (2014)	Abordagens de resolução do problema da multifuncionalidade na aplicação de composto em sistemas de rotação de culturas	1 t de tomate comercial	<i>Cradle-to-gate</i>	CML 2001 CED	AP, EP, ADP, GWP, ODP e POP.
Manfredi e Vignali (2013)	ACV de puré de tomate embalado	Frasco de 700 g de puré	Cultivo, processamento, CV das embalagens, e transporte	CML 2001 ReCiPe CED WF	CML: GWP100, POP, ODP, AP e EP. ReCiPe: PMF e IR.
Khoshnevisan <i>et al.</i> (2013)	Avaliação do impacto ambiental do cultivo de tomate e pepino em estufas, utilizando a ACV e o método ANFIS	1 t de produto 1 ha cultivado	<i>Cradle-to-gate</i>	CML 2000 baseline 2000 V2/world	2 AD, AP, EP, GWP, ODP, HTP, FAETP, MAETP, TEP e POP.
Brodth <i>et al.</i> (2013)	Comparação dos impactos ambientais relacionados com a cadeia de abastecimento alimentar regional e à escala nacional: caso de estudo do tomate processado	1 kg de pasta de tomate enlatada e 1 kg de tomate cortado enlatado	Cultivo, processamento, embalagem e transporte	GWP	-
Page <i>et al.</i> (2012)	<i>Trade-offs</i> na pegada de carbono e na pegada hídrica na produção de tomate fresco	1 kg de tomate fresco	<i>cradle-to-gate</i> <i>cradle-to-market</i> <i>cradle-to consumer</i>	CF WF CED	-
Torrelas <i>et al.</i> (2011)	Avaliação ambiental e económica de culturas protegidas em quatro cenários europeus	1 t de tomate	<i>Cradle-to-gate</i>	CML2001 método v2.04 CED	AD, AP, EP, GWP e POP.
Cellura <i>et al.</i> (2011)	ACV de culturas protegidas: cinco culturas em duas tipologias de estufa	1 t de vegetal embalado	<i>Cradle-to-grave</i>	CML2001 CED	GWP, ODP, POCP, AP, EP, HTP, FAETP, MAETP e TEP.
Martínez-Blanco <i>et al.</i> (2011)	Avaliação da produção de tomate mediterrânica em campo aberto e estufa, com fertilizantes minerais e/ou composto	1 t de tomate comercial	<i>Cradle-to-gate</i>	CML 2001 CED	ADP, AP, EP, GWP, ODP e POP.
Cappelletti <i>et al.</i> (2010)	ACV da polpa de tomate	100 kg de tomate colhido	Cultivo e processamento	CML 2001 Utilização de energia USEtox	ADP, AP, EP, FAETP, GWP, HTP, MAETP, ODP, POCP e TEP.
Roy <i>et al.</i> (2008)	Análise de inventário do CV dos sistemas de distribuição de tomate fresco	1 t de tomate consumido	Cultivo, embalagem e transporte	GWP	-
Andersson <i>et al.</i> (1998)	Análise à ACV do ketchup	1 t de ketchup consumido	<i>Cradle-to-grave</i>	CML Utilização de energia	GWP, ODP, AP, EP, POP, HTP, FAETP, MAETP e TEP.

AP: Acidification Potential; AD: Abiotic Depletion; CED: Cumulative Energy Demand; CF: Carbon Footprint; EP: Eutrophication Potential; GWP: Global Warming Potential; HTP: Human Toxicity Potential; IR: Ionizing radiation; FAETP: Freshwater Aquatic Eco-toxicity Potential; MAETP: Marine Aquatic Eco-toxicity Potential; ODP: Ozone Layer Depletion Potential; PMF: Particulate matter formation; POP: Photochemical Oxidation; TEP: Terrestrial Eco-toxicity Potential; WF: Water footprint.

Quanto às fronteiras do sistema destes estudos, todos eles avaliam a fase de cultivo, sendo que seis destes utilizam uma perspetiva *cradle-to-gate* ou *cradle-to-farm gate*. Apenas dois estudos conduziram uma análise *cradle-to-grave*, Cellura *et al.* (2011) e Andersson *et al.* (1998).

Três funções diferentes e UFs foram propostas por Nemecek *et al.* (2011): (i) a função de gestão da terra, medida por hectare cultivado por ano, (ii) a função financeira expressa como uma unidade monetária e (iii) a função produtiva descrita por unidades físicas. Oito dos estudos considerados adotaram como UF uma tonelada de produto. Apenas um estudo (Khosnevisan *et al.*, 2013) utilizou duas unidades funcionais, (uma tonelada de tomate e um ha cultivado).

No que diz respeito aos cenários de comparação adotados nos estudos selecionados, realiza-se seguidamente uma breve revisão. Para Almeida *et al.*, (2014) a fonte de abastecimento térmica atual (que consiste na combustão de gás natural e de óleo de canola), é comparada com a cogeração e incineração de resíduos sólidos urbanos para aquecimento. O sistema atual também é comparado com um sistema convencional, em que o calor é fornecido exclusivamente com base no gás natural. O estudo Del Borghi *et al.* (2014) considera treze cenários em análise que correspondem à comparação de sete métodos de embalagem para a polpa de tomate, três para o tomate cortado e três para o tomate pelado. Martínez-Blanco *et al.* (2014) analisa dois tipos de fertilização (apenas fertilizantes minerais, ou fertilizantes minerais com composto). O estudo Khosnevisan *et al.* (2013) realiza uma comparação entre a metodologia de ACV com a metodologia *neuro-fuzzy inference system*. O estudo Brodt *et al.* (2013) compara a cadeia de distribuição de tomate em relação ao seu local de origem (regional e nacional) e também compara o cultivo tradicional ao orgânico. Por sua vez, Page *et al.* (2012) considera três tipos de estufa (que dependendo do tipo de tecnologia utilizada e a produtividade obtida dividem-se em estufas de baixa, média ou alta tecnologia), e também analisa um sistema de cultivo em campo aberto. Torrelias *et al.* (2011) analisa três cenários referentes ao tomate: cultura em estufa de plástico na Espanha e em estufa de vidro na Hungria e na Holanda. Cellura *et al.* (2011) analisa o cultivo em dois tipos de estufa (pavilhão e túnel). Martínez-Blanco *et al.* (2011), considera a produção de tomate usando dois tipos de fertilizante (composto ou fertilizantes minerais) e dois tipos de cultivo (campo aberto e estufa) completando quatro cenários distintos. Roy *et al.* (2008) efetua uma comparação das emissões dos sistemas de distribuição quando usado o método de embalagem de baixa temperatura (LT) e o método de embalagem de atmosfera modificada (MAP). Andersson *et al.* (1998) compara dois cenários na fase de gestão de resíduos (aterro e reciclagem de materiais e/ou incineração com recuperação de energia) e também dois cenários na fase doméstica (armazenamento da garrafa de ketchup no frigorífico por um mês ou um ano). Os estudos Bojacá *et al.* (2014), Manfredi e Vignali (2013) e Cappelletti *et al.* (2010) não efetuam comparação de cenários.

Os processos agro-industriais são frequentemente multifuncionais, sendo que “um processo multifuncional é um processo unitário ao qual está associado mais do que um fluxo

funcional”, Guinée *et al.* (2009). Existem várias formas de abordar o problema da multifuncionalidade, sendo que as normas internacionais sobre ACV propõem alguns métodos (ISO 14044, 2006): i) Subdivisão: Divisão do processo unitário em dois ou mais subprocessos; ii) Expansão do sistema: ampliação das fronteiras do sistema de produto de forma a incluir as funções adicionais relacionadas com os coprodutos; iii) Alocação: Divisão das entradas e saídas do sistema entre os seus diferentes produtos ou funções (de forma a refletir as relações subjacentes, sejam elas físicas ou de outra natureza). Sempre que possível, a alocação deve ser evitada, utilizando os métodos i) e ii). No entanto é importante referir que cinco dos artigos considerados não referem nem multifuncionalidade nem alocação, (Del Borghi *et al.*, 2014; Khoshnevisan *et al.*, 2013; Page *et al.*, 2012; Cappelletti *et al.*, 2010; Roy *et al.*, 2008). Almeida *et al.* (2014) efetua uma expansão do sistema, (aplicada à produção de fertilizantes e também ao excesso de eletricidade produzida pela cogeração, que é vendida para a rede). O trabalho Martínez-Blanco *et al.* (2014) centra-se na forma como são distribuídos os impactes da compostagem (ambientais e económicos) numa rotação de culturas Mediterrânica. Aborda o problema da multifuncionalidade efetuando a comparação das três abordagens propostas pela ISO 14044 para distribuir cargas em processos multifuncionais: subdivisão, a expansão do sistema e a alocação (física e económica). Os restantes sete artigos abordam superficialmente o problema da multifuncionalidade, ou seja, referem-na mas não de forma tão clara. Bojacá *et al.* (2014) realiza a alocação de recursos e emissões para a unidade funcional considerando o tempo de uso das máquinas e a vida útil dos componentes da infraestrutura, sendo o esquema de produção de dois ciclos por ano por estufa. Em relação aos fertilizantes alocaram 75% da dose aplicada ao sistema e os restantes 25% consideraram que permaneceria no solo para ciclos futuros. Manfredi e Vignali (2013) efetuam alocação mássica para efetuar a divisão dos impactes ambientais pelas diferentes linhas de produção de derivados do tomate. Brodt *et al.* (2013) usa como base para o cálculo das emissões relacionadas com composto, a suposição que 50% dessas emissões são alocadas para o sistema de produção avícola que produziu o esterco, e não para o sistema de tomate. Torrelas *et al.* (2011) utiliza a expansão do sistema e alocação energética para colmatar o problema de multifuncionalidade que surge com a cogeração (processo que produz os dois coprodutos, calor e eletricidade). Assim, na expansão do sistema foram utilizados os dados de produção do mix de eletricidade Holandesa retirados doecoinvent. A alocação energética permitiu perceber a quantidade de gás natural consumido no sistema de cogeração que seria necessário para aquecer a estufa. No estudo Cellura *et al.* (2011) a alocação foi realizada para os componentes de infraestrutura da estufa e para os resíduos de máquinas agrícolas sendo que cada componente da estufa foi relacionada com a produção de cada UF ao longo da vida útil do componente em si, e os resíduos de máquinas agrícolas foram alocados para a UF, relacionando-os com a produção total dos vegetais. Martínez-Blanco *et al.* (2011) trata do problema da multifuncionalidade da aplicação de composto utilizando a expansão do sistema e, quando este não pode ser utilizado, efetua alocação de acordo com a absorção de azoto pela cultura. Andersson *et al.* (1998) efetua alocação

mássica para calcular os impactos ambientais do ketchup relativamente aos outros produtos da fábrica de processamento.

De acordo com SAIC (2006), a análise de incerteza "descreve a variabilidade dos dados AICV para determinar a significância dos resultados dos indicadores de impacto". De acordo com a mesma fonte, a análise de sensibilidade "mede até que ponto uma mudança nos resultados de ICV e modelos de caracterização iria afetar os resultados dos indicadores de impacto". Almeida *et al.* (2014) efetua uma análise de sensibilidade às emissões de N₂O, à utilização dos resíduos orgânicos como fertilizante, e também às emissões de CO₂ emitidas pela queima de resíduos. O estudo Bojacá *et al.* (2014) apresenta uma análise de incerteza usando funções de densidade de Kernel (método não paramétrico para estimar curvas de densidade) e histogramas de distribuição. Page *et al.* (2012) apresenta uma análise de incerteza usando simulações de Monte Carlo no *software* Simapro, e uma análise de sensibilidade para identificar a contribuição da fase de edificação da estufa para as pegadas de carbono e hídrica e também para o uso da energia. O estudo Cappelletti *et al.* (2010) exhibe uma análise de incerteza utilizando simulações Monte Carlo com o *software* Gabi 4. Manfredi e Vignali (2013) realizaram uma análise de sensibilidade tendo em conta quatro cenários de melhoria. Estes quatro cenários são: primeiramente a redução em 20% do peso do vidro do frasco de puré de tomate; seguidamente investiga a redução da distância média de transporte até à plataforma logística para 400 km; a inserção de painéis solares para que não haja a necessidade de compra de eletricidade à rede; e por fim a redução em 15% no consumo de gás natural.

Por outro lado, cinco dos estudos indicados consideram o consumo de água. Almeida *et al.* (2014) e Manfredi e Vignali (2013) utilizam o método pegada hídrica proposto por Hoekstra *et al.* (2011). No estudo Page *et al.* (2012) a pegada hídrica é estimada usando a metodologia baseada na ACV desenvolvida por Ridoutt e Pfister (2010). Del Borghi *et al.* (2014) apresenta o consumo de água com base numa recolha de dados desde a fase de cultivo até à distribuição. Os estudos Brodt *et al.* (2013) e Cellura *et al.* (2011) baseiam os seus dados em bases de dados internacionais referentes ao uso da água ou em dados primários recolhidos da investigação de campo.

Quanto aos métodos de avaliação de impactos selecionados, dez estudos usam o CML (Guinée *et al.*, 2002) e quatro o CED (Frischknecht *et al.*, 2007). Um estudo (Cappelletti *et al.*, 2010) refere também o uso do método USEtox (Rosenbaum *et al.*, 2008). Manfredi e Vignali utiliza o método ReCiPe (Goedkoop *et al.*, 2013), para acrescentar as categorias *Ionizing Radiation* e *Particulate Matter Formation* ao seu estudo.

De seguida apresenta-se uma análise específica direcionada ao cultivo, por esta ser a fase de CV do tomate mais estudada. Na Tabela 2.2 encontram-se descritos os locais onde se efetuou a cultura, os tipos de cultivo de tomate e as produtividades consideradas em cada estudo analisado. Quanto à produtividade verifica-se que esta é variável, sendo que o maior valor de produtividade (570 t/ha) ocorre no estudo Page *et al.* (2012), para o cultivo em estufa de alta tecnologia. O menor valor (60 t/ha) pertence ao estudo Page *et al.* (2012)

para o cultivo em campo aberto na Austrália. No geral, o cultivo em estufa apresenta produtividades superiores ao cultivo em campo aberto, como seria espectável.

Tabela 2.2 - Local, tipo de cultivo e produtividade dos estudos considerados

Estudo	Local de Cultivo	Tipo de Cultivo	Produtividade [t/ha]
Almeida et al., (2014)	Norte de Itália	Estufa	380
Del Borghi et al. (2014)	Itália	Campo aberto	100
Bojacá et al. (2014)	Colômbia	Estufa	128,4
Martínez-Blanco et al. (2014)	Espanha	Campo aberto com emprego de composto e fertilizantes minerais	99,4
		Campo aberto com fertilizantes minerais	98,9
Manfredi e Vignali (2013)	Norte de Itália	Campo aberto	71
Khoshnevisan et al. (2013)	Irão	Estufa	272,6
Brodt et al. (2013),	Michigan e Califórnia, EUA	Convencional na Califórnia	90
		Convencional em Michigan	74
		Orgânico na Califórnia	85
Page et al. (2012)	Sydney, Austrália	Campo aberto	60
		Estufa de baixa tecnologia	160
		Estufa de média tecnologia	340
		Estufa de alta tecnologia	570
Torrelas et al. (2011)	Espanha, Hungria e Holanda	Estufa multi-túnel em Espanha	165
		Estufa Venlo na Hungria	480
		Estufa Venlo na Holanda	565
Cellura et al. (2011)	Sul de Itália	Estufa tipo pavilhão	96,3
Martínez-Blanco et al. (2011)	Espanha	Campo aberto com aplicação de composto e fertilizantes minerais	127
		Campo aberto com aplicação de fertilizantes minerais	127
		Estufa com aplicação de composto e fertilizantes minerais	158
		Estufa com aplicação de fertilizantes minerais	166
Cappelletti et al. (2010)	Itália	Campo aberto	-
Roy et al. (2008)	Japão	Estufa	-
		Campo aberto com cobertura de plástico	-
Andersson et al. (1998)	Itália	Campo aberto	-

Apenas cinco dos estudos analisados consideram a fase do processamento do tomate. Del Borghi et al. (2014) efetuou uma análise comparativa a três tipos de processamento e três tipos de embalagem concluindo que para os cenários em que foi utilizada a lata e para dois dos quatro cenários em que foi utilizado o vidro, a fase de CV com impactes ambientais superiores foi o acondicionamento. O processamento foi a fase com menores impactes de CV (exceto nos cenários da embalagem de polpa em pacote de cartão, em que foi o acondicionamento). O cultivo foi a fase de CV com impactes ambientais superiores nos cenários de embalagem em pacote de cartão e em dois dos cenários de embalagem em frasco de vidro. Quanto a Brodt et al. (2013) para o tomate cortado a fase de CV com impactes mais relevantes foi o acondicionamento (em lata). Quanto à polpa de tomate, quando foi considerado o cultivo convencional a fase de CV com impactes superiores foi o cultivo e quando foi considerado o cultivo orgânico foi o processamento. No total, o cenário com impactes de CV superiores foi a polpa de tomate proveniente do cultivo convencional

(aproximadamente 1,6 kg CO₂ eq/kg_{polpa}). Manfredi e Vignali (2013) efetuaram uma análise à polpa de tomate e concluíram que a fase com superiores impactes ambientais de CV foi o acondicionamento. O total de emissões de GEE foi de 0,674 kg CO₂ eq/frasco de 700 g de polpa. Quanto a Cappelletti *et al.* (2010), foi efetuada uma análise apenas ao cultivo e processamento de polpa de tomate, verificando que 69% das emissões totais de GEE referem ao cultivo. Anderson *et al.* (1998) efetuou uma análise *cradle-to-grave* e verificou que as fases de CV que mais contribuíram para o aquecimento global foram o processamento (500 kg CO₂ eq/ t_{ketchup}) e o acondicionamento (300 kg CO₂ eq/t_{ketchup}), devido essencialmente aos elevados consumos de combustíveis fósseis.

2.2. Principais resultados

Nesta seção serão analisados os resultados dos estudos considerados, sendo que na primeira subseção serão introduzidos os métodos de Avaliação de Impactes de Ciclo de Vida (AICV) empregues nos estudos da revisão literária. Na segunda subseção serão analisadas as emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE) resultantes do cultivo do tomate.

2.2.1. Métodos de Avaliação de Impactes de CV

Para a realização da fase de AICV o cálculo dos impactes ambientais faz parte dos elementos obrigatórios apresentados pela norma ISO 14044. Nesta fase do estudo, o impacte potencial de cada emissão de inventário e/ou fluxo de recursos para o meio ambiente é modelado quantitativamente de acordo com o mecanismo ambiental relevante utilizando um modelo de caracterização (Piekarski *et al.*, 2012). Estes modelos são denominados métodos para AICV, apresentam características individuais específicas e podem ser classificados em duas categorias de acordo com a abordagem que utilizam: *midpoint* e *endpoint*. A modelagem *midpoint* consiste em agregar todas as substâncias do ICV que apresentam uma característica comum na cadeia causa-efeito do mecanismo ambiental. Assim, esta abordagem não apresenta as consequências finais, mas indicam os impactes em potencial. Ao nível *endpoint* são modelados todos os mecanismos ambientais que ligam os impactes do ICV com o respetivo impacte sobre as áreas de proteção, ou seja, quantifica-se a gravidade ou as consequências de categorias de impacte *midpoint* nas áreas de proteção ao nível *endpoint*. Esta modelagem (*endpoint*) é comumente designada por abordagem orientada ao dano (Goedkoop *et al.*, 2013).

Cada método de AICV é caracterizado por um conjunto de categorias de impacte ambiental específicas. Na revisão literária feita a maioria dos estudos utilizou o método CML 2001 (dez estudos). O método CML 2001 surgiu por meio de um grupo de cientistas associados à Universidade de Leiden na Holanda, que publicaram um guia operacional para as normas ISO (Guinée *et al.*, 2002). O método CML 2001 foi criado com diferentes categorias de impacte relacionadas à abordagem orientada ao problema (*midpoint*), as quais estão listadas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Categorias de impacte CML 2001 (Guinée *et al.*, 2002).

Categoria de Impacte	Sigla	Unidade
Acidification	AP	kg SO ₂ eq
Abiotic depletion	AD	kg Sb eq
Ozone layer depletion	ODP	kg CFC ⁻¹¹ eq
Fresh-water aquatic ecotoxicity	FAETP	kg DCB eq
Marine aquatic ecotoxicity	MAETP	kg DCB eq
Terrestrial ecotoxicity	TEP	kg DCB eq
Global warming potential	GWP 100	kg CO ₂ eq
Eutrophication	EP	kg PO ₄ ³⁻ eq
Photochemical oxidation	POP	kg C ₂ H ₂ eq
Human toxicity	HTP	kg DCB eq

Relativamente à análise energética numa perspetiva de ACV, na literatura há falta de concordância sobre a definição e designação dos indicadores de eficiência energética a utilizar (Malça e Freire, 2011). Dos estudos analisados, seis utilizaram o método *Cumulative Energy Demand* (CED), que é um método baseado no modelo publicado peloecoinvent versão 1.01 e expandido por pré-consultores de recursos energéticos disponíveis no banco de dados SimaPro (Goedkoop *et al.*, 2013). O CED de um produto representa o uso de energia direta e indireta em todo o ciclo de vida, incluindo a energia consumida durante a extração, produção e descarte das matérias-primas e auxiliares, (Huijbregts *et al.*, 2006).

Cappelletti *et al.* (2010) utilizou o método USEtox. De acordo com o *website* do USEtox, este "é um modelo baseado no consenso científico para a caracterização de impactes humanos e ecotoxicológicas de produtos químicos na avaliação do impacto do ciclo de vida (...) a saída principal inclui um banco de dados de fatores de caracterização recomendados e provisórios, incluindo destino ambiental, exposição e parâmetros de efeitos de toxicidade humana e ecotoxicidade".

O estudo Manfredi e Vignali (2013) aplicou o método ReCiPe que, de acordo com Goedkoop *et al.* (2013), é um método de AICV que está harmonizado em termos de princípios de modelagem e escolhas, oferecendo resultados tanto a nível *midpoint* como *endpoint*. A sigla ReCiPe representa as iniciais dos institutos que foram os principais contribuintes para este projeto e os principais colaboradores na sua concepção: RIVM (Netherlands National Institute for Public Health and the Environment), a Universidade de Radboud, CML, e PRé. Este método apresenta dezoito categorias de impacte ambiental *midpoint* e três ao nível *endpoint*, como se pode verificar na Tabela 2.4.

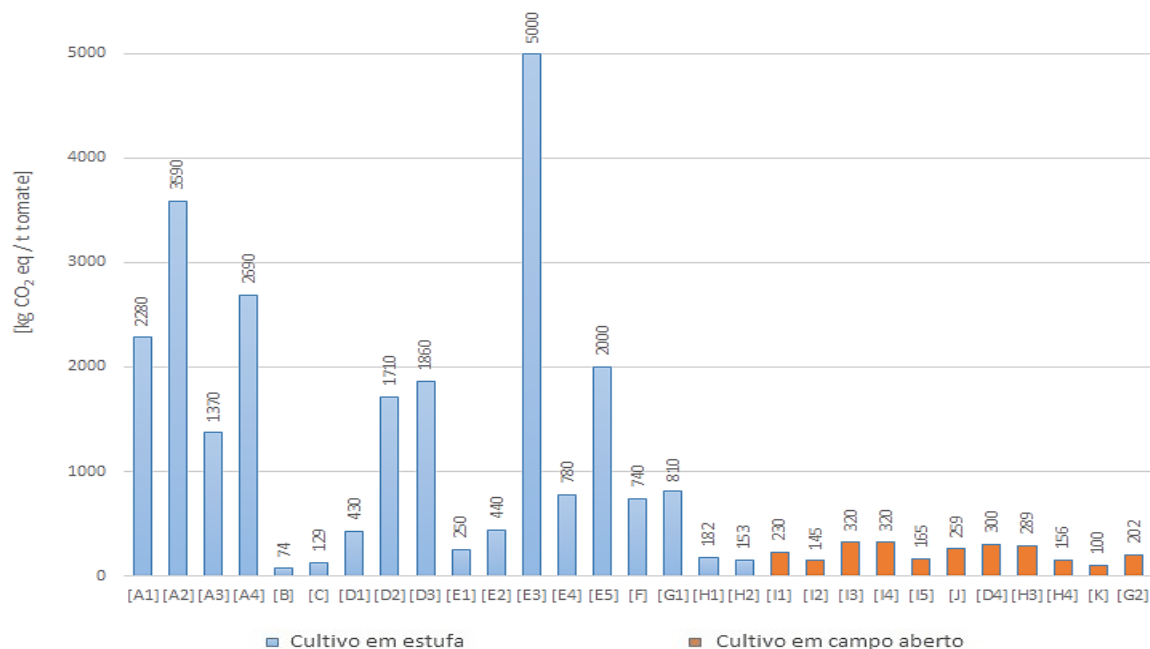
Tabela 2.4 - Categorias de impacto do método ReCiPe (Goedkoop *et al.*, 2013)

Midpoint		
Categoria de impacto	Sigla	Unidade
Climate change	CC	kg CO ₂ eq
Ozone depletion	OD	kg CFC ⁻¹¹ eq
Terrestrial acidification	TA	kg SO ₂ eq
Freshwater eutrophication	FE	kg P eq
Marine eutrophication	ME	kg N eq
Human toxicity	HT	kg 1,4-DB eq
Photochemical oxidant formation	POF	kg NMVOC
Particulate matter formation	PMF	kg PM ₁₀ eq
Terrestrial ecotoxicity	TET	kg 1,4-DB eq
Freshwater ecotoxicity	FET	kg 1,4-DB eq
Marine ecotoxicity	MET	kg 1,4-DB eq
Ionising radiation	IR	kg U ₂₃₅ eq
Agricultural land occupation	ALO	m ² .a
Urban land occupation	ULO	m ² .a
Natural land transformation	NLT	m ²
Water depletion	WD	m ³
Mineral resource depletion	MRD	kg Fe eq
Fossil fuel depletion	FD	kg oil eq
Endpoint		
Categoria de impacto	Sigla	Unidade
Damage to human health	HH	DALYs
Damage to ecosystem diversity	ED	years
Damage to resource availability	RA	surplus costs

2.2.2. Emissões de GEE

Na Figura 2.1 encontram-se expostos de forma sintética os resultados fundamentais em relação à emissão de GEE (kg CO₂ eq/t_{tomate}) da fase do cultivo de onze dos catorze estudos considerados, (por falta de dados omitiram-se três estudos). Observa-se que as emissões variam bastante, encontrando-se entre 74 e 5000 kg CO₂ eq/t_{tomate}. Os valores mais elevados de emissões são apresentados por Torrelas *et al.* (2011) no cenário [D3] (5000 kg CO₂ eq/t_{tomate} para o cultivo em estufa Venlo na Hungria utilizando o gás natural para aquecimento) e por Almeida *et al.* (2014) no cenário [A2] (3590 kg CO₂ eq/t_{tomate} cultivo em estufa em Itália com climatização feita exclusivamente pelo uso de gás natural). Também Page *et al.* (2012) apresenta resultados elevados, nomeadamente para o cenário [C3] (1860 kg CO₂ eq/t_{tomate} para o cultivo em estufa de alta tecnologia). Conclui-se que os maiores impactos estão associados a elevados consumos de energia e que o tipo de energia utilizado também é um aspeto relevante. Os valores mais baixos são para cenários de cultivo em campo aberto/cultivo convencional. No entanto, nem sempre isto ocorre, pois da observação da figura salienta-se o estudo Bojacá *et al.* (2014), que apresenta emissões de 74 kg CO₂

eq/t_{tomate}, sendo este estudo relativo ao cultivo de tomate em estufa de plástico na Colômbia. O baixo valor apresentado advém da inexistência de sistemas de climatização e da limitada mecanização dos processos.



[A] Almeida *et al.* (2014): [A1] Estufa climatizada pela combustão de gás natural e de óleo de canola, [A2] Estufa climatizada exclusivamente por gás natural, [A3] Estufa climatizada por uma instalação de cogeração, [A4] Estufa climatizada por incineração de resíduos sólidos urbanos. [B] Bojacá *et al.* (2014) – Estufa de plástico; [C] Khoshnevisan *et al.* (2013) – Estufa de plástico multi-tunel; [D] Page *et al.* (2012): [D1] Estufa de baixa tecnologia (apenas verão), [D2] Estufa de média tecnologia, [D3] Estufa de alta tecnologia, [D4] Cultivo em campo aberto; [E] Torrelas *et al.* (2011): [E1] Estufa de plástico em Espanha, [E2] Estufa Venlo na Hungria usando energia geotérmica, [E3] Estufa de Venlo na Hungria utilizando o gás natural, [E4] Estufa Venlo na Holanda com compra de eletricidade evitada por emprego de cogeração, [E5] Estufa Venlo na Holanda com alocação energética na cogeração; [F] Cellura *et al.* (2011) – Estufa do tipo pavilhão, incluindo transporte e produção de resíduos após consumo; [G] Roy *et al.* (2008): [G1] Cultivo em estufa, [G2] Cultivo em campo aberto sob cobertura de plástico; [H] Martínez-Blanco *et al.* (2011): [H1] Cultivo em estufa com aplicação de composto e fertilizantes minerais, [H2] Cultivo em estufa com aplicação de fertilizantes minerais, [H3] Cultivo em campo aberto com aplicação de composto e fertilizantes minerais, [H4] Cultivo em campo aberto com aplicação de fertilizantes minerais; [I] Martínez-Blanco *et al.* (2014): [I1] Cultivo em campo aberto com subdivisão, [I2] Cultivo em campo aberto com expansão do sistema, [I3] Cultivo em campo aberto com alocação física, [I4] Cultivo em campo aberto com alocação económica, [I5] Cenário base do cultivo em campo aberto; [J] Manfredi e Vignali (2013) – Cultivo em campo aberto; [K] Cappelletti *et al.* (2010) – Cultivo em campo aberto.

Figura 2.1. – Emissões de GEE por tonelada de tomate decorrentes do cultivo nos estudos analisados

2.3. Notas conclusivas

Do estado da arte conclui-se que o tomate já foi alvo de vários estudos de ACV em diversos locais, sendo que Itália é dos países mais analisados (seis dos estudos investigados). A fase mais estudada do CV do tomate é o cultivo (oito dos catorze estudos), seguindo-se o processamento (cinco estudos). As fronteiras do sistema mais utilizadas são do tipo *cradle-to-gate*, (como apresentam Bojacá *et al.*, 2014 e Martínez-Blanco *et al.*, 2014). A unidade funcional mais comum (utilizada em oito dos catorze estudos estudados) é 1 tonelada de tomate (como se verifica em Torrelas *et al.*, 2011 e Cellura *et al.*, 2011, por exemplo). O método de AICV mais utilizado para o cálculo dos impactos de CV é o CML 2001 (Guinée *et al.*, 2002). Sete artigos aplicam o método CED para avaliar o uso de energia. Apenas cinco dos estudos considerados efetuaram uma análise ao consumo de água, sendo que três destes

utilizaram o método pegada hídrica (Almeida *et al.*, 2014; Manfredi e Vignali, 2013; Page *et al.*, 2012). Também cinco dos estudos realizaram uma análise de incerteza aos seus resultados, utilizando por exemplo simulações Monte Carlo (Page *et al.*, 2012). Quanto à multifuncionalidade, é importante referir que cinco dos estudos considerados não referem este problema. Salienta-se o estudo Martínez-Blanco *et al.* (2014), cujo foco é a forma de distribuição dos impactes ambientais da aplicação de composto, utilizando quatro abordagens com base nas normas ISO 14044:2006. Numa análise direcionada ao cultivo averiguou-se que as produtividades estudadas variavam entre 60 a 127 t/ha para o cultivo em campo aberto (Page *et al.*, 2012; Martínez-Blanco *et al.*, 2011), e 96,3 a 570 t/ha para o cultivo em estufa (Cellura *et al.*, 2011; Page *et al.*, 2012).

Destaca-se que uma das fases mais importantes do CV do tomate é cultivo e que, dependendo das práticas empregues, este pode apresentar elevados impactes ambientais. Isto verifica-se em Torrelas *et al.* (2011) (5000 kg CO₂ eq/t_{tomate} para o cultivo em estufa Venlo na Hungria utilizando o gás natural para aquecimento). Como tal, os impactes desta fase variam significativamente de acordo com os métodos de cultivo utilizados, o que se verifica com uma análise aos resultados do aquecimento global: cultivo em campo aberto (100-320 kg CO₂ eq/t_{tomate}), em estufa de plástico sem climatização (74-740 kg CO₂ eq/t_{tomate}), em estufa com regulação de temperatura (440-5000 kg CO₂ eq/t_{tomate}).

3. MODELO E INVENTÁRIO DE CV DA CASTANHA

Neste capítulo apresenta-se o modelo e inventário de CV da castanha. O capítulo encontra-se dividido em quatro seções. Na primeira seção será introduzido o sistema de produção da castanha, são apresentadas as fronteiras do sistema e a unidade funcional (UF) adotada. Na seção 3.2 encontram-se a descrição das fases de CV, os inventários necessários à realização deste estudo e as emissões diretas de cada processo. As principais simplificações e limitações serão descritas na seção 3.3.

3.1. Sistema de produção da castanha, UF e fronteiras do sistema

Na presente seção será introduzido o sistema de produção da castanha. Na Figura 3.1 apresenta-se o fluxograma do modelo de ciclo de vida da castanha adotado. As fases de CV estudadas são:

- ▶ Cultivo (operações de campo, a colheita e o transporte até à unidade fabril);
- ▶ Processamento (duas linhas de produção - fresco e congelação - e a embalagem);
- ▶ Transporte (até à plataforma logística);

As unidades funcionais escolhidas constituem um quilograma de castanha para consumo em fresco e um quilograma de castanha congelada, embalada e transportada até à plataforma logística. Foram escolhidas estas unidades funcionais por o preço da castanha ser geralmente afixado para um quilograma desta.

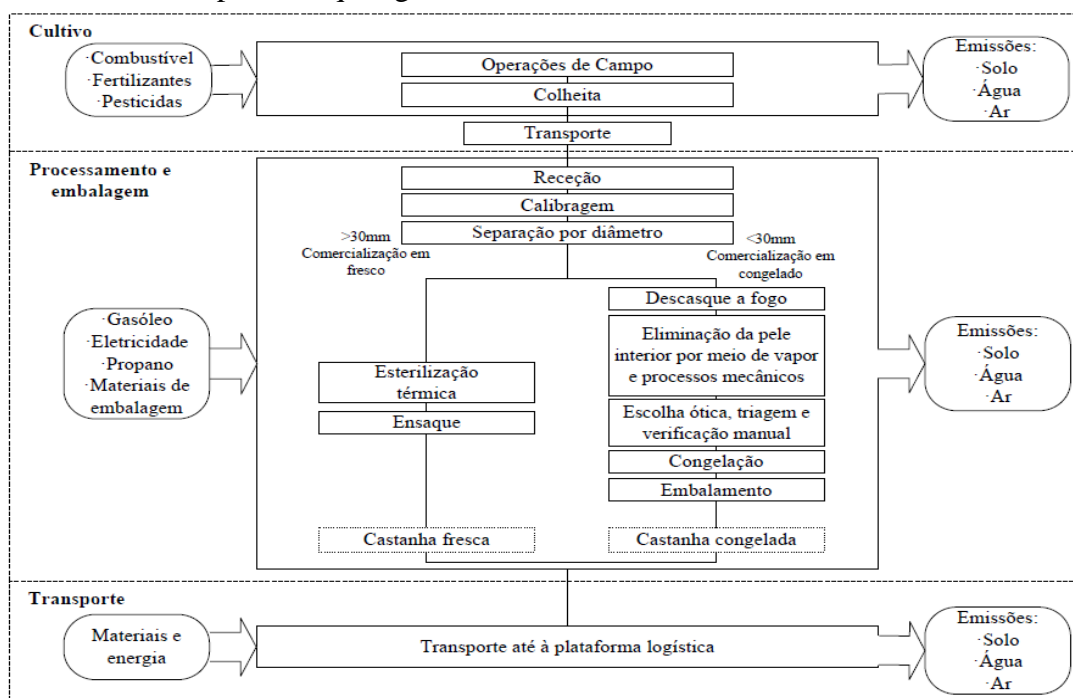


Figura 3.1 - Fluxograma do modelo de ciclo de vida da castanha

3.2. Descrição das fases de CV e inventários

A Análise do Inventário refere-se à recolha de dados e ao estabelecimento dos procedimentos de cálculo para que se possa facilitar o agrupamento destes em categorias ambientais normalmente utilizáveis e comparáveis, de modo semelhante a um balanço contábil (ISO 14041:2006). Esta fase de ACV é uma das mais demoradas sendo dificultada pela falta de dados disponíveis com qualidade.

Esta seção encontra-se dividida em quatro partes: cultivo, processamento, embalagem e transporte. Será efetuada a caracterização pormenorizada das fases de CV e serão apresentados os inventários correspondentes.

3.2.1. Cultivo

Os castanheiros são uma espécie que se encontra dispersa por vários tipos de solo. No entanto, os solos mais favoráveis para o seu cultivo são os que apresentam textura franco ou franco arenosa, possuam alguma profundidade e uma acidez média (pH 5,5). Para que a castanha atinja bons calibres e seja de qualidade é essencial que na altura do seu desenvolvimento exista disponibilidade de água no solo, sendo que as melhores produções são alcançadas quando existem precipitações de algum significado nestes meses (DRAPC, 2011). Assim, apesar de ser uma espécie rústica esta é sensível às condições edafoclimáticas e por esta razão deve ser apontado que a manutenção do solo não serve apenas para manter o bom estado sanitário do souto mas também para que se obtenham boas produções (Gomes-Laranjo *et al.*, 2007). Os principais processos incluídos na fase de cultivo são os indicados de seguida (DRATM, 2003; Costa *et al.*, 2008; DRAPC, 2011):

- Preparação do terreno – Lavoura ou ripagem a ser executada em solo seco, anteriormente à plantação dos castanheiros. A fertilização e correção do solo devem ser efetuadas de acordo com os resultados de uma análise ao solo.
- Plantação – Os agricultores mais experientes preferem plantar castanheiros na Primavera uma vez que é comum, dependendo da forma como se armazenam as sementes, que as mesmas comecem a rebentar no final de Fevereiro/Março, mesmo não estando plantadas. Na primeira fase da plantação os castanheiros são criados em viveiros. No entanto, grande parte dos agricultores não obedece a esta primeira etapa e utilizam pequenos castanheiros bravos do tipo de *Castanea sativa Mill.* Apenas um ou dois anos depois é que é feita a plantação definitiva, variando os compassos de plantação até doze em doze metros (69 árvores por ha), atendendo ao grande porte que estas árvores podem atingir.
- Enxertia – Os castanheiros enxertados com as variedades pretendidas dão frutos mais abundantes, de qualidade gustativa superior e com maior valor comercial. Esta pode ser executada em viveiro ou após plantação.

- Fertilização – Os soutos reclamam adubações que compensem as exportações de nutrientes que vão nas castanhas e na madeira podada e por esta razão, a adubação deve ser planeada em função da produção.
- Irrigação – Esta não constitui prática comum em muitos locais como por exemplo Trás-os-Montes. No entanto, quando efetuada, esta deve ser feita durante o período de crescimento do fruto (Junho a Setembro).
- Poda – Devem ser ligeiras e feitas corretamente (para ajudar à cicatrização das feridas), limitando-se apenas ao corte de pernadas ou ramos mal inseridos de modo a facilitar o arejamento e iluminação da copa. Todo o material deve ser desinfetado para evitar a possível propagação da doença do cancro.
- Mobilização do solo – As mobilizações devem ser eliminadas ou reduzidas ao mínimo, pois favorecem a erosão e compactação do solo, a diminuição da matéria orgânica e provocam feridas nas raízes superficiais (que levam à entrada do fungo responsável pela doença da tinta).
- Manutenção do coberto vegetal – A manutenção do coberto limita-se à passagem regular do destroçador, respeitando o ciclo biológico das espécies, sejam elas espontâneas ou semeadas.
- Colheita – Esta ocorre essencialmente entre o mês de Setembro e Novembro, podendo ser manual ou mecânica.

De acordo com Cerutti *et al.* (2013), ao contrário de outras culturas cujo ciclo de vida se completa em menos de um ano, os sistemas de árvores de fruto envolvem plantas com duração muito variável (10 a 30 anos) dependendo das práticas de cultivo e de gestão. Isto implica que existam processos que ocorrem apenas uma vez ao longo de todo o ciclo de vida (por exemplo, durante o estabelecimento do pomar e eliminação) e outros processos que se repetem várias vezes (por exemplo a poda e adubação).

No que à presente tese diz respeito, os inventários de CV da castanha são apresentados e analisados no restante capítulo. Para a análise ao cultivo da castanha foram utilizados dados de três produtores de castanha, dois destes pertencentes ao distrito de Bragança e um do distrito de Viseu. Salienta-se que foi considerado o castanheiro em plena produção em todos os casos analisados. As características produtivas dos três produtores (aqui designados por P1, P2 e P3) encontram-se na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Produtividade, área de cultivo e produção dos produtores de castanha considerados

	Unidades/Ano	P1		P2		P3	
		2011	2010	2011	2012	2010	2011
Área de Cultivo	[ha]	92	7		10,1		
Produção	[kg]	81080	8500	5500	8000	2300	4000
Produtividade	[kg/ha]	881,3	1214,3	785,7	1142,9	227,7	396

Salienta-se que a produtividade depende de vários fatores como as práticas de cultivo utilizadas (entradas de fertilizantes e fitossanitários, a mobilização do solo, as práticas de irrigação, etc.) e também dos fatores naturais como o clima e as características do solo. Uma produção de menor qualidade estará sobretudo ligada a anos com condições climáticas adversas, responsáveis por frutos de má qualidade fitossanitária e pequeno calibre (Matos *et al.*, 2001). Segundo Cerutti *et al.* (2013), a forte dependência dos sistemas de produção biológicos das condições do tempo traduz-se em variações na quantidade de entradas agrícolas necessárias para manter a produção no nível desejado. Por exemplo, em anos com temperaturas muito elevadas o risco de ataques de pragas aumenta drasticamente, e conseqüente aumenta o uso de agroquímicos afetando a produção e também o impacto proveniente das perdas das entradas (p.ex. por lixiviação).

Nas Tabelas 3.2 e 3.3 encontram-se expostos dados das entradas e saídas do sistema de cultivo da castanha. Os *inputs* são dados fornecidos pelos produtores de castanha em campo aberto, que se encontravam em quantidade de substância utilizada por hectare cultivado e foram convertidos para quantidade de substância por quilograma de castanha.

Tabela 3.2 - Entradas para o cultivo de 1 kg de castanha por produtor

Entradas	P1	P2		P3		
	2011	2010	2011	2012	2010	2011
Fertilizantes sintéticos [kg/kg castanha]						
N	1,0E-02	1,2E-02	1,9E-02	1,3E-02	2,0E-02	1,1E-02
K ₂ O	2,0E-02	2,5E-02	3,8E-02	2,6E-02	1,3E-01	7,5E-02
P ₂ O ₅	4,4E-02	3,5E-02	5,4E-02	3,7E-02	1,3E-01	7,5E-02
Fertilizantes orgânicos [kg/kg castanha]						
N	5,1E-03	-	-	-	1,1E-04	6,3E-05
K ₂ O	4,0E-03	-	-	-	1,3E-04	7,6E-05
P ₂ O ₅	1,6E-03	-	-	-	1,3E-04	7,6E-05
Corretivos [kg/kg castanha]						
Lithomag (61% CaCO ₃ e 23% MgCO ₃)	6,5E-01	-	-	-	-	-
Calcário Dolomítico (78% CaCO ₃ e 21% MgCO ₃)	-	-	-	-	2,9E+00	-
Fungicidas [kg/kg castanha]						
Oxicloreto de cobre	-	-	-	-	2,2E-02	1,3E-02
Fosetil de alumínio	-	-	-	-	3,3E-02	1,9E-02
Sapex (50% Cobre)	2,8E-02	-	-	-	-	-
Energia [l/kg castanha]						
Gasóleo	1,2E-02	3,5E-02	5,5E-02	3,8E-02	3,1E-01	1,8E-01
Gasolina	1,9E-04	-	-	-	-	-

As emissões associadas ao cultivo da castanha incluem as emissões decorrentes da fertilização, da combustão do gasóleo e gasolina nas operações agrícolas (Jungbluth, 2007) e da produção dos *inputs* de cultivo (Nemecek *et al.*, 2007). Relativamente às emissões da fertilização foram consideradas as emissões para o meio ambiente de N₂O diretas e indiretas (por volatilização e por lixiviação), de NH₃, NO_x, NO₃⁻, e também as emissões de CO₂ pela utilização de CaCO₃. Para este cálculo foram consultados os procedimentos de cálculo

demonstrados pelo IPCC (2006). Foram também consideradas as emissões de P e de PO_4^{3-} , e o procedimento de cálculo adotado foi consoante o demonstrado Nemecek e Schnetzer (2012).

Tabela 3.3 – Principais saídas para o meio ambiente provenientes do cultivo de 1 kg de castanha

Saídas [kg/kg castanha]	P1	P2			P3	
	2011	2010	2011	2012	2010	2011
Emissões para o ar						
N ₂ O	3,1E-04	2,6E-04	4,0E-04	2,7E-04	4,1E-04	2,4E-04
NH ₃	1,2E-03	1,5E-03	2,3E-03	1,6E-03	2,3E-03	1,3E-03
NO _x	5,1E-05	6,2E-05	9,5E-05	6,6E-05	9,8E-05	5,6E-05
CO ₂	1,7E-01	-	-	-	1,0E+00	-
Emissões para a água						
NO ₃ ⁻	2,0E-02	1,6E-02	2,5E-02	1,7E-02	2,6E-02	1,5E-02
PO ₄ ³⁻	9,1E-04	6,6E-04	1,0E-03	7,1E-04	3,5E-03	2,0E-03
P	1,2E-04	9,1E-05	1,4E-04	9,6E-05	4,2E-04	2,4E-04
Emissões para o solo						
Oxicloreto de cobre	-	-	-	-	2,2E-02	1,3E-02
Fosetil de alumínio	-	-	-	-	3,3E-02	1,9E-02
Sapex (50% Cobre)	2,8E-02	-	-	-	-	-

3.2.2. Processamento

O processamento da castanha difere segundo o fim para o qual esta se destina, sendo que existem diversas formas de a processar. “Existem mais de 300 produtos derivados da castanha, desde purés, compotas, iogurtes, cerveja ou farinha”, (Agroportal, 2011).

Nesta investigação foi selecionada uma fábrica de transformação de castanha localizada no distrito de Bragança. Analisa-se o processamento da castanha para consumo em fresco e em congelado. As etapas pertencentes ao sistema de processamento considerado encontram-se seguidamente descritas, (Soares, 2007).

As fases do processamento da castanha congelada iniciam-se pela sua receção, sendo seguidamente calibrada. A operação de calibração é feita ao milímetro, e desta resultam doze lotes desde o mais pequeno com 24 mm ou menos até ao maior com 35 mm ou mais. Após a calibração é feita a separação por calibres em que os calibres com mais de 30 mm são destinados à comercialização em fresco e os inferiores destinados ao descasque e congelação. Desta forma, as etapas que se seguem são o descasque (a fogo) e a eliminação da pele interior (realizada com auxílio de vapor e processos mecânicos). Segue-se a escolha ótica, triagem e verificação manual, a congelação e por fim o embalamento (colocação em sacos de plástico de polietileno de baixa densidade) e expedição.

No que diz respeito às etapas do processamento da castanha para consumo em fresco, estas iniciam-se também pela receção, calibragem e separação. Os calibres superiores a 30 mm vão ser sujeitos a esterilização térmica e seguidamente ensacados (em sacos de rede). Por fim, é efetuada a sua expedição.

Na sua campanha de 2010/2011 esta fábrica processou 6 897 toneladas de castanha. Deste valor 35% é encaminhado para a linha de fresco (2 414 t) e 65% para a linha de congelação (4 483 t). Quanto às entradas de energia no processamento, a linha de fresco consome 5% da energia elétrica e a linha de congelação consome 95% da eletricidade. A eletricidade é utilizada principalmente para o frio industrial, ou seja, nas centrais de frio (60,4%). É também utilizada na linha de produção (13,6%), na ventilação (11,2%) e noutros processos (restantes 14,8%). O gásóleo é utilizado unicamente para as viaturas e o gás propano nos fornos (43,2%) e no gerador de vapor (56,8%). As entradas de energia para o processamento encontram-se dispostas na Tabela 3.4. O modelo do processamento da castanha inclui as emissões decorrentes da produção e combustão do gásóleo (Jungbluth, 2007) e do propano (EPA, 2008), bem como da produção de eletricidade (Frischknecht *et al*, 2007).

Tabela 3.4 – Entradas do processamento de 1 kg de castanha

Entradas	2010/2011
Eletricidade [kWh/kg _{castanha}]	
Linha de Fresco	5,3E-02
Linha de Congelação	5,4E-01
Gasóleo [L/kg _{castanha}]	
Linha de Fresco	6,7E-03
Linha de Congelação	6,7E-03
Gás Propano [kg/kg _{castanha}]	
Linha de Fresco	1,9E-02
Linha de Congelação	2,6E-02

3.2.3. Embalagem

As embalagens são classificadas quanto à sua função em três tipos: primária, secundária e terciária. A embalagem primária encontra-se em contato direto com o produto e é responsável pela conservação e contenção deste (Poças, 2003). A embalagem secundária serve para agrupar um determinado número de unidades de venda, e pode ser retirada do produto sem afetar as suas características. Quanto à embalagem terciária esta agrupa diversas embalagens primárias e secundárias para facilitar a movimentação e o transporte destas (por exemplo as paletes de madeira).

No que a esta tese diz respeito foi modelada a embalagem de castanhas congeladas em sacos de PEBD com capacidade de 25 kg e a sua embalagem terciária. O inventário do acondicionamento da castanha congelada encontra-se seguidamente apresentado na Tabela 3.5. Como apenas foram facultados os dados da embalagem primária, assumiu-se que a embalagem terciária seria semelhante aos demais casos estudados nesta tese, referentes ao estudo BIO Intelligence Service (2008). Uma paleta suporta quarenta sacos de 25 kg de castanha, (uma tonelada). Foi suprimido o estudo da embalagem secundária, que seriam caixas de cartão, por se desconhecer o peso destas. As necessidades de material de embalagem foram calculadas para uma tonelada de castanha, no entanto, no Capítulo 5 os

resultados da castanha encontram-se por kg de castanha. O modelo da embalagem da castanha inclui as emissões decorrentes do fabrico e transporte dos materiais considerados, segundo Hischer (2007), Kellenberger (2007) e Spielmann (2007).

Tabela 3.5 - Materiais necessários ao condicionamento da castanha

Embalagem	Tipo de material	Peso unitário [kg]	Peso para uma tonelada de castanha [kg]
Primária			
Saco de plástico	PEBD	1,1E-02	4,4E-01
Secundária			
Caixa de cartão	Cartão Canelado	-	-
Terciária¹⁾			
Filme estirável	PEBD	5,0E-01	5,0E-01
Cartão base da paleta	Cartão Canelado	3,9E-01	3,9E-01
Paleta de madeira	Madeira	2,5E+01	2,5E+01

1) BIO Intelligence Service (2008)

3.2.4. Transporte

Em 2012 cerca de 70% da castanha nacional destinou-se à exportação, sendo os principais destinos a França (35,6%), a Itália (31,6%), a Espanha (14,6%) e o Brasil (14,4%) (INE e GPP, 2013a). Os cenários de exportação estudados nesta tese são a exportação para o Brasil (São Paulo) e para França (Marselha). Quanto aos cenários nacionais, foram selecionadas as cidades de Lisboa e Faro. Modelou-se o transporte em camião (*Lorry 16-32t, EURO4/RER U*) a partir da fábrica de processamento da castanha em Bragança até às plataformas de embarque, no aeroporto Francisco Sá Carneiro no Porto e também no porto de Leixões (porto marítimo). Comparou-se o transporte aéreo (*Aircraft, freight, Europe/RER U*) até ao Brasil com o transporte marítimo (*Transoceanic freight ship/OCE U*). Foram também comparados o transporte aéreo do aeroporto do Porto até Marselha com o transporte direto de Bragança a Marselha em camião (*Lorry 16-32t, EURO4/RER U*).

Na análise à distribuição nacional os destinos escolhidos foram as cidades Lisboa e Faro e o meio de transporte o camião (*Lorry 16-32t, EURO4/RER U*). As distâncias entre localizações e os meios de transporte considerados encontram-se na Tabela 3.6 seguinte.

Tabela 3.6- Cenários de transporte da castanha

Transporte Nacional			
Partida	Destino	Meio de Transporte	Distância [km]
Sortes	Lisboa	Camião	474
Sortes	Faro	Camião	711
Exportação			
Partida	Destino	Meio de Transporte	Distância [km]
Sortes	Aeroporto do Porto	Camião	202
Sortes	Porto de Leixões	Camião	205
Sortes	Marselha	Camião	1283
Aeroporto do Porto	São Paulo	Avião	8200
Aeroporto do Porto	Marselha	Avião	1175
Porto de Leixões	São Paulo	Barco	8200

3.3. Principais simplificações e limitações

As principais simplificações realizadas na ACV da castanha encontram-se de seguida apresentadas. A principal simplificação provém da consideração de apenas um produtor (P1 [2011]) e uma linha de processamento (linha de congelação) para os resultados totais de CV. Relativamente à fase de cultivo o castanheiro foi considerado em plena produção, e não foram considerados o estabelecimento do souto e sua eliminação. Em relação à fase de processamento foi apenas considerada uma campanha de processamento de castanha (2010/2011). Quanto ao acondicionamento, foi apenas considerada a embalagem primária e terciária. Não foi incluída a energia gasta no fabrico das embalagens nem a necessária ao condicionamento final. Também não foi contabilizada a embalagem secundária (caixas de cartão). Relativamente ao transporte, o ponto de partida para os cenários propostos foi o local da fábrica (em Bragança). Os mercados de exportação considerados foram fruto de um inquérito à fábrica e também foram baseados numa pesquisa no *website* do Instituto Nacional de Estatística que forneceu os principais mercados de exportação para a castanha em 2012 (INE, 2013).

A principal limitação da ACV da castanha prende-se ao facto de os resultados deste estudo serem relativos a sistemas típicos localizados na zona norte do país. Deste modo, não é adequado assumir que os resultados deste estudo sejam reproduzíveis para outros tipos de cultivo ou outras localizações.

4. MODELO E INVENTÁRIO DE CV DO TOMATE

No presente capítulo apresenta-se o modelo e inventário de CV do tomate. O capítulo está dividido em quatro secções. Na primeira secção introduz-se o sistema de produção do tomate, descrevem-se as fronteiras do sistema e a unidade funcional (UF) adotada. Na segunda secção caracterizam-se as fases de CV, os inventários e as emissões diretas de cada processo. As principais simplificações e limitações são discutidas na secção 4.3.

4.1. Sistema de produção do tomate, UF e fronteiras do sistema

Nesta secção será introduzido o sistema de produção de tomate. Na Figura 4.1 encontra-se explícito o diagrama de fluxos do presente estudo e também se encontram delimitadas as fronteiras do sistema. As fases de CV analisadas são:

- ▶ Cultivo (preparação do terreno, plantação, operações de campo, colheita e transporte até à unidade fabril);
- ▶ Processamento (quatro linhas de produção de derivados de tomate: polpa e concentrado, tomate cortado e tomate pelado);
- ▶ Embalagem (três formatos diferentes: frasco de vidro, pacote e lata);
- ▶ Transporte até à plataforma logística.

A unidade funcional escolhida é uma tonelada de tomate processado, embalado e transportado até à plataforma logística. Esta UF foi escolhida para que se possa efetuar a comparação entre os resultados deste estudo com os da literatura existente. Os processos incluídos no sistema em análise são o cultivo, o processamento, a embalagem e o transporte.

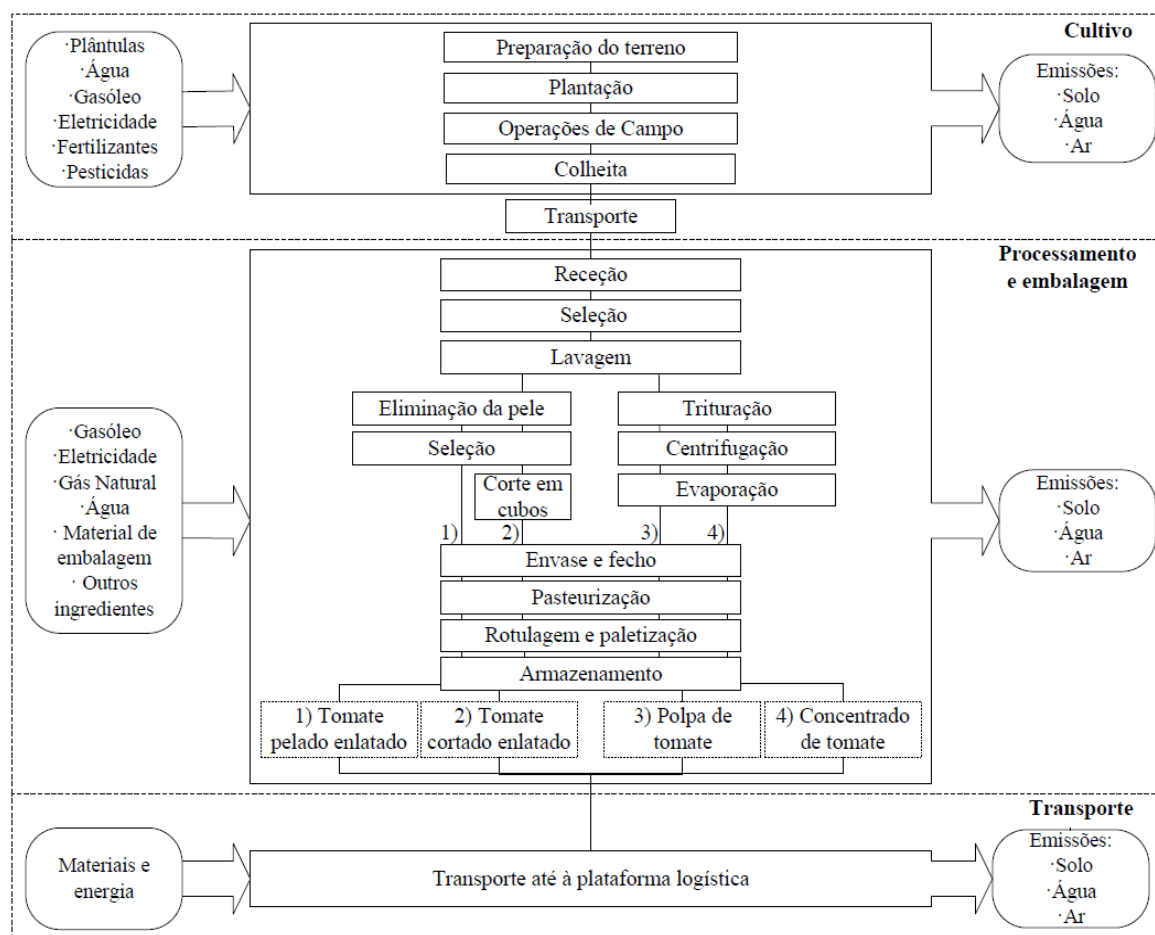


Figura 4.1 – Fluxograma de CV do tomate

4.2. Descrição das fases de CV e inventários

Nesta seção caracterizam-se as fases de CV do tomate e os inventários correspondentes. A seção está dividida em quatro partes, correspondentes às fases de CV analisadas: cultivo (4.2.1), processamento (4.2.2), embalagem (4.2.3) e transporte (4.2.4).

4.2.1. Cultivo

No que diz respeito às operações da fase de cultivo do CV do tomate estas encontram-se descritas seguidamente (com base no estudo da Disqual, Manual de Boas Práticas do Tomate). Os produtores de tomate considerados não têm viveiro (ou seja não fazem sementeira de tomate), mas sim compram as plântulas já na fase de desenvolvimento oportuna à transplantação. As principais fases do cultivo do tomate são:

- ▶ **Preparação do terreno:** Previamente à instalação da cultura e depois de ser feita uma fertilização inicial e correção dos solos, são utilizadas máquinas para mobilizar o solo e nivelá-lo (lavragem e gradagem ou rotofresa). O

intuito destas mobilizações é eliminar as ervas infestantes, promover a conservação da humidade no solo e assim aumentar a sua fertilidade.

- ▶ **Plantação:** Depois de adquiridas as plântulas, estas são transferidas para o local de crescimento final.
- ▶ **Irrigação ou fertirrigação:** Geralmente, o tipo de irrigação utilizado é o sistema gota-a-gota. Este permite, em adição ao fornecimento de água, fornecer também as adubações de cobertura, que por ser um processo simultâneo se chama vulgarmente por fertirrigação.
- ▶ **Fertilização:** A aplicação de fertilizantes deve ter em conta as necessidades da cultura em causa. Por outro lado, pode ser vantajoso o uso de estrume o que implica uma redução nas necessidades de fertilizantes químicos. O estrume é colocado no topo do solo e depois é feita a gradagem. Este é colocado antes de ser feita a adubação de fundo pois liberta mais rapidamente o azoto nele contido.
- ▶ **Gestão de infestantes:** Esta pode ser realizada com auxílio de herbicidas, por meio de sachas ou arranque manual de ervas daninhas.
- ▶ **Gestão de pragas e doenças:** A utilização de pesticidas é uma prática comum que advém da necessidade de controlo e eliminação de organismos prejudiciais à plantação. De forma a diminuir a sua utilização os sistemas de proteção integrada preconizam que devem ser evitadas certas condições que são ótimas ao desenvolvimento de doenças e pestes e assim racionalizar o consumo de agrotóxicos e acercar os modelos de agricultura sustentável.
- ▶ **Gestão da vegetação e da produção:** esta fase abrange vários procedimentos realizados aquando o desenvolvimento do tomateiro:
 - **Tutoragem:** Este é o processo de enrolamento da planta a fios, ramos ou a uma estrutura de forma a tuturar e acompanhar o seu crescimento.
 - **Poda e desfolha:** Estas operações consistem na eliminação dos rebentos das axilas da planta e de algumas folhas para que sejam melhoradas a ventilação, a iluminação e a polinização.
 - **Desponta:** No caso das espécies de tomateiro a cultivar serem de crescimento indeterminado, deve efetuar-se um corte no rebento terminal da planta, para que se reduza o ciclo da cultura e se obtenham frutos mais precoces e de maior calibre.
 - **Monda de frutos:** Este processo consiste na eliminação de frutos com defeito quando ainda pequenos pois estes além de sobrecarregarem a planta e não terem valor comercial, vão limitar o crescimento dos frutos sãos.
- ▶ **Colheita:** Processo pelo qual os frutos do tomateiro são apanhados após atingida a maturação fisiológica. Esta pode ser manual ou mecanizada, sendo

que no presente estudo o tomate é colhido com auxílio a máquinas colhedoras.

No que à presente tese diz respeito, os inventários de CV relativos ao tomate são expostos e analisados no restante capítulo. Para a análise ao cultivo do tomate foram utilizados dados de cinco produtores de tomate no distrito de Santarém. Na Tabela 4.1 encontram-se as características produtivas dos cinco produtores (aqui designados por A, B, C, D e E).

Tabela 4.1 - Produtividade, área de cultivo e produção dos produtores de tomate considerados em 2012

	Unidade	P [A]	P [B]	P [C]	P [D]	P [E]
Área de Cultivo	[ha]	150	16	150	65	35
Produção	[t]	13500	1200	12750	6000	4830
Produtividade	[t/ha]	90	75	85	92,3	138

Ao contrário da produção industrial, onde a quantidade de produto comercial é conhecida e dada como função dos *inputs* fornecidos, os sistemas biológicos podem ter rendimentos variáveis, dependendo das condições ambientais (Cerutti *et al.*, 2013). Segundo o mesmo autor, a forte dependência dos sistemas de produção biológicos das condições ambientais expressa-se em variações na quantidade de *inputs* agrícolas necessários para manter a produção no nível desejado.

Na Tabela 4.2 encontram-se expostos dados das entradas no sistema de cultivo do tomate. Como já foi referido, estes valores são dados fornecidos por produtores de tomate em campo aberto. Na Tabela 4.3 encontram-se as principais saídas do sistema de cultivo de tomate. As emissões associadas ao cultivo do tomate incluem as emissões decorrentes da fertilização, da combustão do gasóleo nas operações agrícolas (Jungbluth, 2007), da produção de eletricidade (Frischknecht *et al.*, 2007) e da produção dos *inputs* de cultivo (Nemecek *et al.*, 2007). Quanto às emissões da fertilização foram consideradas as emissões para o meio ambiente de de N₂O diretas e indiretas, de NH₃, NO_x e de NO₃⁻. Para este cálculo foram utilizados os procedimentos de propostos pelo IPCC (2006). Foram também calculadas as emissões de P e de PO₄³⁻ seguindo Nemecek e Schnetzer (2012).

Tabela 4.2 - Entradas para o cultivo de 1 tonelada de tomate por produtor

Entradas	P [A]	P [B]	P [C]	P [D]	P [E]
Fertilizantes sintéticos [kg/t _{tomate}]:					
N	6,7E-01	1,0E+00	2,1E+00	1,8E-01	2,2E-01
K ₂ O	2,9E+00	1,5E+00	2,9E+00	7,5E-03	5,8E-02
P ₂ O ₅	1,5E+00	2,0E+00	2,6E+00	5,3E-01	3,3E-01
KNO ₃	-	6,7E-01	-	-	-
Fertilizantes sintéticos [kg/t _{tomate}]:					
N	-	1,0E+00	-	1,7E+00	1,1E+00
K ₂ O	-	5,1E-01	-	8,2E-01	5,5E-01
P ₂ O ₅	-	8,6E-01	-	1,4E+00	9,3E-01
Pesticidas [kg/t _{tomate}]:					
Metame-sódio	-	-	-	1,0E+00	6,8E-01
Herbicidas [kg/t _{tomate}]:					
Metribuzina	-	4,2E-03	5,4E-03	-	3,3E-03
Rinsulfurão	-	2,0E-04	-	-	-
Fungicidas [kg/t _{tomate}]:					
Mancosebe	2,4E-02	-	1,4E-02	-	-
Enxofre	-	5,3E-01	-	-	8,3E-02
Folpete	-	-	1,5E-02	-	5,3E-03
Inceticidas [kg/t _{tomate}]:					
Lambda-cialotrina	-	-	1,9E-04	-	-
Alfa-cipermetrina	-	-	-	-	5,1E-05
Deltametrina	-	-	-	-	7,6E-05
Energia:					
Elettricidade [kWh/t _{tomate}]	1,3E+01	1,6E+01	3,1E+01	3,0E+01	1,9E+01
Gasóleo [L/t _{tomate}]	3,5E+00	7,7E+00	5,2E+00	9,8E+00	6,5E+00
Água [m ³ /t _{tomate}]	4,7E+02	1,2E+02	7,9E+01	2,8E+02	4,3E+02

Tabela 4.3 – Principais saídas para o meio ambiente provenientes do cultivo de 1 tonelada de tomate

Saídas [kg/t_{tomate}]	P [A]	P [B]	P [C]	P [D]	P [E]
Emissões para o ar:					
N ₂ O	1,4E-02	4,1E-02	4,3E-02	3,6E-02	2,6E-02
NH ₃	8,0E-02	1,2E-01	2,5E-01	2,2E-02	2,6E-02
NO _x	3,3E-03	5,0E-03	1,0E-02	9,1E-04	1,1E-03
Emissões para a água:					
NO ₃ ⁻	8,9E-01	2,7E+00	2,7E+00	2,5E+00	1,8E+00
PO ₄ ³⁻	1,0E-02	1,5E-02	1,2E-02	1,3E-02	7,1E-03
P	3,5E-03	6,5E-03	3,7E-03	3,4E-03	2,3E-03
Emissões para o solo:					
Metame-sódio	-	-	-	1,0E+00	6,8E-01
Metribuzina	-	4,2E-03	5,4E-03	-	3,3E-03
Rinsulfurão	-	2,0E-04	-	-	-
Mancosebe	2,4E-02	-	1,4E-02	-	-
Enxofre	-	5,3E-01	-	-	8,3E-02
Folpete	-	-	1,5E-02	-	5,3E-03
Lambda-cialotrina	-	-	1,9E-04	-	-
Alfa-cipermetrina	-	-	-	-	1,0E-04
Deltametrina	-	-	-	-	1,0E-04

4.2.2. Processamento

No que diz respeito às operações decorrentes do processamento do tomate, estas dependem do produto final pretendido. O tomate pode ser congelado, seco, transformado em sumo, polpa, concentrado, geleia, compota, enlatado aos cubos ou pelado, entre outros (França, 2007; USDA, 2009). No presente estudo, os produtos finais analisados são a polpa de tomate, o concentrado de tomate, o tomate cortado e o tomate pelado. De seguida serão sucintamente descritas as fases do processamento industrial do tomate para a obtenção dos produtos considerados, de acordo com APA (2012).

- ▶ **Receção, classificação, pesagem e descarga:** Ao chegar à fábrica o tomate é pesado, classificado e valorizado segundo critérios de qualidade.
- ▶ **Transporte:** O tomate é transportado em canais com água que o direcionam para a zona de processamento enquanto é lavado.
- ▶ **Seleção:** Os tomates são escolhidos manualmente enquanto passam através de uma esteira com roletes de forma a retirar os tomates com defeito.
- ▶ **Lavagem:** O objetivo desta fase é retirar as impurezas aderidas ao tomate. Normalmente é feita também uma lavagem por aspersão onde o tomate rola sobre esteiras por baixo de aspersores que emitem água a alta pressão para retirar a água suja e sujidade restantes.
- ▶ **Fases específicas a cada tipo de produto:**
 - **Polpa e concentrado de tomate:** De acordo com Manfredi e Vignali (2013) e APA (2012), após a lavagem inicia-se a preparação do sumo. O tomate é triturado e aquecido, para se efetuar a inativação enzimática. As temperaturas utilizadas no aquecimento serão maiores ou menores dependendo da consistência e tipo de produto que se pretende obter. É seguidamente efetuada a refinação em que o produto é encaminhado por passadores/refinadores e nestes se efetua a extração do sumo e remoção das peles e sementes. Seguidamente o produto é encaminhado para os evaporadores. Aqui o sumo de tomate é concentrado através do seu aquecimento e da evaporação da água contida. O nível de concentração aumenta gradualmente até que a densidade desejada seja atingida. Segue-se a esterilização que consiste no aquecimento do produto a temperaturas de esterilização e arrefecimento até às temperaturas de enchimento, mediante permutadores de calor tubulares. O produto é de seguida encaminhado para a linha de enchimento, onde é introduzido na embalagem.
 - **Tomate picado:** De acordo com Del Borghi *et al.* (2014) os tomates são escaldados a vapor, passados por máquinas de descasque e cortados em pequenos cubos por um cortador eletrónico. É então adicionado sumo de tomate levemente concentrado aos tomates picados e segue-se a sua embalagem e pasteurização.

- Tomate pelado: Segundo o mesmo autor, após o processo de seleção e lavagem, os tomates frescos são escaldados e descascados. Em seguida é realizada outra seleção manual para eliminar qualquer tomate não adequado para o processamento. Durante o processo de embalagem é adicionado sumo de tomate levemente concentrado previamente à selagem e pasteurização das latas.
- ▶ Após o enchimento e fecho das embalagens segue-se a sua rotulagem, acondicionamento e armazenamento para posterior transporte.

Nesta investigação a análise ao processamento do tomate foi realizada com base em dados retirados da literatura. Como não foi possível obter dados específicos para Portugal no espaço de tempo de realização desta tese, optou-se pela realização de uma análise com base noutros estudos do tomate. Foram então eleitos quatro tipos de produtos de tomate processado: concentrado de tomate, polpa de tomate, tomate em cubos e tomate pelado. Os estudos correspondentes aos produtos de tomate analisados encontram-se explícitos na Tabela 4.4, bem como a quantidade de tomate fresco necessária ao fabrico do produto final (concentração).

Tabela 4.4 – Referências às quais pertencem os dados utilizados na análise ao processamento do tomate

Estudo	Produto final	Designação	Quantidade de tomate fresco para produzir 1 kg de tomate processado [kg]
[1] Del Borghi <i>et al.</i> (2014)	Polpa de tomate	Polpa [1]	1,8
	Tomate cortado	Pedaços [1]	1,5
	Tomate pelado	Pelado [1]	1,3
[2] Brodt <i>et al.</i> (2013)	Concentrado de tomate	Conc. [2]	6
	Tomate em cubos	Pedaços [2]	1,3
[3] Manfredi e Vignali (2013)	Polpa de tomate	Polpa [3]	2

Na Tabela 4.5 encontram-se as entradas de energia necessárias ao fabrico dos produtos de tomate considerados. O modelo de processamento do tomate inclui as emissões decorrentes da produção e combustão do gasóleo (Jungbluth, 2007) e gás natural (Faist-Emmenegger *et al.*, 2007), bem como da produção de eletricidade (Frischknecht *et al.*, 2007).

Tabela 4.5 – Entradas de energia para o processamento de 1 tonelada de tomate

Entradas	Polpa [1]	Pedaços [1]	Pelado [1]	Conc. [2]	Pedaços [2]	Polpa [3]
Energia:						
Eletricidade [kWh/t _{tomate}]	9,0E+01	1,0E+02	1,3E+02	4,5E+01	7,7E+00	2,2E+01
Gás Natural [MJ/t _{tomate}]	3,8E+03	2,7E+03	2,5E+03	8,9E+03	1,5E+03	8,8E+02
Gasóleo [kg/ t _{tomate}]	-	-	-	-	-	2,2E+00

4.2.3. Embalagem

Nesta subsecção são apresentados os inventários da embalagem do tomate, sendo que na presente tese foram modeladas a embalagem primária, secundária e terciária. Primeiramente será abordado o pacote Tetra Recart 390 mL, de seguida os frascos de vidro de 0,5 e 1 L e por fim a lata de conserva de 400 g.

4.2.3.1. Tetra Recart 390 mL

Os dados aqui apresentados foram retirados do artigo BIO Intelligence Service (2008). Na Tabela 4.6 estão dispostas as entradas de materiais necessárias às embalagens primárias, secundárias e terciárias. Para empacotar uma tonelada de tomate processado, são necessárias 2565 embalagens TR 390 mL. O modelo do acondicionamento do tomate na embalagem Tetra Recart inclui as emissões decorrentes do fabrico e transporte dos materiais considerados, com base em Hischer (2007), Kellenberger (2007), Spielmann (2007) e Classen (2009). Inclui também as emissões decorrentes da produção e combustão do gás natural (Faist-Emmenegger *et al.*, 2007), bem como da produção de eletricidade (Frischknecht *et al.*, 2007).

Tabela 4.6 - Materiais necessários à produção de 2565 embalagens TR 390 mL (BIO Intelligence Service, 2008).

Embalagem	Peso unitário [g]	Peso para uma tonelada de tomate processado [kg]
Primária		
PE externo	7,4E-01	1,9E+00
Cartão para líquidos	1,2E+01	3,0E+01
Alumínio	1,2E+00	3,1E+00
PP	4,0E+00	1,0E+01
Polyamide 6 (PA6)	4,0E-01	1,0E+00
Tintas concentradas	3,0E-04	8,0E-04
Verniz	4,5E-04	1,2E-03
Água	4,0E-04	1,0E-03
Secundária		
Cartão ondulado	1,4E+03	1,3E-01
Papel pardo laminado	5,5E+02	5,0E-02
Papel pardo	3,0E+03	1,2E+00
Capsula de papel	6,0E+03	5,5E-01
Capa de plástico	2,7E+03	2,5E-01
Terciária		
Folhas de papel intercalar	2,3E+02	1,4E+00
Cartão de fundo da palete	3,9E+02	1,1E+00
Filme plástico	2,5E+02	7,5E-01
Palete	2,5E+04	7,5E+01

Em adição é também modelado o transporte da fábrica da Tetra Pak em Madrid até Santarém, num total de 538 km. Na Tabela 4.7 seguidamente apresentada encontram-se os

consumos de energia e outros recursos utilizados na impressão, laminação, enchimento e condicionamento de 2565 embalagens TR 390 mL.

Tabela 4.7 - Consumos totais de energia e outros recursos necessários à produção de 2565 embalagens TR 390 mL (BIO Intelligence Service, 2008).

Entradas	Unidade	
Eletricidade	[GJ]	1,8E-01
GPL	[GJ]	1,0E-03
Gás Natural	[GJ]	5,0E-02
Ar comprimido	[L]	2,5E-01
Nitrogénio	[L]	1,4E+00
Vapor de água (130°C)	[Kg]	1,1E+00
Água	[L]	7,5E-01

4.2.3.2. Frasco de Vidro de 0,5 L e de 1 L

Os dados apresentados nas tabelas seguintes foram retirados do estudo Ribeiro (2002). Para a embalagem de uma tonelada de tomate processado em frascos de vidro de 0,5 L são necessárias 2000 unidades. Na Tabela 4.8 encontram-se as entradas materiais necessárias às embalagens primárias, secundárias e terciárias. O modelo do acondicionamento do tomate nas embalagens de vidro do tomate abrange as emissões decorrentes do fabrico e transporte dos materiais considerados, com base em Hischier (2007), Kellenberger (2007) e Spielmann (2007).

Tabela 4.8 - Materiais necessários à produção 2000 embalagens de vidro de 0,5 L (Ribeiro, 2002).

Embalagem	Material e peso unitário [g]	Peso para uma tonelada de tomate processado [kg]
Primária		
Embalagem vidro 520g	Vidro	2,5E+02
Cápsula	Folha Flandres	7,2E+00
Rótulo de papel	Papel	9,0E-01
Sleeve	PEBD	3,0E-01
Secundária		
Filme retráctil	PEBD	2,6E+01
Bandeja de cartão	Cartão Canelado	4,9E+01
Terciária		
Filme estirável	PEBD	5,0E+02
Paleta de madeira	Madeira	2,5E+04

Por sua vez, para embalar uma tonelada de tomate processado em frascos de vidro de 1 L são necessárias 1000 unidades. Na Tabela 4.9 encontram-se as entradas materiais necessárias às embalagens primárias, secundárias e terciárias.

Tabela 4.9 - Materiais necessários à produção 1000 embalagens de vidro de 1 L (Ribeiro, 2002).

Embalagem	Material e peso unitário [g]	Peso para uma tonelada de tomate processado [kg]
Primária		
Embalagem vidro 1050g	Vidro	5,0E+02
Cápsula	Folha Flandres	7,2E+00
Rótulo de papel	Papel	9,0E-01
Sleeve	PEBD	3,0E-01
Secundária		
Filme retráctil	PEBD	2,6E+01
Bandeja de cartão	Cartão Canelado	4,9E+01
Terciária		
Filme estirável	PEBD	5,0E+02
Palete de madeira	Madeira	2,5E+04

É também modelado o transporte a partir de uma fábrica de garrafas de vidro na Amadora até Santarém, num total de 96,4 km.

4.2.3.3. Lata de 400 g

Para o condicionamento de uma tonelada de tomate processado são necessárias 2500 latas de 0,4 kg. Os dados seguidamente apresentados concernem ao estudo BIO Intelligence Service (2008). Na Tabela 4.10 encontram-se as entradas materiais correspondentes à embalagem primária, secundária e terciária. Quanto ao modelo de acondicionamento do tomate em lata este inclui as emissões decorrentes do fabrico e transporte dos materiais considerados, com base em Hischier (2007), Kellenberger (2007), Spielmann (2007) e Classen (2009). Inclui também as emissões decorrentes da produção e combustão do gás natural (Faist-Emmenegger *et al.*, 2007), bem como da produção de eletricidade (Frischknecht *et al.*, 2007).

Tabela 4.10 - Materiais necessários à produção 2500 latas de 0,4 kg (BIO Intelligence Service, 2008).

Embalagem	Material e peso unitário [g]	Peso para uma tonelada de tomate processado [kg]
Primária		
Lata	Aço	5,4E+01
Rótulo	Papel	2,0E+00
Secundária		
Caixa de cartão	Cartão canelado	1,7E+01
Filme retráctil	PEBD	1,3E+01
Terciária		
Cartão de fundo de palete	Cartão canelado	3,8E+02
Filme estirável	PEBD	2,5E+02
Palete de madeira	Madeira	2,5E+04

É também modelado o transporte de uma fábrica de latas em Lisboa até Santarém, num total de 92,3 km. Na Tabela 4.11 encontram-se os consumos de energia e outros recursos utilizados no enchimento e condicionamento de 2500 latas de 0,4 kg.

Tabela 4.11 - Consumos de energia e outros recursos para o enchimento e condicionamento de 2500 latas de 0,4 kg (BIO Intelligence Service, 2008).

Consumo de energia e outros recursos	Unidade	
Eletricidade	[kJ]	2,8E+00
Ar comprimido	[L]	2,9E+00
Nitrogénio	[L]	1,0E+00
Vapor de água	[kg]	2,0E-03
Água	[L]	6,3E-02

4.2.4. Transporte

Em 2012 mais de noventa por cento do tomate transformado em Portugal foi exportado, sendo os principais mercados o Reino Unido (30%), a Espanha (12,4%), o Japão (12,3%) e a Alemanha (9,5%) (INE e GPP, 2013b). Os cenários de exportação analisados nesta tese são a exportação para Inglaterra (Londres) e para a Alemanha (Berlim). Quanto aos cenários nacionais, foi estudado o transporte para Porto e Faro. Foi modelado o transporte em camião (*Lorry 16-32t, EURO4/RER U*) a partir da fábrica de processamento de tomate em Santarém até ao aeroporto da Portela em Lisboa e seguido pelo transporte em avião (*Aircraft, freight, Europe/RER U*) para Londres e Berlim, os quais são comparados com o transporte direto em camião (*Lorry 16-32t, EURO4/RER U*).

Quanto à distribuição nacional, a análise teve como destinos as cidades Porto e Faro e o meio de transporte utilizado foi o camião (*Lorry 16-32t, EURO4/RER U*).

As distâncias entre localizações e os meios de transporte considerados encontram-se na Tabela 4.12.

Tabela 4.12- Cenários de transporte do tomate

Transporte Nacional			
Partida	Destino	Meio de Transporte	Distância [km]
Santarém	Porto	Camião	246
Santarém	Faro	Camião	307
Exportação			
Partida	Destino	Meio de Transporte	Distância [km]
Santarém	Aeroporto de Lisboa	Camião	87
Santarém	Londres	Camião	2110
Santarém	Berlim	Camião	2700
Aeroporto de Lisboa	Londres	Avião	1586
Aeroporto de Lisboa	Berlim	Avião	2300

4.3. Principais simplificações e limitações

As principais simplificações da ACV do tomate encontram-se seguidamente apresentadas. A principal simplificação prende-se com o fato de para os resultados de CV completo apenas se considerar um produtor (P[B]), um tipo de processamento (polpa) e um tipo de embalagem (frasco de vidro de 0,5 L). Em relação ao cultivo, a produção de sementes/transplantes e seu transporte não foram incluídos. O tamanho dos camiões e distâncias percorridas até ao local de processamento foram baseados em dados fornecidos pelos produtores de tomate. O material estrutural utilizado no cultivo do tomate (fita-rega) foi assumido fora das fronteiras deste estudo. Em relação ao processamento, por falta de dados específicos para Portugal, adotaram-se dados do processamento do tomate retirados da literatura. Quanto à fase de embalagem foram considerados quatro formatos, sendo que os dados destas provém da literatura. Em relação ao transporte, como não foram disponibilizados dados específicos do processamento do tomate em Portugal, não foi estudada nenhuma fábrica portuguesa em concreto. Adotou-se para ponto de partida para o transporte (que seria o local da fábrica) Santarém (pois é nesta localização que é efetuado o cultivo e nela existem atualmente várias fábricas de processamento). Assim, também os mercados de exportação são gerais para Portugal continental e foram baseados numa pesquisa no *website* do Instituto Nacional de Estatística que forneceu os principais mercados de exportação para o tomate transformado em 2012 (INE e GPP, 2013b).

A principal limitação refere ao fato dos resultados da análise ao cultivo do tomate serem relativos a sistemas de cultivo em campo aberto em Santarém. Portanto, não é apropriado assumir que os resultados sejam reproduzíveis para outros tipos de cultivo ou outras zonas do país.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresentam-se os resultados da aplicação da ACV à castanha e ao tomate e é feita a sua análise. Na primeira seção são introduzidos os métodos de Avaliação de Impactes de Ciclo de Vida (AICV). Na segunda seção deste capítulo são analisados os resultados relativos à castanha e na terceira seção os relativos ao tomate. Na quarta e última seção é feita uma comparação entre os resultados obtidos na ACV do tomate e os da literatura estudada no Capítulo 2.

5.1. Métodos de AICV utilizados

Os métodos de AICV utilizados para a realização deste estudo foram o CML 2001 (V2.05 / World, 1995) (Guinée *et al.*, 2002) e o ReCiPe (V1.07 / Midpoint (H)) (Goedkoop *et al.*, 2013). As categorias do CML 2001 consideradas foram a depleção abiótica, a acidificação, a eutrofização, o aquecimento global (GWP 100a), a depleção da camada de ozono e a oxidação fotoquímica. No que ao ReCiPe diz respeito, foi utilizada a versão ao nível *midpoint*, hierárquica (H). As categorias do ReCiPe estudadas foram as toxicológicas (toxicidade humana, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade de água doce e ecotoxicidade marinha). Foi escolhido o CML e as categorias acima apresentadas para que se possa efetuar uma comparação dos resultados da presente tese relativos ao tomate e os resultados dos estudos figurados no Capítulo 2. O ReCiPe vem assim completar as categorias escolhidas do CML com as categorias de toxicidade. Após a computação no *software* SimaPro 7.3, foram obtidos os resultados respeitantes às categorias de impacto já referidas e encontram-se apresentados em forma de gráficos que possibilitam a melhor visualização e comparação dos diversos impactes respeitantes aos vários processos considerados.

5.2. Avaliação dos impactes ambientais de ciclo de vida da castanha

A presente seção encontra-se dividida em três partes. Primeiramente são caracterizados os impactes ambientais resultantes do cultivo da castanha. Na segunda parte são analisados os resultados do processamento. Por fim na terceira e última parte, são discutidos os resultados relativos aos cenários de transporte propostos.

5.2.1. Cultivo

No que diz respeito aos impactes decorrentes da fase do cultivo da castanha os resultados obtidos encontram-se seguidamente expostos, numa vista pormenorizada das contribuições para as categorias de impacto para os três produtores em diferentes anos.

Através da análise da Figura 5.1 verifica-se que P3[2010] é o produtor com maior impacto para o meio ambiente em todas as categorias consideradas, seguindo-se P3[2011] (exceto na ecotoxicidade de água doce [I]). Uma das razões para explicar este fato assenta na baixa produtividade deste produtor comparativamente aos outros dois (cerca de um quarto da média dos outros produtores). Os produtores P1 e P3 como aplicam pesticidas apresentam impacto acrescido em relação a P2. A contribuição da fase de transporte é mínima para todas as categorias de impacto analisadas.

Da observação da Figura 5.1 [A] verifica-se que o fator que mais contribui para a depleção abiótica para P3[2010] é o consumo de gasóleo (46%), seguindo-se e a produção de fertilizantes (32%). As contribuições dos pesticidas para os impactes de P1 são provocadas pelo fungicida sapec (32%) e para o P3 advém da aplicação dos fungicidas fosetil de alumínio e oxiclreto de cobre (21%). P2 não efetua aplicação de pesticidas e como tal as maiores contribuições nesta categoria advém da aplicação de fertilizantes (60%) e do consumo de gasóleo (37-38%). As emissões nesta categoria variam entre 0,002 e 0,014 kg Sb eq/kg_{castanha} para P2 [2010] e P3 [2010] respetivamente.

Em [B] as maiores contribuições para o aquecimento global (exceto P3[2011]) advém da produção de fertilizantes e das emissões decorrentes da sua aplicação (que em conjunto têm uma contribuição de 54-70% do impacto). Para P3[2011] a maior contribuição provém do consumo de gasóleo (47%). Quanto a P2 e P3[2010] a segunda maior contribuição provém do consumo de gasóleo (32-33%) e para P1[2011] provém da aplicação do pesticida sapec (38%). É de notar que as emissões de P3[2010] nesta categoria são 89% superiores ao produtor com menores impactes nesta categoria (P2 em 2012). As emissões variam entre 0,37 e 3,26 kg CO₂ eq/kg_{castanha}, para P2 [2010] e P3 [2010] respetivamente.

No que diz respeito à acidificação [C] a maior contribuição para esta categoria para P1 e P3 é a produção de fertilizantes (50-53%) e para P2 são as emissões de NH₃ decorrentes da fertilização (48%). Os resultados desta categoria variam de 0,005 a 0,018 kg SO₂ eq/kg_{castanha} para P2 [2010] e P3 [2010].

No que diz respeito à Figura 5.2 em relação à eutrofização [D], a maior contribuição para os impactes ambientais provém das emissões da fertilização (entre 65-85%) pois estas provocam um nível excessivo de macronutrientes (essencialmente de NO₃⁻ e PO₄³⁻). As emissões variam entre 0,004 e 0,0013 kg PO₄³⁻ eq/kg de castanha, para P2 [2010] e P3 [2010] respetivamente.

Em relação à depleção da camada de ozono [E] as emissões variam entre 3,4E-08 e 3,7E-07 kg CFC⁻¹¹ eq/kg_{castanha} para P2 [2010] e P3 [2010]. O fator dominante para o impacto de P1 é a aplicação de sapec (87%). Para P3 é também a aplicação de pesticidas (42%), principalmente oxiclreto de cobre (80%), seguindo-se a contribuição do gasóleo (41%). Em

relação a P2 [2010] e P2 [2012] o consumo de gasóleo gera 50% do impacte e quanto a P2 [2011] a produção de fertilizantes gera 64% do impacte.

Para a oxidação fotoquímica [F] o fator que mais influi é a produção de fertilizantes (de 57% para P3 [2011] a 80% para P2). As emissões variam entre 0,0001 a 0,0006 kg C₂H₄ eq/kg_{castanha}, para P2 [2010] e P3 [2010] respetivamente.

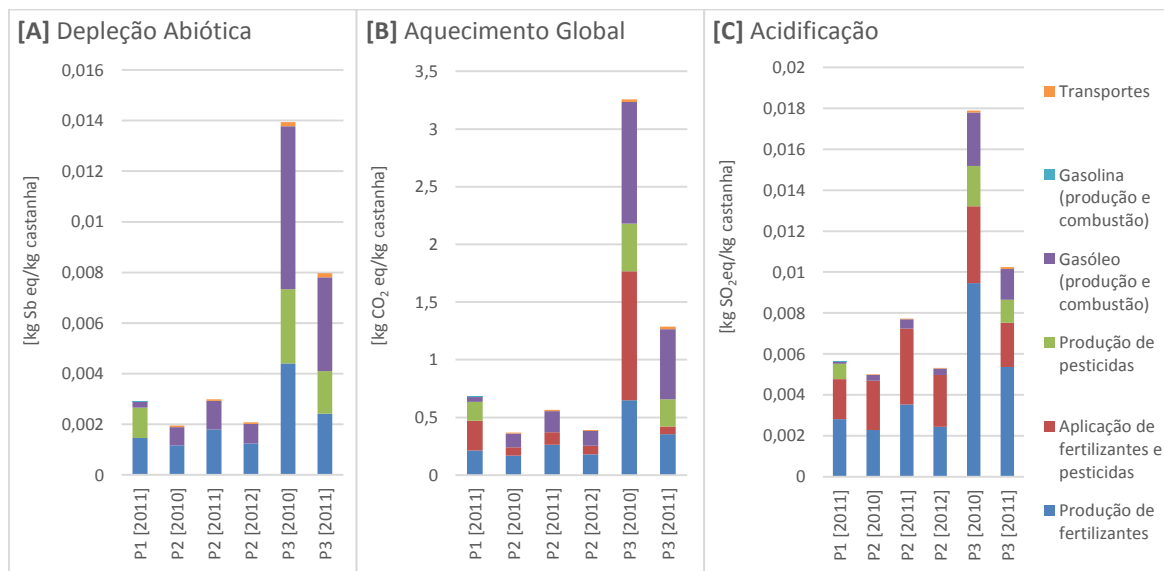


Figura 5.1 – Impacte ambiental por kg de castanha cultivada. [A] Depleção abiótica; [B] Aquecimento global; [C] Acidificação.

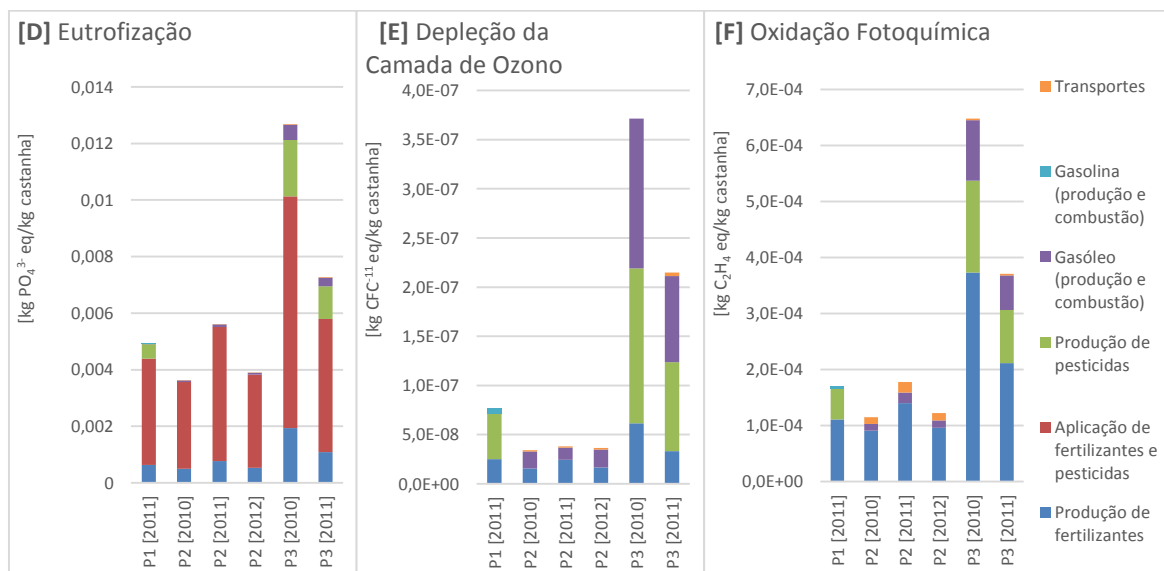


Figura 5.2 – Impacte ambiental por kg de castanha cultivada. [D] Eutrofização; [E] Depleção da camada de ozono; [F] Oxidação fotoquímica.

O fator que mais influi para a toxicidade humana é a produção de fertilizantes (54-96%), como se pode observar na Figura 5.3 [G], variando os impactes entre 0,1 e 0,7 kg 1,4-DB eq/kg_{castanha}, para P2 [2010] e P3 [2010]. Em P3 a contribuição dos pesticidas (41%) provém principalmente da produção do fosetil de alumínio (59%), e para P1 do sapec (38%). No que diz respeito à ecotoxicidade terrestre [H] e à ecotoxicidade de água doce (Figura 5.4

[I]), os impactes superiores provém da aplicação de fertilizantes e pesticidas (67-99%). Em concreto para [H] os impactes de P3 provém das emissões para o solo de fosetil de alumínio. Para [I] as emissões de fósforo para a água são o factor preponderante em todos os produtores. Os valores máximos de emissões para [H] e [I] são respectivamente 0,067 e 0,073 kg 1,4-DB eq/kg_{castanha}. No que diz respeito à ecotoxicidade marinha [J], o fator dominante é a produção de fertilizantes (46-71%), variando os impactes entre 0,0025 e 0,015 kg 1,4-DB eq/kg_{castanha}, para P2 [2010] e P3 [2010].

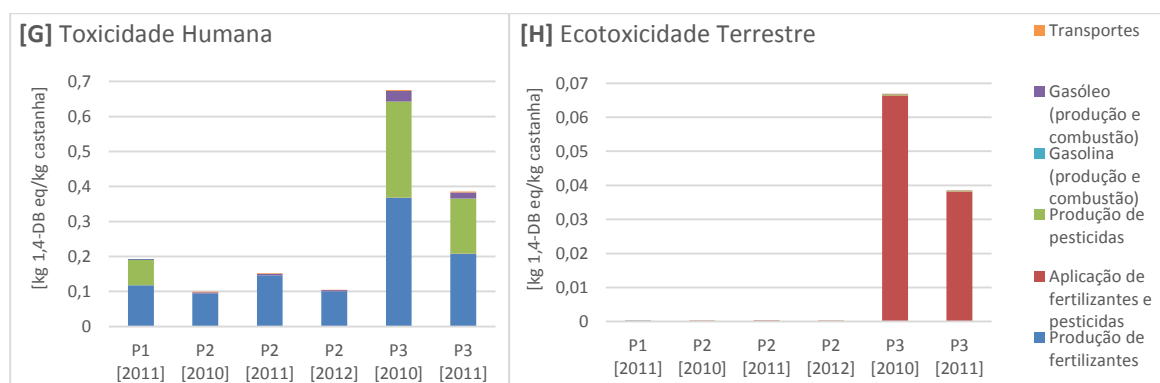


Figura 5.3 – Impacte ambiental por kg de castanha cultivada. [G] Toxicidade humana; [H] Ecotoxicidade terrestre.

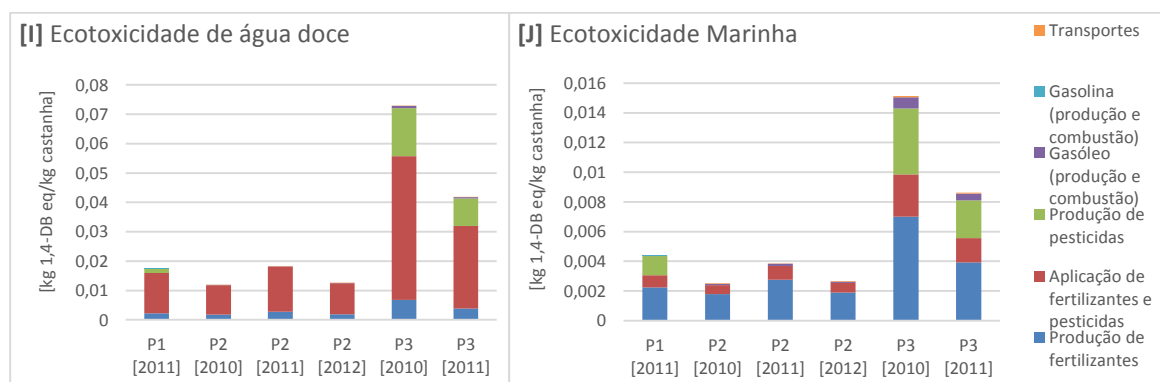


Figura 5.4 – Impacte ambiental por kg de castanha cultivada. [I] Ecotoxicidade de água doce; [J] Ecotoxicidade marinha.

5.2.2. Processamento

No que concerne ao processamento da castanha, considerou-se que 35% desta segue para uma linha de consumo em natureza/fresco e os restantes 65% seguem para uma linha de congelado. Desta forma as comparações efetuadas foram entre as emissões no processamento da linha de fresco e a linha de congelado, para a campanha considerada (2010-2011). Os resultados obtidos encontram-se representados individualmente para cada categoria nas figuras que se seguem.

Verifica-se que a linha de congelação obteve valores mais elevados de emissões do que a linha de fresco o que é devido aos maiores consumos de energia. As câmaras de congelação (-25°C) consomem mais que as de refrigeração (0°C). Como tal a linha de

congelação consome 95% da energia elétrica e a linha de fresco apenas 5%. Isto vai-se refletir nos gráficos seguintes pois em todos se verifica que o consumo de eletricidade é o fator dominante para todas as categorias de impacto ambiental analisadas.

Na Figura 5.5 em relação à categoria aquecimento global [B], verifica-se que o maior valor apresentado é de aproximadamente 0,42 kg CO₂ eq/kg_{castanha} correspondente à linha de congelação. O menor valor apresentado é de cerca de 0,09 kg CO₂ eq/kg_{castanha} correspondente à linha de fresco. Assim pode-se dizer que na campanha de 2010-2011 a linha de congelação foi superior em cerca de 79% à linha de fresco relativamente à categoria de impacto ambiental supracitada. Os maiores contribuintes para a linha de congelação são o consumo de eletricidade (85%) e de propano (10%). Para a linha de fresco a eletricidade representa 40% do impacto total, e o propano 35%.

Em relação às restantes categorias do CML, [A], [C], [D], [E] e [F], pode-se afirmar que o maior contribuinte para estas é o consumo elétrico, seguindo-se o consumo de gás propano e por fim o consumo de gásóleo. Destaca-se que os impactos da linha de congelação são superiores aos da linha de fresco em 60% para [E] até 77% para [C].

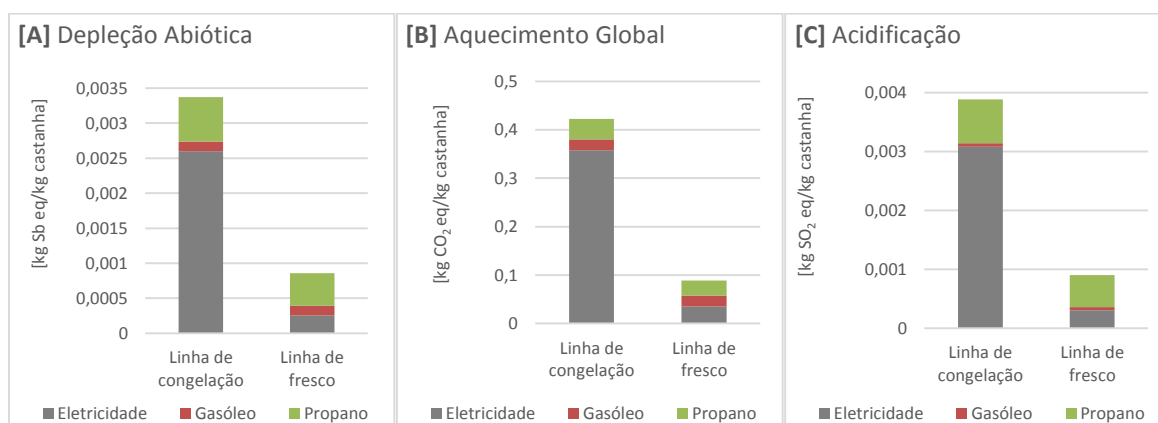


Figura 5.5 - Impacte ambiental por kg de castanha processada. [A] Depleção abiótica; [B] Aquecimento global; [C] Acidificação.

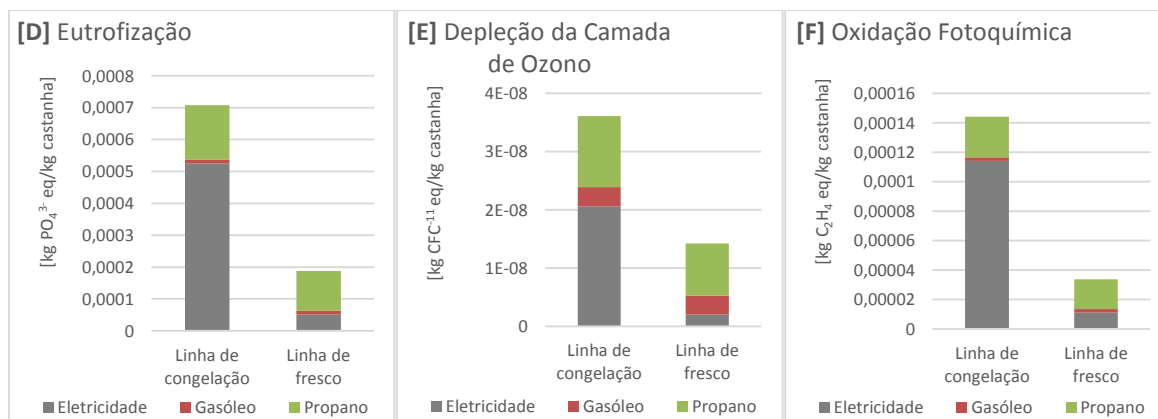


Figura 5.6 - Impacte ambiental por kg de castanha processada. [D] Eutrofização; [E] Depleção da camada de ozono; [F] Oxidação fotoquímica.

Assim como para as categorias de impacto ambiental analisadas com o método CML, pode-se afirmar também para a análise com recurso ao método ReCiPe que o fator dominante

é sempre o consumo de eletricidade, (seguindo-se o consumo de propano e por último o consumo de gásóleo).

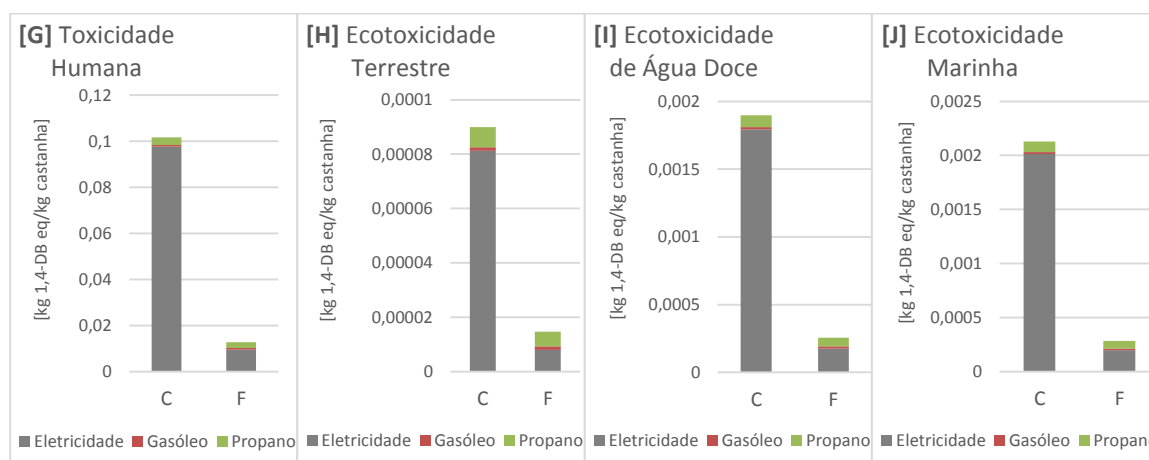


Figura 5.7 - Impacte ambiental por kg de castanha processada. [G] Toxicidade humana; [H] Ecotoxicidade terrestre; [I] Ecotoxicidade de água doce; [J] Ecotoxicidade marinha.

5.2.3. Transporte

Em relação à fase de transporte, os resultados da análise realizada encontram-se apresentados juntamente com os resultados das restantes três fases, ou seja para o ciclo de vida completo. Assim, para a fase de cultivo selecionou-se o produtor P1 [2011] por ser um produtor com impactes intermédios. Para a fase do processamento adotou-se a linha de congelação por ser a linha com maior volume de castanha. No que diz respeito à embalagem apresentam-se os resultados da análise ao saco de PEBD para a castanha congelada.

Em todas as categorias analisadas a embalagem da castanha representa os menores impactes de CV (0,04-0,8%). Verifica-se que o transporte de castanha para o Brasil em avião é o cenário total com impactes ambientais de CV superiores em todas as categorias analisadas. Especificamente para as categorias do CML verifica-se que o cultivo da castanha é a fase de CV com impactes mais elevados (47-89%), com exceção do cenário de exportação em avião para o Brasil e do cenário de exportação em avião para Marselha em [A], [B] e [E] (em que a fase de CV com IAs superiores é o transporte).

Em concreto, na Figura 5.8, para a categoria aquecimento global [B], verifica-se que para a exportação em avião para o Brasil as emissões totais (incluindo as outras fases de CV) são de 16,2 kg CO₂ eq/kg_{castanha}. Este valor é aproximadamente oito vezes superior ao valor correspondente ao transporte de barco para o mesmo destino, cerca de 2 kg CO₂ eq/kg_{castanha} salientando assim a importância que a escolha do tipo de meio de transporte apresenta. No que concerne à exportação para Marselha, o transporte de avião apresenta emissões de 3,9 kg CO₂ eq/kg_{castanha}, aproximadamente 1,9 vezes o valor para o transporte em camião (2,1 kg CO₂ eq/kg_{castanha}).

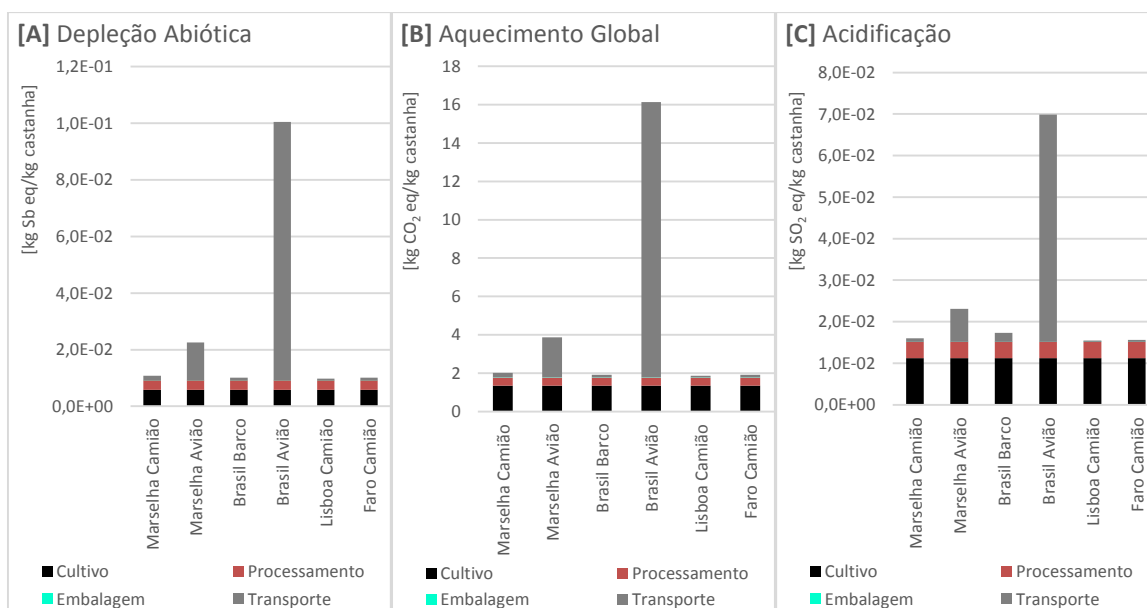


Figura 5.8 - Impacte ambiental por kg de castanha transportada. [A] Depleção abiótica; [B] Aquecimento global; [C] Acidificação.

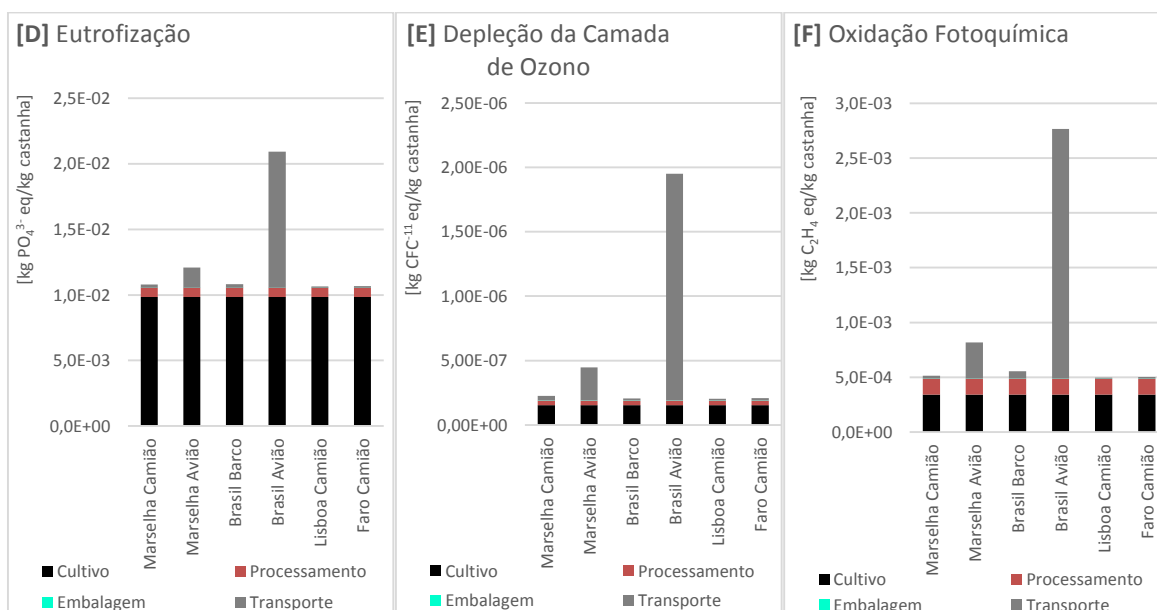


Figura 5.9 - Impacte ambiental por kg de castanha transportada. [D] Eutrofização; [E] Depleção da camada de ozono; [F] Oxidação fotoquímica.

No que diz respeito às categorias toxicológicas visíveis nas Figuras 5.10 e 5.11, o impacto da fase do cultivo é mais proeminente, variando de 66 a 94% (com exceção do transporte para o Brasil em avião nas categorias [G], [H] e [J]). Esta fase é dominante em todas as categorias e todos os cenários com exceção do cenário de exportação para o Brasil de avião em [G], [H] e [J], cujos impactes superiores provêm da fase de transporte (51-63%).

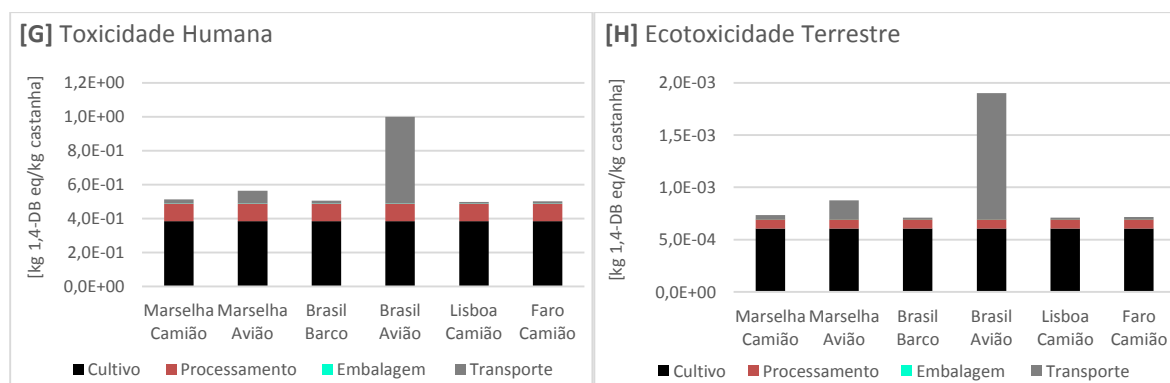


Figura 5.10 - Impacte ambiental por kg de castanha transportada. [G] Toxicidade humana; [H] Ecotoxicidade terrestre.

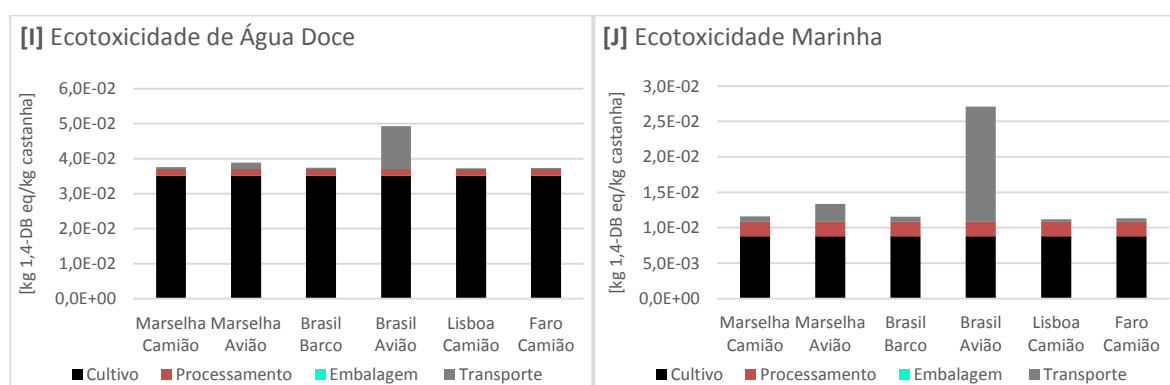


Figura 5.11 - Impacte ambiental por kg de castanha transportada. [I] Ecotoxicidade de água doce; [J] Ecotoxicidade marinha.

5.3. Avaliação dos impactes ambientais de ciclo de vida do tomate

Esta seção está dividida em quatro partes distintas. Em primeiro, na subseção 5.3.1, são caracterizados os impactes ambientais resultantes do cultivo do tomate. Na segunda subseção são analisados os resultados do processamento e na terceira os da embalagem. Por fim na quarta e última subseção, são caracterizados os resultados relativos aos cenários de transporte propostos.

5.3.1. Cultivo

Relativamente aos impactes resultantes da fase do cultivo do tomate os resultados obtidos encontram-se seguidamente apresentados, numa vista pormenorizada da comparação das categorias de impacte para os cinco produtores de tomate em campo aberto.

Primeiramente deve ser notado que o produtor com maior produtividade é o P[E] (138 ton/ha), e os produtores com menor produtividade são P[B] e P[C] (75 e 85 ton/ha respetivamente). O produtor com maior aplicação de fertilizantes é P[C], seguindo-se P[B] (7,6 e 6,9 kg de adubo/t_{tomate}), e os com menor aplicação são P[E] e P[A] (3,2 e 3,6 kg de

adubo/ t_{tomate}). Relativamente ao consumo de energia salienta-se P[C] e P[D] com os maiores consumos de eletricidade (31,4 e 29,8 kWh/ t_{tomate} , respectivamente). Os maiores consumos de gasóleo são de P[D] e P[B] com consumos de 9,8 e 7,7 L/ t_{tomate} .

Verifica-se que para todas as categorias analisadas P[A] é o produtor com menores impactes ambientais pois é um produtor com aplicação de fertilizantes reduzida (3,6 kg de adubo/ t_{tomate}), baixos *inputs* energéticos, nomeadamente 13 kWh/ t_{tomate} e 3,5 L_{gasóleo}/ t_{tomate} e uma produtividade intermédia (90 ton/ha). Para as categorias [A], [B], [E], [F] e [G] o produtor P[D] apresenta maior impacto, devido principalmente aos seus elevados consumos de gasóleo e também à aplicação de pesticidas. Quanto às categorias [C], [D], [H] e [J] o produtor com impactes superiores é P[C], devido às superiores emissões decorrentes da fertilização, (este produtor aplica a maior quantidade de fertilizantes sintéticos, como já foi referido anteriormente). Para [I] é P[B], devido às emissões da fertilização (fato justificável por este ser o produtor com superiores emissões para a água, principalmente de fósforo).

Na Figura 5.12 verifica-se que o fator que mais contribui para a depleção abiótica [A] é o consumo de gasóleo (35-45%) para todos os produtores com exceção de P[C] que é a eletricidade (39%). Tanto P[D] como P[E] apresentam também uma significativa contribuição proveniente da aplicação de pesticidas (10 e 12% respetivamente), sendo que esta contribuição provém maioritariamente da aplicação de vapam (metame-sódio), para ambos os produtores. As emissões nesta categoria variam entre 0,21 e 0,47 kg Sb eq/ t_{tomate} para P[A] e P[D] respetivamente.

No Gráfico [B] verifica-se que as maiores contribuições para o aquecimento global são provenientes do consumo de gasóleo (34-41%) para todos os produtores com exceção de P[C] que é a eletricidade (30%). A segunda maior contribuição para os impactes é a produção de fertilizantes para P[A], P[B] e P[C] (26-30%) e a eletricidade para P[D] e P[E] (23-24%). O produtor com maior impacto na categoria supracitada é o P[D], com emissão de 80 kg CO₂ eq/ t_{tomate} . O produtor com menor impacto é P[A], com 35 kg CO₂ eq/ t_{tomate} .

No que diz respeito à acidificação, pela observação de [C] observa-se que as maiores contribuições para P[A] e P[B] decorrem da produção de fertilizantes (36-38%). Quanto a P[C] o factor determinante são as emissões da fertilização (48%). Tanto P[D] como P[E] apresentam a maior contribuição da parte da aplicação de pesticidas (32-33%), principalmente de vapam. As emissões nesta categoria variam de 0,38 a 0,83 kg SO₂ eq/ t_{tomate} para respetivamente P[A] e P[C].

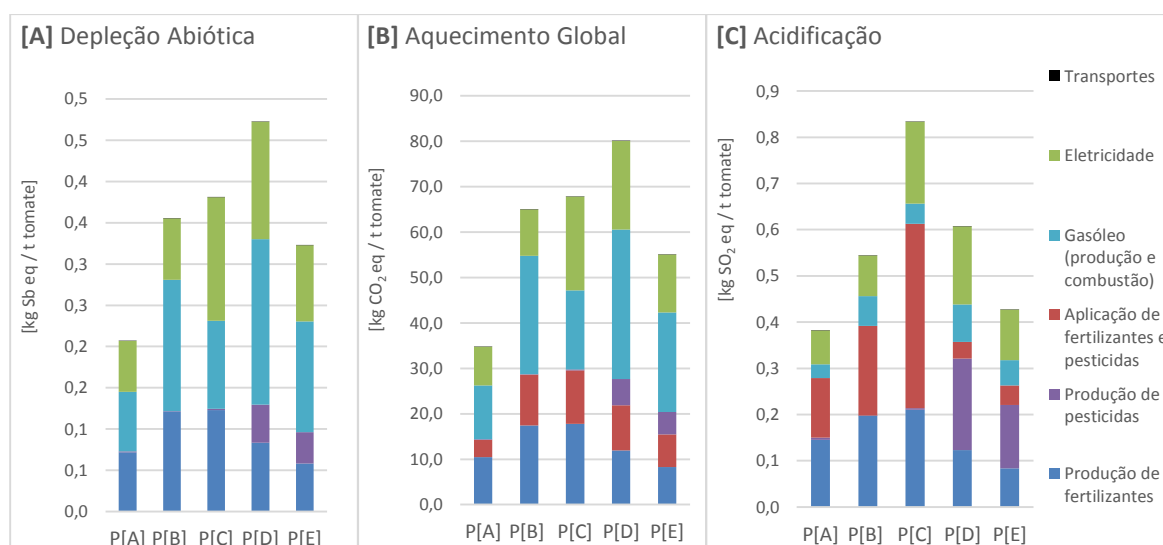


Figura 5.12 - Impacte ambiental por tonelada de tomate cultivado. [A] Depleção abiótica; [B] Aquecimento global; [C] Acidificação.

Para a eutrofização [D] representada na Figura 5.13, salienta-se que as maiores contribuições para todos os produtores decorrem das emissões da aplicação de fertilizantes (75-83%). Nesta categoria as emissões variam de 0,18 a 0,47 $\text{kg PO}_4^{3-} \text{ eq / t tomate}$ para respetivamente P[A] e P[C].

Relativamente à depleção da camada de ozono em [E], observa-se que as emissões variam de $3,2\text{E}-06$ a $8,4\text{E}-06 \text{ kg CFC}^{-11} \text{ eq / t tomate}$ para respetivamente P[A] e P[D]. O principal fator de impacto nesta categoria é o consumo de gásóleo (46-63%).

Quanto à oxidação fotoquímica constante em [F], o fator que mais influi para P[A], P[B] e P[C] é a produção de fertilizantes (50-59%). Para P[D] e P[E] são os pesticidas (35 e 37%), devido principalmente à aplicação de vapam: metame-sódio. Nesta categoria as emissões variam de $1,0\text{E}-02$ a $2,3\text{E}-02 \text{ kg C}_2\text{H}_4 \text{ eq / t tomate}$ para respetivamente P[A] e P[D].

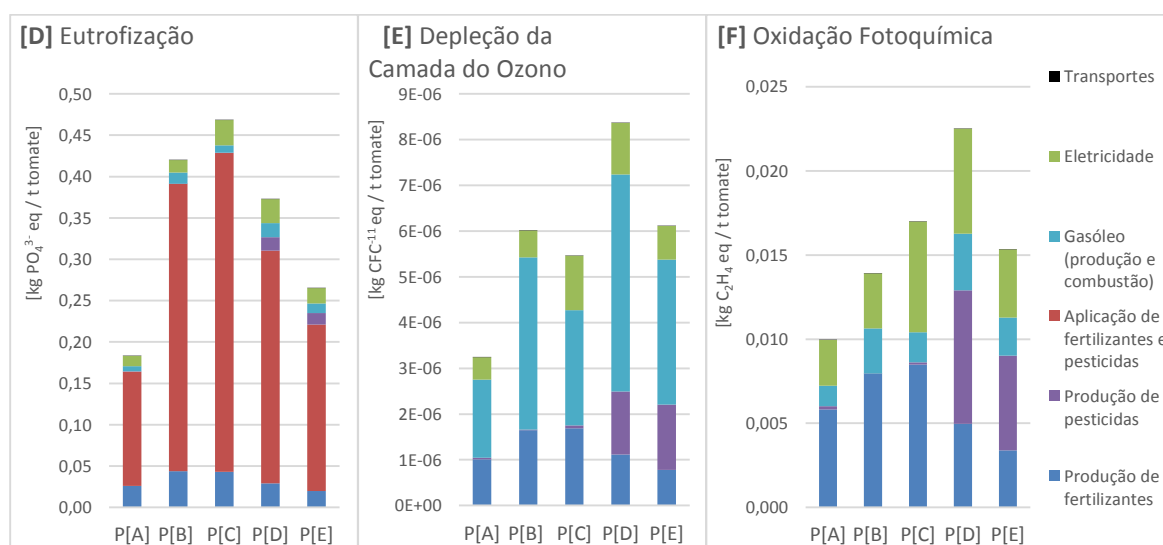


Figura 5.13 - Impacte ambiental por tonelada de tomate cultivado. [D] Eutrofização; [E] Depleção da camada de ozono; [F] Oxidação fotoquímica.

Como está visível na Figura 5.14 e Gráfico [G], para a toxicidade humana as emissões variam de 8,6 a 25,7 kg 1,4-DB eq/t_{tomate} para respetivamente P[A] e P[D]. O fator que mais influi em P[A], P[B] e P[C] é a aplicação de fertilizantes (58-71%). Para P[D] e P[E] o fator crucial (53 e 54%) é a aplicação de pesticidas (vapam).

No que diz respeito à ecotoxicidade terrestre visível em [H] destacam-se as emissões decorrentes da aplicação de fertilizantes e pesticidas (39-97%). Em concreto, para estas emissões contribuem principalmente as emissões para o solo decorrentes da aplicação de folpet para P[C] e P[E] e de metribuzina para P[B]. As emissões variam de 1,2E-02 a 3,3E-01 kg 1,4-DB eq/t_{tomate} para respetivamente P[A] e P[C].

Na Figura 5.15 observa-se que as emissões relativas à ecotoxicidade de água doce [I] variam de 0,54 a 0,94 kg 1,4-DB eq/t_{tomate} para respetivamente P[A] e P[B]. O fator preponderante nesta categoria são as emissões da aplicação de fertilizantes e pesticidas (46-75%), mais concretamente as emissões de fósforo para a água (da aplicação de P₂O₅).

No que diz respeito à ecotoxicidade marinha pela observação de [J] verifica-se que o fator que mais influi para P[A] e P[B] é a produção de fertilizantes. Quanto a P[C] são as emissões da aplicação de fertilizantes e pesticidas que provocam maior impacto (38%), provenientes essencialmente da aplicação de folpet. Para P[D] e P[E] o fator decisivo é a produção de pesticidas (43% e 38%), mais concretamente vapam. As emissões nesta categoria variam de 0,19 a 0,49 kg 1,4-DB eq/t_{tomate} para respetivamente P[A] e P[C].

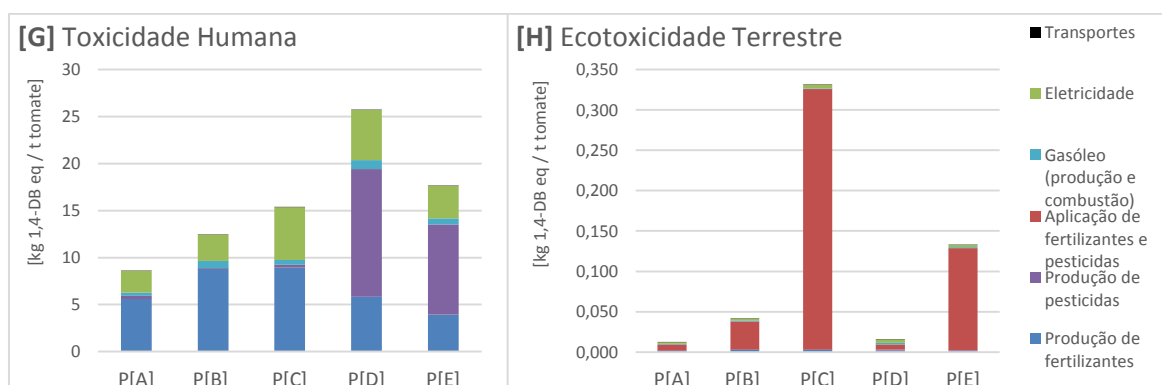


Figura 5.14 - Impacte ambiental por tonelada de tomate cultivado. [G] Toxicidade humana; [H] Ecotoxicidade terrestre.

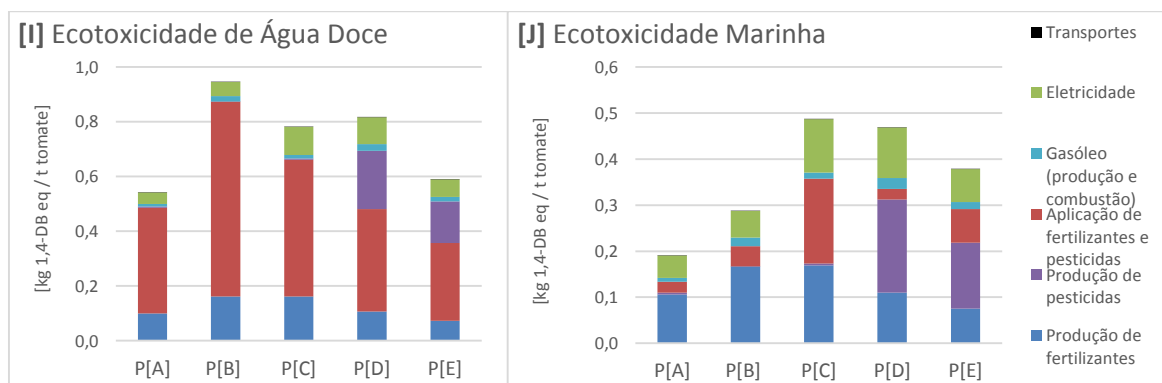


Figura 5.15 - Impacte ambiental por tonelada de tomate cultivado. [I] Ecotoxicidade de água doce; [J] Ecotoxicidade marinha.

5.3.2. Processamento

Os resultados obtidos da análise aos seis cenários processamento do tomate considerados encontram-se representados individualmente para cada categoria nas figuras que se seguem.

Como se pode verificar na Figura 5.16, relativamente à depleção abiótica [A], o fator preponderante para todos os tipos de processamento é a utilização do gás natural (71-96%). As emissões nesta categoria variam de 0,67 a 5,41 kg Sb eq/t_{tomate} para respetivamente Polpa[3] e Conc.[2].

No que concerne à categoria aquecimento global [B], o maior valor apresentado corresponde ao concentrado de tomate (Brodt *et al.*, 2013), aproximadamente 693 kg CO₂ eq/t_{tomate}. O menor valor apresentado é de cerca de 89 kg CO₂ eq/t_{tomate} correspondente ao processamento de polpa de tomate (Manfredi e Vignali, 2013). Para esta categoria, se for feita a comparação dos dois processamentos do tomate pedaços, observa-se que Pedaços[1] (Del Borghi *et al.*, 2014) é cerca de 56% superior a Pedaços[2] (Brodt *et al.*, 2013) pois Pedaços[1] apresenta consumos superiores de eletricidade (92%) e de gás natural (44%). No que diz respeito às polpas, Polpa[1] (Del Borghi *et al.*, 2014) é 74% superior à Polpa[3] (Manfredi e Vignali, 2013), pois Polpa[1] apresenta consumos superiores de eletricidade (75%) e de gás natural (77%). O fator que mais contribui para o impacte ambiental nesta categoria é o consumo de gás natural (69-96%).

No que diz respeito à acidificação [C] e à eutrofização (Figura 5.17 [D]) a maior contribuição para estas categorias é o consumo de eletricidade para os produtos Pedaços[1], Pelado[1], Polpa[1] e Polpa[3] (63-85%). As exceções são Pedaços[2] e Conc.[2] que por utilizarem 98% mais gás natural do que de eletricidade, apresentam a maior contribuição a partir deste. As emissões variam entre 0,12 e 0,86 kg SO₂ eq/t_{tomate} para [C] e 0,02 e 0,15 kg PO₄³⁻ eq/t_{tomate} para [D].

Quanto à depleção da camada de ozono [E] o fator determinante em todos os produtos é o consumo de gás natural (78-98%), sendo que as emissões variam entre 9,4E-06 e 7,6E-05 kg CFC⁻¹¹ eq/ t_{tomate}.

Quanto à oxidação fotoquímica [F] a maior contribuição para esta categoria é o consumo de eletricidade para os produtos Pedaços[1], Pelado[1], Polpa[1] e Polpa[3] (49-70%). Para Pedaços[2] e Conc.[2] a maior contribuição advém do gás natural (81-82%). As emissões nesta categoria variam entre 0,0096 e 0,05 kg C₂H₄ eq/t_{tomate} para [F]. Para as categorias do CML 2001, o concentrado de tomate (Conc.[2]) é o produto que apresenta maiores impactes ambientais, excepto nas categorias acidificação [C] e eutrofização [D] em que se salienta o tomate Pelado[1]. Esta variação deve-se à maior contribuição para os impactes ambientais nas categorias mencionadas ([C] e [D]) da produção da eletricidade.

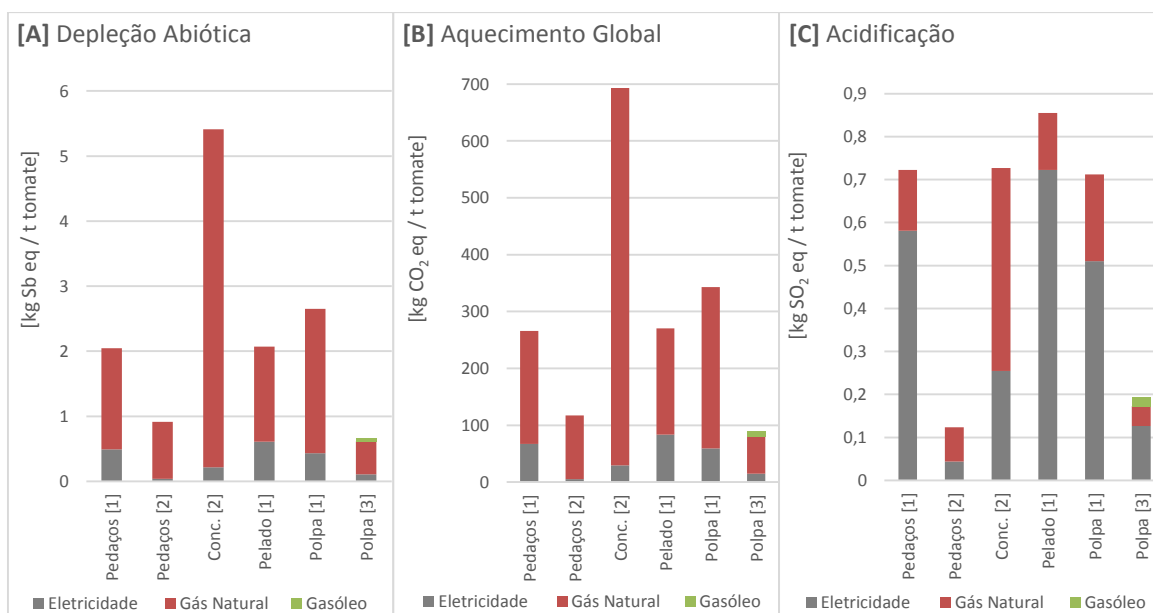


Figura 5.16 - Impacte ambiental por tonelada de tomate processado. [A] Depleção abiótica; [B] Aquecimento global; [C] Acidificação.

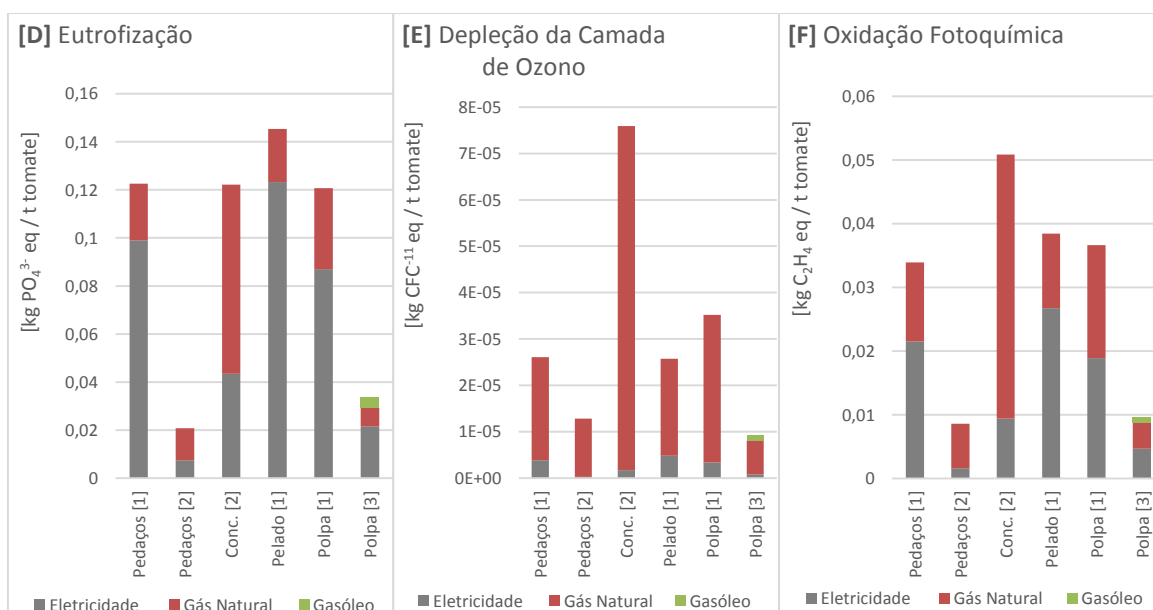


Figura 5.17 - Impacte ambiental por tonelada de tomate processado. [D] Eutrofização; [E] Depleção da camada de ozono; [F] Oxidação fotoquímica.

Nas Figuras 5.18 e 5.19 encontram-se os resultados relativos às categorias toxicológicas. Conclui-se que o produto que nestas categorias apresenta impactes superiores é o Pelado[1], e menores impactes o Pedaços[2]. Os impactes para estas categorias para os produtos Pedaços[1], Pelado[1], Polpa[1] e Polpa[3] provém principalmente da utilização da eletricidade, (entre 78-90% para [G], 69-86% para [H], 77-90% para [I] e 70-85% para [J]). Para os produtos Pedaços[2] e Conc.[2] a maior contribuição provém do gás natural (varia entre 52% para [G] e 65% para [J]). As emissões variam entre 2,9 e 25,3 kg 1,4-DB

eq/t_{tomate} para [G], 0,003 e 0,02 kg 1,4-DB eq/t_{tomate} para [H], 0,05 e 0,5 kg 1,4-DB eq/t_{tomate} para [I], e por fim entre 0,08 e 0,6 kg 1,4-DB eq/t_{tomate} para [J].

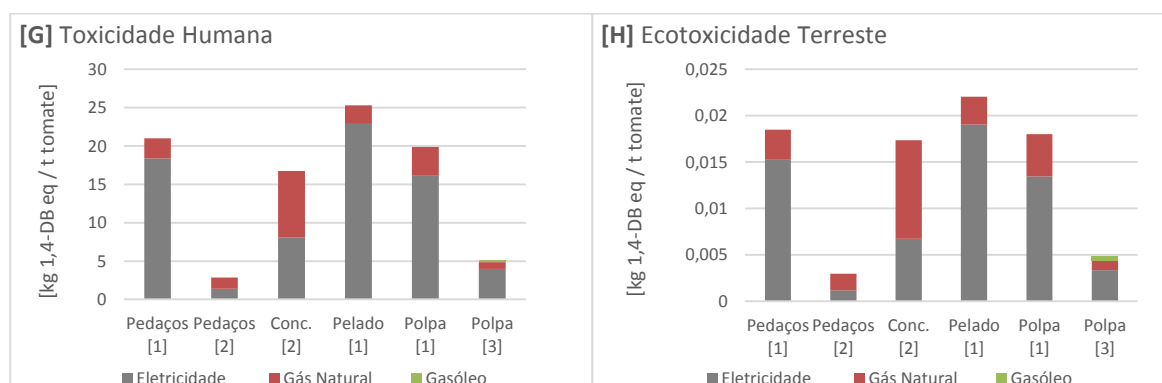


Figura 5.18 - Impacte ambiental por tonelada de tomate processado. [G] Toxicidade humana; [H] Ecotoxicidade terrestre.

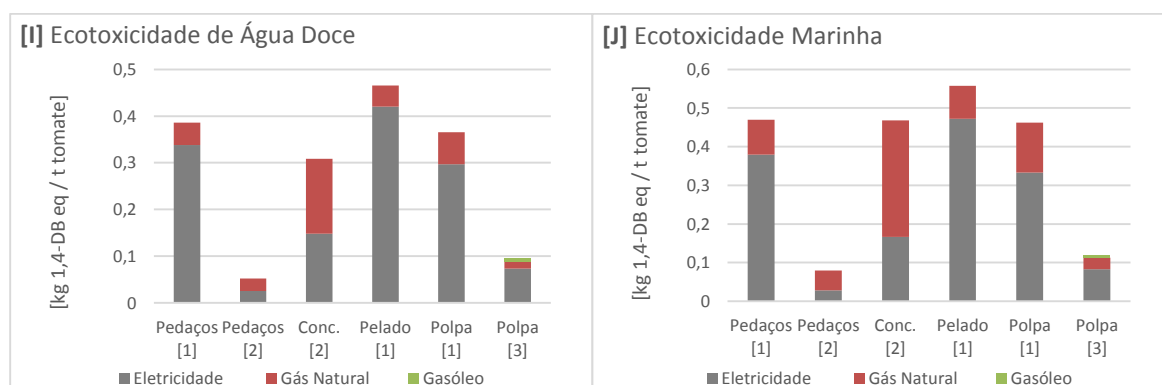


Figura 5.19 - Impacte ambiental por tonelada de tomate processado. [I] Ecotoxicidade de água doce; [J] Ecotoxicidade marinha.

5.3.3. Embalagem

De seguida encontram-se os resultados do estudo realizado à embalagem dos produtos de tomate, nomeadamente aos frascos de vidro de 0,5 e 1 L, à lata de 400g e ao pacote tetra de 390mL.

É importante notar que a energia despendida para o condicionamento na fábrica de processamento (enchimento, fecho, etc.) só é contabilizada para a lata e para o pacote tetra.

Verifica-se nas Figuras 5.20, 5.21 e 5.22 que a embalagem primária é a principal causadora dos impactes desta fase de CV, para todos os tipos de embalagens considerados. Relativamente às categorias representadas de [A] a [F], a embalagem primária causa entre 82 e 96% do impacte para os frascos de vidro e a lata, sendo que para o pacote tetra causa entre 38 e 65%.

Para o aquecimento global [B], o maior valor apresentado corresponde ao frasco de vidro de 0,5 L, aproximadamente 585 kg CO₂ eq/t_{tomate}. O menor valor apresentado é de cerca de 179 kg CO₂ eq/t_{tomate} correspondente ao pacote TR 390 mL.

O pacote tetra apresenta menor impacto em todas as categorias com exceção da depleção da camada de ozono [E], (a lata de 0,4 kg apresenta o menor impacto, correspondente a $1,2E-05$ kg CFC⁻¹¹ eq/t_{tomate}). O impacto ambiental inferior apresentado pelo TR 390 mL deve-se principalmente aos inferiores consumos de materiais e energia necessários à embalagem primária.

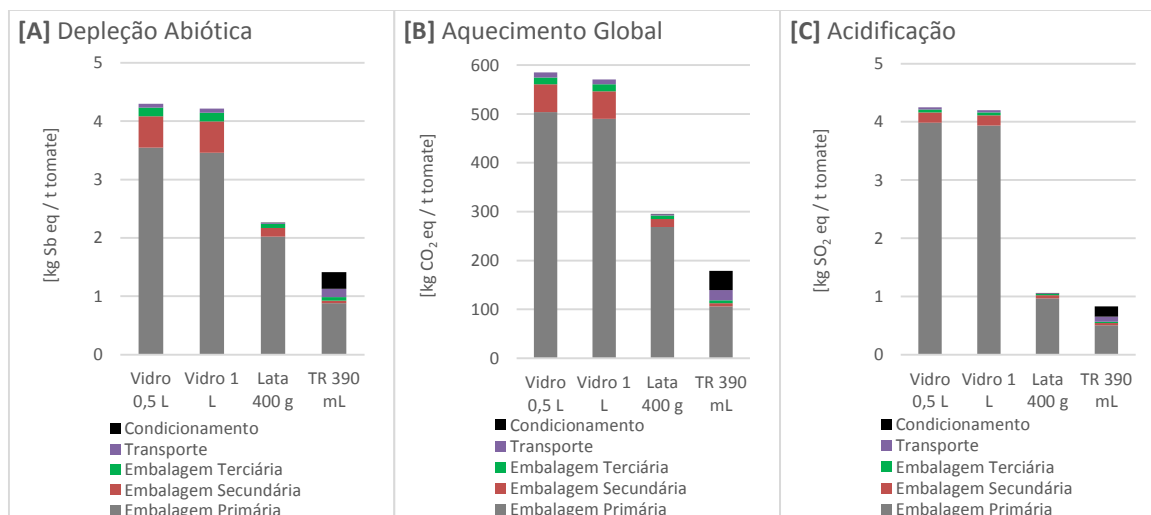


Figura 5.20 - Impacte ambiental por tonelada de tomate embalado. [A] Depleção abiótica; [B] Aquecimento global; [C] Acidificação.

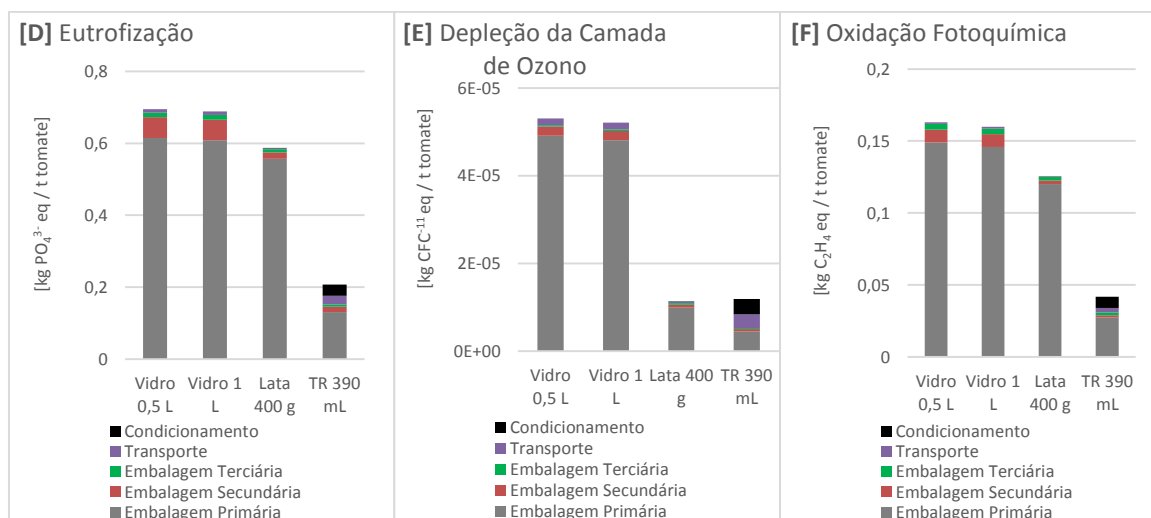


Figura 5.21 - Impacte ambiental por tonelada de tomate embalado. [D] Eutrofização; [E] Depleção da camada de ozono; [F] Oxidação fotoquímica.

Os resultados da análise às categorias toxicológicas encontram-se na Figura 5.22. A embalagem primária é a principal contribuinte para os impactos ambientais, sendo que para os frascos de vidro e a lata representa 89 a 98,5% do impacto, e para o pacote TR 390 mL representa 56-74%. A lata é a embalagem com maior impacto em três das quatro categorias estudadas, (toxicidade humana, ecotoxicidade de água doce e ecotoxicidade marinha), devido à significativa contribuição da produção do aço para estas categorias. Na categoria toxicidade humana os frascos de vidro têm impacto próximo ao da lata (menos 17,4%), enquanto o tetra tem menos cerca de 70%. Em relação à categoria ecotoxicidade terrestre, as

embalagens com maiores impactes são os frascos de vidro, devido essencialmente às emissões decorrentes do fabrico do vidro. Nesta categoria o impacte do frasco de vidro é superior ao do pacote tetra em cerca de 80%. Relativamente a [I] e [J], o impacte da lata supera o do pacote tetra em cerca de 85%.

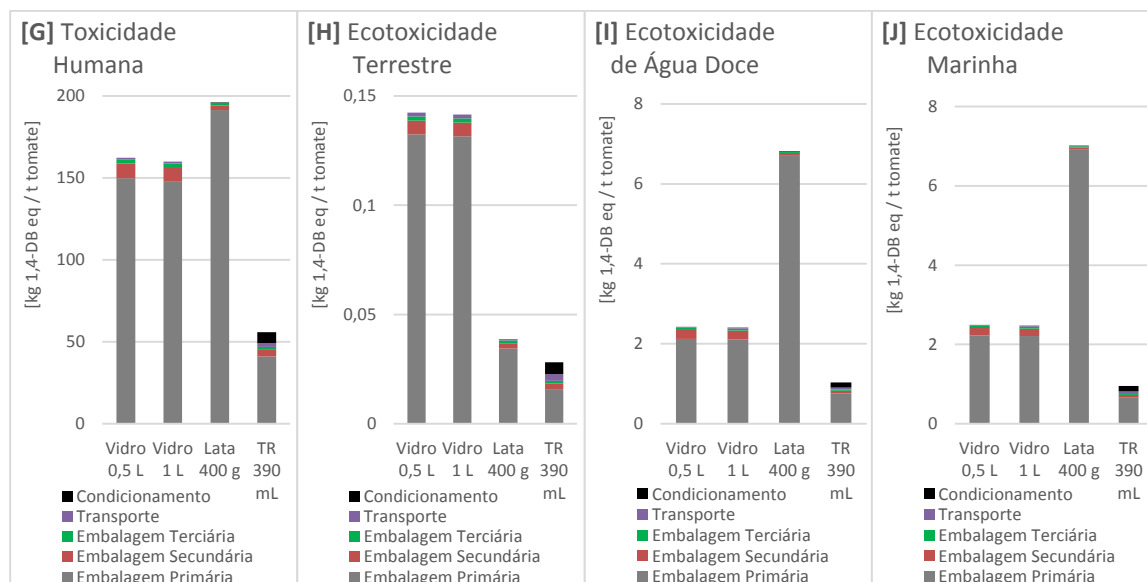


Figura 5.22 - Impacte ambiental por tonelada de tomate embalado. [G] Toxicidade humana; [H] Ecotoxicidade terrestre. [I] Ecotoxicidade de água doce; [J] Ecotoxicidade marinha.

5.3.4. Transporte

No que concerne à fase de transporte, os resultados do estudo realizado encontram-se apresentados em conjunto com os resultados das restantes três fases, (como ciclo de vida completo). Para a fase de cultivo selecionou-se o produtor P[B] por ser um produtor com impactes intermédios. Em relação à fase do processamento adotou-se a Polpa[1] por ser um produto com impactes também intermédios e que pode ser embalado em frasco de vidro 0,5L (que é das embalagens mais comuns para o efeito).

Na análise às categorias do CML, para os cenários de exportação, o cultivo do tomate é a fase que apresenta impactes de CV inferiores nas categorias [A], [B], [E] e [F] (representa 1-6% em [A], 2-7% em [B], 1-6% em [E] e 2-9% em [F]). Para as categorias [C] e [D] os impactes mais reduzidos provém do processamento (2-9%). Para os cenários de distribuição nacional ('Porto Camião' e 'Faro Camião') a fase de CV com impactes inferiores é o transporte (3-9%) com exceção do cenário 'Faro Camião' na categoria [E] (em que é o cultivo). Observa-se que na fase de transporte propriamente dita, o transporte nacional apresenta menores impactes do que os cenários de exportação, e nesta o transporte aéreo é o que ostenta maiores impactes. Nos cenários de CV completo em que o meio de transporte utilizado é o avião, a fase do transporte é a fase com mais impactes de CV. Quanto não é considerado o transporte em avião, a fase de CV com impactes ambientais superiores é a embalagem, com exceção dos cenários de transporte em camião nas categorias [B] e [E], e no cenário de exportação 'Berlim Camião' em [A] e [D].

Ao analisar a Figura 5.23, para o aquecimento global [B], verifica-se que a exportação em avião para Berlim, apresenta o maior valor de emissões de GEE de CV (7367 kg CO₂ eq/t_{tomate}). O valor correspondente ao cenário de transporte em camião para o mesmo destino, cerca de 1803 kg CO₂ eq/t_{tomate}, é aproximadamente 24% do impacte do transporte em avião. Em relação às emissões totais de CV para a exportação para Londres em avião estas são de 5412 kg CO₂ eq/t_{tomate}, sendo para a exportação em camião 30% deste valor (1638 kg CO₂ eq/t_{tomate}). O menor impacte nesta categoria é o correspondente à distribuição nacional para o Porto, contando com a emissão de 1116 kg CO₂ eq/t_{tomate}.

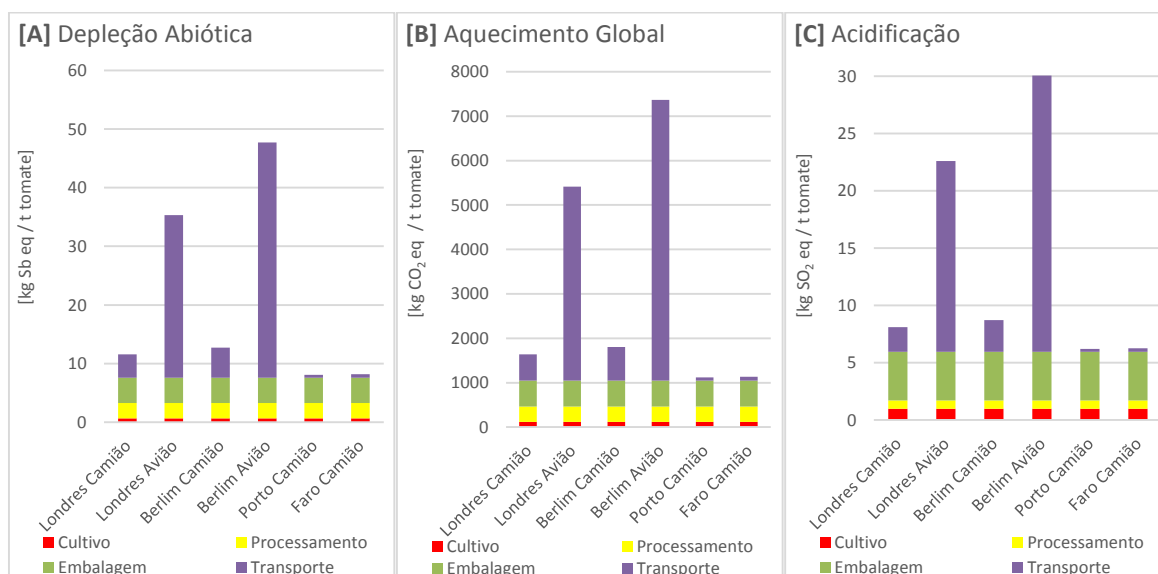


Figura 5.23 - Impacte ambiental por tonelada de tomate transportado. [A] Depleção abiótica; [B] Aquecimento global; [C] Acidificação.

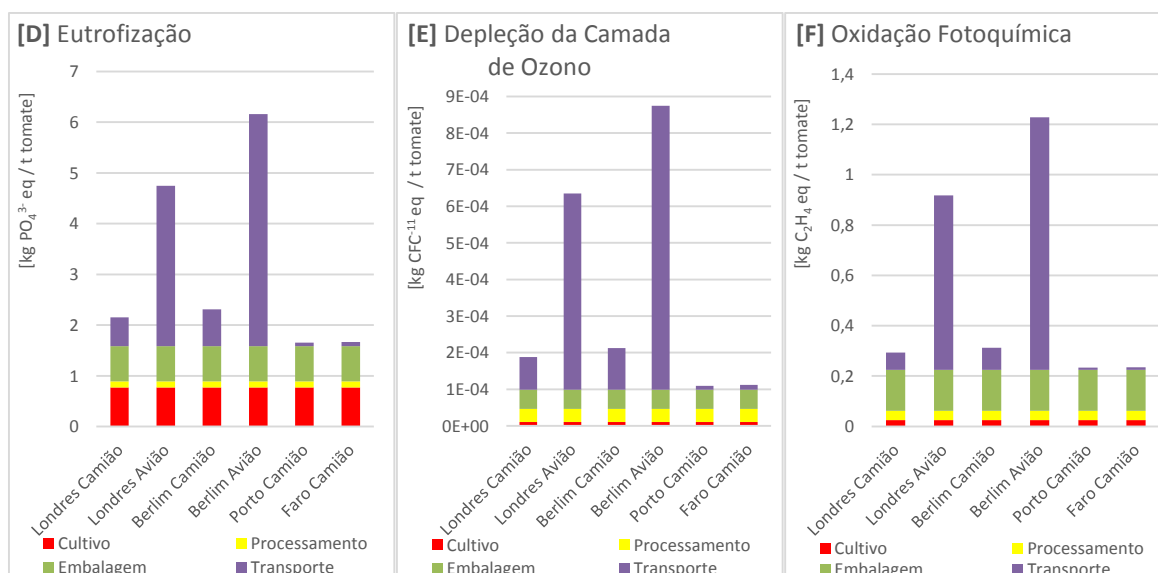


Figura 5.24 - Impacte ambiental por tonelada de tomate transportado. [D] Eutrofização; [E] Depleção da camada de ozono; [F] Oxidação fotoquímica.

Da análise às categorias toxicológicas representadas na Figura 5.25, verifica-se que relativamente aos cenários de exportação, quando é considerado o transporte em avião a fase

de CV com impactes ambientais superiores é o transporte (45-69%). Quanto aos cenários de exportação em camião e os de distribuição nacional, verifica-se que a fase de CV com impactes ambientais mais relevantes é a embalagem (representando 38-76%). Para os cenários de exportação a fase de CV com impactes ambientais menos significativos é o processamento (2-9%) e quanto aos cenários de distribuição nacional a fase de CV com impactes menores é o transporte.

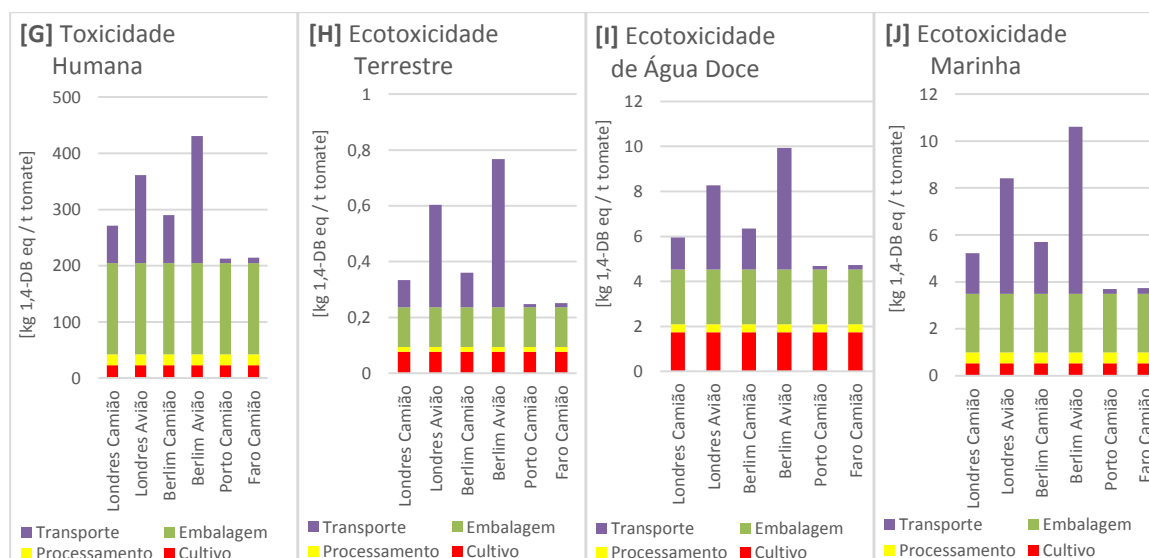
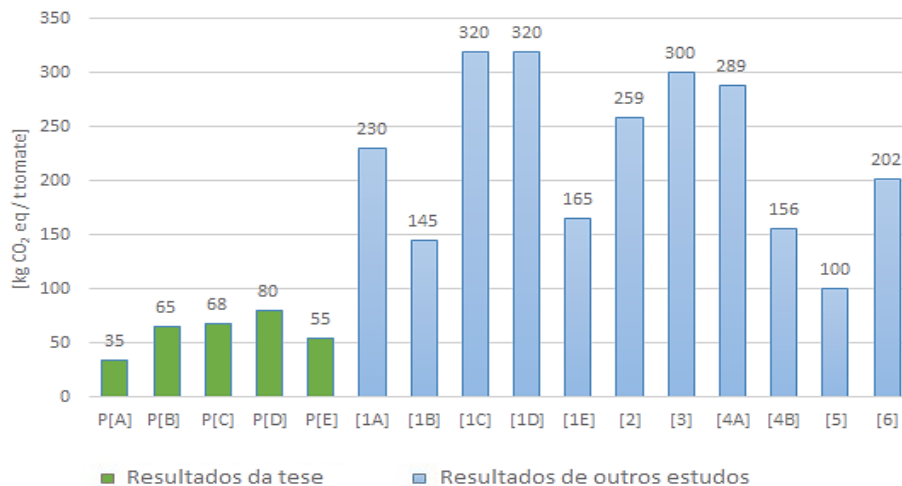


Figura 5.25 - Impacte ambiental por tonelada de tomate transportado. [G] Toxicidade humana; [H] Ecotoxicidade terrestre. [I] Ecotoxicidade de água doce; [J] Ecotoxicidade marinha.

5.4. Comparação com outros estudos

Na presente seção encontra-se uma análise comparativa dos resultados de GEE da presente dissertação com os resultados relativos ao cultivo do tomate em campo aberto de outros estudos. Os resultados encontram-se apresentados na Figura 5.26. Conclui-se que as principais variações nos resultados se devem principalmente às fronteiras do sistema definidas, ou seja aos processos considerados na análise, como será explicado na restante seção. Para Martínez-Blanco *et al.* (2014, 2011) as elevadas emissões de GEE relacionam-se principalmente com a consideração da produção de composto. Relaciona-se também com a inclusão da fase do viveiro (fase anterior ao cultivo) e do transporte de fertilizantes minerais a longas distâncias. Além dos consumos energéticos são contabilizadas a produção e manutenção de máquinas e ferramentas, bem como a gestão de resíduos. Os elevados impactes do estudo Page *et al.* (2012) relacionam-se com os consumos de gásóleo e eletricidade (estes são no mínimo três vezes superiores ao da presente tese). Inclui também o condicionamento dos tomates frescos em caixas de cartão no local de cultivo. Quanto a Manfredi e Vignali (2013) os elevados valores de emissões de GEE poderão estar associados ao facto de este estudo considerar a fase de viveiro e também a produção de mangueiras descartáveis para a irrigação. Apesar de Cappelletti *et al.* (2010) ser o estudo que apresenta

menores IA, a diferença relativamente aos resultados da presente tese poderá estar relacionada com o uso do fertilizante CAN (*Calcium ammonium nitrate*) cuja produção representa uma elevada emissão de GEE.



[1] Martínez-Blanco *et al.* (2014): [1A] Subdivisão, [1B] Expansão do sistema, [1C] Alocação física, [1D] Alocação económica, [1E] Cenário base; [2] Manfredi e Vignali (2013); [3] Page *et al.* (2012); [4] Martínez-Blanco *et al.* (2011): [4A] Aplicação de composto e fertilizantes minerais, [4B] Aplicação de fertilizantes minerais; [5] Cappelletti *et al.* (2010); [6] Roy *et al.* (2008).

Figura 5.26 - Comparação dos resultados com outros estudos

6. CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta as conclusões da presente dissertação. Numa primeira seção serão discutidas as conclusões relativas à ACV da castanha e do tomate. Na segunda seção serão analisadas as limitações encontradas no decorrer deste projeto e apresentadas recomendações para trabalho futuro. O principal objetivo desta dissertação consistiu em avaliar o desempenho ambiental de ciclo de vida do tomate e da castanha produzidos em Portugal, pela implementação da metodologia Avaliação do Ciclo de Vida. Foram desenvolvidos modelos e inventários de CV para três produtores de castanha, duas linhas de processamento (fresco e congelação), um tipo de embalagem (saco PEBD) e seis cenários de transporte (nacionais e exportação). Quanto ao tomate, foram avaliados cinco produtores de tomate em campo aberto e quatro cenários de processamento (polpa, concentrado, tomate pelado e tomate cortado). Foram também analisados quatro tipos de embalagem (frascos de vidro de 0,5 L e 1 L, pacote tetra 390 mL e lata de 0,4 kg) e seis cenários de transporte (nacionais e exportação). Foi efectuada uma avaliação de impactes de CV com base nos métodos CML2001 e ReCiPe. Os resultantes impactes ambientais referentes a cada uma das fases de CV consideradas foram analisados e as fases mais críticas foram identificadas e caracterizadas.

6.1. Avaliação de Ciclo de Vida da castanha e do tomate

No que diz respeito à ACV da castanha, o produtor que apresentou impactes mais elevados no cultivo foi o produtor P3[2010]. Os impactes do cultivo da castanha provêm essencialmente da produção e aplicação de fertilizantes e pesticidas, com exceção de P3 para a depleção abiótica (consumo de gásóleo) e P2 relativamente aos pesticidas, uma vez que não os aplica. As emissões da fase do cultivo para o aquecimento global variaram entre 0,37 kg CO₂ eq/kg_{castanha} para P2[2010] e 3,26 kg CO₂ eq/kg_{castanha} para P3[2010], estando esta diferença associada principalmente às variações de produtividade.

Quanto ao processamento da castanha, a linha de congelação apresentou impactes mais elevados do que a linha de fresco em todas as categorias de impacto ambiental, o que se deve aos maiores consumos de energia. O processo que mais contribui para o impacto da linha de congelado é o consumo de eletricidade (57-96%). Para o aquecimento global as emissões de GEE da linha de congelação foram de 0,42 kg CO₂ eq/kg_{castanha}, cerca de 73% superior à linha de fresco (0,09 kg CO₂ eq/kg_{castanha}).

Em relação aos impactes do ciclo de vida completo conclui-se que, para todas as categorias consideradas, a castanha exportada para o Brasil de avião foi o cenário que apresentou impactes ambientais mais elevados, devido ao transporte de avião. Verifica-se que o cultivo da castanha é a fase de CV com impactes mais elevados (47-94%), com exceção do cenário de exportação em avião para o Brasil e do cenário de exportação em

avião para Marselha para a depleção abiótica, o aquecimento global e a depleção da camada de ozono (em que a fase de CV com impactes superiores é o transporte). Para o aquecimento global os impactes associados ao ciclo de vida completo variaram entre 2 e 16,2 kg CO₂ eq/kg_{castanha}.

Em relação às conclusões da ACV do tomate verificou-se que os produtores com impactes superiores para o cultivo são P[C] e P[D], devido principalmente aos elevados consumos de energia (eletricidade e gásóleo) e à produção e aplicação de fertilizantes e pesticidas. Para o aquecimento global, as emissões da fase do cultivo do tomate variaram entre 35 kg CO₂ eq/t_{tomate} para P[A] e 80 kg CO₂ eq/t_{tomate} para P[C].

Na análise ao processamento concluiu-se que os tipos de processamento com maiores impactes são o fabrico de concentrado de tomate (para as categorias depleção abiótica, aquecimento global, depleção da camada de ozono e oxidação fotoquímica) e de tomate pelado (acidificação, eutrofização e categorias toxicológicas). A maior contribuição para o impacto do processamento do concentrado de tomate provém do consumo de gás natural (82-98%). Quanto ao tomate pelado, a maior contribuição para o seu impacto advém do consumo de eletricidade (85-90%). Em particular para a categoria de aquecimento global, as emissões variaram de 89 kg CO₂ eq/t_{tomate} correspondentes ao processamento de popa de tomate (Polpa[3]), até 693 kg CO₂ eq/t_{tomate} para o concentrado de tomate.

Quanto à embalagem, verificou-se que o frasco de vidro de 0,5 L é a embalagem com impactes superiores em todas as categorias (com exceção da toxicidade humana, ecotoxicidade de água doce e ecotoxicidade marinha em que é a lata de 0,4 kg). O pacote tetra apresenta menor impacto em todas as categorias (com exceção da Depleção da Camada de Ozono). O maior contribuinte para as emissões em todas as categorias de impacto e para os quatro tipos de embalagem considerados é o fabrico da embalagem primária. Para a categoria aquecimento global as emissões variaram de 179 a 585 kg CO₂ eq/t_{tomate}.

Por fim, na análise ao ciclo de vida completo, verifica-se que, os impactes mais elevados ocorrem para o tomate transportado de avião até Berlim e os impactes mais reduzidos para o tomate transportado para o Porto. Quanto não é considerado o transporte em avião, a fase de CV com impactes ambientais superiores é a embalagem, (com exceção dos cenários de transporte em camião nas categorias aquecimento global e oxidação fotoquímica, e no cenário de exportação 'Berlim Camião' para a depleção abiótica e a eutrofização). Para os cenários de exportação, o cultivo é a fase de CV que apresenta impactes inferiores nas categorias depleção abiótica, aquecimento global, depleção da camada de ozono e oxidação fotoquímica, sendo que para as restantes categorias é o processamento. Para o tomate distribuído a nível nacional os impactes de CV mais reduzidos provêm do transporte. Em pormenor para o Aquecimento Global as emissões de GEE de CV completo variaram de 1116 a 7367 kg CO₂ eq/t_{tomate}.

Tanto para a castanha como para o tomate, no que diz respeito à fase de cultivo verifica-se que para as categorias toxicológicas os consumos energéticos não representam uma contribuição significativa (as principais contribuições devem-se essencialmente à

produção e aplicação de fertilizantes e pesticidas), contrariamente para as restantes categorias analisadas os consumos energéticos representam até 73% dos impactes ambientais.

De um modo geral, e excetuando os cenários de exportação em que o transporte é a fase de CV com maiores impactes ambientais, verifica-se que as fases que mais contribuem para os impactes ambientais de CV diferem em função do sistema produtivo (tomate e castanha). Para o tomate o cultivo não aparece como a fase de CV com impactes ambientais mais relevantes devido às elevadas produtividades apresentadas.

Ao analisar os meios de transporte propostos conclui-se que para ambos os produtos estudados o avião apresenta impactes ambientais mais elevados, devido principalmente aos superiores consumos de combustível.

6.2. Recomendações para trabalho futuro

Algumas sugestões para trabalho futuro são propostas de seguida.

- ▶ Analisar detalhadamente a contribuição das emissões associadas à aplicação de pesticidas para o impacte ambiental do cultivo, com recurso a métodos adequados como por exemplo o PestLCI (Dijkman *et al.*, 2012).
- ▶ Efetuar uma análise energética aos sistemas em estudo (Goedkoop *et al.*, 2013), bem como analisar a Pegada Hídrica (ISO 14046:2014).
- ▶ Realizar uma análise de incerteza para verificar a robustez dos resultados.
- ▶ Adotar uma unidade funcional que garanta uma comparabilidade entre estudos de tipos alternativos de castanha e tomate processados;
- ▶ Relativamente ao cultivo e ao processamento da castanha recolher dados de mais anos para analisar a variabilidade. Analisar outros tipos de processamento (farinha, compota, etc). Efetuar uma comparação entre diferentes tipos de embalagem, nomeadamente o saco de rede para a castanha fresca e o frasco de vidro para a compota. Analisar os impactes resultantes da permanência no local de venda (quer para a castanha congelada como para a fresca). Modelar o transporte pós-venda até à habitação do consumidor e calcular os impactes da conservação no domicílio. Estudar a gestão dos resíduos de CV da castanha.
- ▶ Quanto ao tomate, efetuar uma comparação de diferentes tipos de cultivo (convencional e orgânico, em diferentes tipos de estufa, etc.). Comparar o tomate fresco e o transformado. Relativamente ao processamento, recolher dados referentes a Portugal, e a outros derivados de tomate (compota, tomate seco, molho de tomate, ketchup, etc). Quanto ao acondicionamento, estudar a bisnaga para o concentrado de tomate, a embalagem do *ketchup* e as embalagens do tomate para venda em fresco (caixa de cartão, plástica e de madeira). Investigar possíveis melhorias no eco-design das embalagens. Analisar os impactes da permanência do tomate fresco e do processado no local de venda. Estudar o transporte até à habitação do consumidor, e

os impactes decorrentes do armazenamento no domicílio. Avaliar também os impactes ambientais associados à gestão de resíduos em todo o CV.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abeliotis, K.; Detsis, V.; Pappia, C.; (2013). Life cycle assessment of bean production in the Prespa National Park, Greece. *J Clean Prod* 41, 89-96.
- Agroportal, (2011). “Portugal pode ser líder europeu na produção de castanha”. Acedido em 18 de Abril de 2014 em: <http://www.agroportal.pt/x/agronoticias/2011/10/10.htm>
- Andersson, K.; Ohlsson, T.; Olsson, P. (1998). Screening life cycle assessment (LCA) of tomato ketchup: a case study. *J. Clean. Prod.* 6, 277–288.
- APA, (2012). Licença Ambiental nº 128/1.072012. Acedido a 23 de Maio de 2014, em: http://ladigital.apambiente.pt/6.4bii/Sugalidal-Benavente/128_1.0_2012%20Sugalidal-Benavente.pdf
- BIO Intelligence Service (2008). Analyses de Cycle de Vie des emballages de Tetra Pak, rapport final. Disponível em: <http://www.alliance-carton-nature.org/sites/default/files/Etude%20ACV%20Tetra%20Pak.pdf>
- Bojacá, C.R.; Wyckhuys, K.A.G.; Schrevels, E. (2014). Life cycle assessment of Colombian greenhouse tomato production based on farmer-level survey data. *Journal of Cleaner Production* 69: 26-33.
- Brodth, S.; Kramer, K.J.; Kendall, A.; Feenstra, G.; (2013). Comparing environmental impacts of regional and national-scale food supply chains: A case study of processed tomatoes. In: *Food Policy* 42:106-114
- Cappelletti, G.M.; Nicoletti, G.M.; Russo, C. (2010). Life Cycle Assessment of the Tomato Production, Proceeding of the “LCA Food 2010, 7th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector”, 125-130. Bari, Italy.
- Castro, A. (2009). “Castanhas... Um benefício de Outono”. Acedido a 23/03/2014. Disponível em http://www.uatlantica.pt/cnutricao/artigo_castanhas.html
- Cellura, M.; Longo, S.; Mistretta, M. (2011). Life Cycle Assessment (LCA) of protected crops: an Italian case study. *J. Clean. Prod.* 28, 56-62.
- Cerutti, A.K.; Beccaro, G.L.; Bruun, S.; Bosco, S.; Donno, D.; Notarnicola, B.; Bounous, G. (2013). LCA applications in the fruit sector: State of the art and recommendations for environmental declarations of fruit products. *J Clean Prod* (in press), doi: 10.1016/j.jclepro.2013.09.017
- Classen, M.; Althaus, H.-J.; Blaser, S.; Doka, G.; Jungbluth, N.; Tuchschnid, M. (2009). Life Cycle Inventories of Metals. Final report ecoinvent data v2.1 No.10. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.
- Costa, R.; Ribeiro, C; Valdivieso, T.; Afonso, S.; Borges, O.; Carvalho, J.S.; Costa, H.; Assunção, A.; Fonseca, L.; Augusta, C.; Cruz, M.H.; Salazar, M.; Soares, F.M.; Sequeira, J.; Correia, P.; Lima, M.J.; (2008). Variedades de Castanha das Regiões Centro e Norte de Portugal. Projecto AGRO 448. Instituto Nacional dos Recursos Biológicos, Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Norte, Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Centro, Escola Superior Agrária de Viseu. INRB, Oeiras.

- Disponível em:
http://www.inia.pt/fotos/gca/manual_v_1369126967._final_agro_448_red.pdf
- Del Borghi A, Gallo M, Strazza C, Del Borghi M (2014) An evaluation of environmental sustainability in the food industry through Life Cycle Assessment: the case study of tomato products supply chain. *Journal of Cleaner Production*, vol. 78, n. 0, p. 121-130. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261400448X>
- Despacho n.º 17313/2008, de 26 de Junho (D.R. n.º 122, 2.ª Série) - Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE) - Factores de Conversão.
- Dijkman, T.J.; Birkved, M.; Hauschild, M. (2012). PestLCI 2.0: a second generation model for estimating emissions of pesticides from arable land in LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17 (8): 973-986. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11367-012-0439-2#page-1>
- Disqual, [s.d.]. Manual de Boas Práticas do Tomate. Otimização da qualidade e redução de custos na cadeia de distribuição de produtos hortofrutícolas frescos. Acedido a 20 de Fevereiro de 2014 em: http://www2.esb.ucp.pt/twt/disqual/pdfs/disqual_tomate.pdf
- DRAPC, (2011). "Práticas culturais no souto". Acedido a 29 de Maio de 2014, em <http://www.drapc.min-agricultura.pt/base/documentos/praticassouto.pdf>
- DRATM, (2003). "O castanheiro em Trás-os-Montes e Alto Douro". Acedido a 28 de Maio de 2014, em http://www.drapn.min-agricultura.pt/drapn/conteudos/FICHAS_DRATM/castanheiro202.pdf
- EC, (2003). Communication from the Commission to the Council and the European Parliament. Integrated Product Policy (IPP). Building on Environmental Life-Cycle Thinking. COM (2003) 302 final, 18.06.2003
- EC, (2012). Product Environmental Footprint (PEF) Guide. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/footprint/PEF%20methodology%20final%20draft.pdf>
- EC, JRC e IES, (2010). International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. First edition March 2010. EUR 24708 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union.
- Edwards, R., Larivé, J-F., Rickeard, D., Weindorf, W., (2013) Well-to-wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context, Well-to-Tank Appendix 1 - Version 4.0, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport.
- Expresso, (2013). "Portugal já é o quarto exportador mundial de tomate transformado". Consultado a 13 de Abril de 2014, em: <http://expresso.sapo.pt/portugal-ja-e-o-quarto-exportador-mundial-de-tomate-transformado=f783440#ixzz3CYdK3Iv3>
- Faist-Emmenegger, M.; Heck, T.; Jungbluth, N. (2007). Erdgas. In: *Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz* (ed. Dones R.). Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.
- FAO, (2013). "Production of Chestnut by countries". Consultado a 26/05/2014 em <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>

- França, B.; (2007). Cultivo e processamento do tomate. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro (REDTEC). Acedido a 23 de Maio de 2014, em: <http://pt.scribd.com/doc/125942889/Tomate-Cultivo-e-Processamento>
- Frischknecht, R.; Jungbluth, N.; Althaus, H.J.; Doka, G.; Dones, R.; Hischer, R.; Hellweg, S.; Humbert, S.; Margni, M.; Nemecek, T.; Spielmann, M. (2007). Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods: Data v2.0. ecoinvent report No. 3, Swiss centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland. Disponível em: http://www.ecoinvent.org/fileadmin/documents/en/03_LCIA-Implementation.pdf
- Frischknecht, R.; Tuchschnid, M.; Faist-Emmenegger, M.; Bauer, C.; Dones, R. (2007). Strommix. In: Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz (ed. Dones R.). Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.
- Garcia, R.; Freire, F. (2014). Carbon footprint of particleboard: a comparison between ISO/TS 14067, GHG Protocol, PAS 2050 and Climate Declaration. *Journal of Cleaner Production*, vol. 66, pp.199-209. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.073>
- Gianessi L., Sankula S., Reigner N. (2003): Plant Biotechnology – Potential Impact for Improving Pest Management in European Agriculture: Tomato – Virus-Resistant Case Study. The National Center for Food and Agricultural Policy, Washington DC. Disponível em: <http://www.ncfap.org/documents/VirusResistantTomato.pdf>
- Goedkoop, M.J.; Heijungs, R.; Huijbregts, M.A.J.; De Schryver, A.M.; Struijs, J.; Van Zelm, R. (2013). ReCiPe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level; First edition (version 1.08) Report I: Characterisation. May 2013, Disponível em: <http://www.lcia-recipe.net>
- Gomes-Laranjo, J.; Coutinho, J.P.; Peixoto, F.; Araújo-Alves, (2007). Ecologia do castanheiro (*C. sativa* Mill.). In *Castanheiros* (pp. 109–150). Vila Real: Universidade Trás-os-Montes e Alto Douro
- GPP e Globalagrinar, (2013). Ficha de Internacionalização – Tomate para a indústria. Disponível em <http://www.gpp.pt/GlobalAgriMar/informacao/Docs/Produtos/Fichas/2012S2TomateFI.pdf> Acedido a 5/03/2014
- Guinée, J.; Gorrée, M.; Heijungs, R.; Hupperts, G.; Kleijn, R.; Koning, A. de; Oers, L. van; Wegener Sleeswijk, A.; Suh, S.; Udo de Haes, H.A.; Bruijn, H. de; Duin, R. van; Huijbregts, M.A.J. (2002). Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. Part III: Scientific background. Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0228-9, Dordrecht, 692 pp.
- Guinée, J.; Heijungs, R.; Voet, E.; (2009). A greenhouse gas indicator for bioenergy: some theoretical issues with practical implications. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 14:328-339.
- Henningsson, S.; Hyde, K.; Smith, A.; Campbell, M. (2004). The value of resource efficiency in the food industry: a waste minimization project in East Anglia, UK. *Journal of Cleaner Production*, 12 (5), 505-512.

- Hischier, R. (2007). Life Cycle Inventories of Packaging and Graphical Paper. Final report ecoinvent data v2.0 No. 11. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.
- Hoekstra, A.Y.; Chapagain, A.K.; Aldaya, M.M.; Mekonnen, M.M. (2011). The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard. Earthscan, London, UK.
- Huijbregts, M.A.; Rombouts, L.J.; Hellweg, S.; Frischknecht, R.; Hendriks, A.J.; Van de Meent, D.; Ragas, A.M.; Reijnders, L.; Struijs, J. (2006). Is cumulative fossil energy demand a useful indicator for the environmental performance of products? *Environmental Science & Technology* 40 (3), 641-648.
- INE e GPP, (2013a). Castanha. Código NC: 08024000. Disponível em: <http://www.gpp.pt/GlobalAgriMar/informacao/Docs/Produtos/2013S20920CastanhaDE.xls>
- INE e GPP, (2013b). Tomate Preparado ou conservado. Códigos NC: 200210 e 200290. Disponível em: <http://www.gpp.pt/GlobalAgriMar/informacao/Docs/Produtos/2012S2TomateDE.xls>
- INE, (2013). Estatísticas Agrícolas 2012. Instituto Nacional de Estatística, I. P., Lisboa. Disponível em: http://www.ine.pt/ngt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=162283087&att_display=n&att_download=y
- IPCC, (2006). Chapter 11: N₂O emissions from managed soils and CO₂ emissions from lime and urea application, in: Eggleston, S., et al. (Eds.), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, vol. 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use, IGES, Japan, pp. 11.11-11.54.
- ISO 14040 (2006). Environmental management – life cycle assessment – principles and framework. EN ISO 14040:2006. International Organization for Standardization, Geneva, Suíça.
- ISO 14044 (2006). Environmental management – life cycle assessment – requirements and guidelines. EN ISO 14044:2006. International Organization for Standardization, Geneva, Suíça.
- ISO 14046 (2014). Environmental management – water footprint – principles, requirements and guidelines. International Organization for Standardization, Geneva, Suíça.
- ISO/TS 14067 (2013). Greenhouse gases – carbon footprint of products – requirements and guidelines for quantification and communication. International Organization for Standardization, Geneva, Suíça.
- Jungbluth, N. (2007). Erdöl. Sachbilanzen von Energiesystemen. Final report no. 6 ecoinvent data v2.0. In: Dones R, editor. Swiss Centre for LCI, PSI, vol. 6. Dübendorf and Villigen (CH).
- Kellenberger, D.; Althaus, H.-J.; Jungbluth, N.; Künniger, T. (2007). Life Cycle Inventories of Building Products. Final report ecoinvent data v2.0 No. 7. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.
- Khoshnevisan, B.; Rafiee, S.; Omid, M.; Mousazadeh, H. (2013). Environmental impact assessment of tomato and cucumber cultivation in greenhouses using life cycle

- assessment and adaptive neuro-fuzzy inference system, *Journal of Cleaner Production*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.057>
- Malça, J. e Fausto, F. (2011). Uncertainty Analysis of the Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions and Energy Renewability of Biofuels, *Environmental Impact of Biofuels*, Dr. Marco Aurelio Dos Santos Bernardes (Ed.), ISBN: 978-953-307-479-5, InTech, DOI: 10.5772/17299. Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/environmental-impact-of-biofuels/uncertainty-analysis-of-the-life-cycle-greenhouse-gas-emissions-and-energy-renewability-of-biofuels>
- Manfredi, M. e Vignali, G. (2013). LCA of a packaged tomato puree: a comparison of environmental impacts produced by different life cycle phases, *Journal of Cleaner Production*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.010>
- Martínez-Blanco, J.; Muñoz, P.; Antón, A.; Rieradevall, J. (2011). Assessment of tomato Mediterranean production in open-field and standard multi-tunnel greenhouse, with compost or mineral fertilizers, from an agricultural and environmental standpoint. *J. Clean. Prod.* 19, 985-997.
- Martínez-Blanco, J.; Rieradevall, J.; Antón, A.; Muñoz, P. (2014). Multifunctionality-solving approaches of compost application in crop rotations. *Journal of Cleaner Production* vol. 64 February 1, 2014. p. 384-395
- Mateus, A. (2012). Avaliação de Ciclo de Vida do azeite e do vinho em Portugal. Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na especialidade de Tecnologia e Gestão do Ambiente. Universidade de Coimbra, Portugal.
- Matos, A.; Jesus, L.; Gerry, C. (2001). “Constrangimentos à Valorização de Produtos Agrícolas Tradicionais: o caso da Castanha de Vinhais”. In 1º Congresso de Estudos Rurais, 16 a 18 Setembro, 2001. Vila Real: UTAD.
- Metaxas, Ana Maria (2013). Chestnut cultivar evaluation for commercial chestnut production in Hamilton County, Tennessee. A Thesis Submitted to the Faculty of the University of Tennessee at Chattanooga in Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Environmental Science.
- Milà i Canals, L.; Burnip, G.M.; Cowell, S.J. (2006). Evaluation of the environmental impacts of apple production using Life Cycle Assessment (LCA): case study in New Zealand. *Agric Ecosyst Environ* 114 (2-4), 226-238.
- Milà I Canals, L.; Cowell, S.J.; Sim, S.; Basson, L. (2007). Comparing domestic versus imported apples: a focus on energy use. *Environmental Science and Pollutant Research* 14 (5), 338-344.
- Mouron, P.; Nemecek, T.; Scholz, R.W.; Weber, O. (2006). Management influence on environmental impacts in an apple production system on Swiss fruit farms: combining life cycle assessment with statistical risk assessment. *Agric Ecosyst Environ* 114 (2-4), 311-322.
- Nemecek, T.; Kägi, T.; Blaser, S. (2007). Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Final report ecoinvent v2.0 No.15. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.

- Nemecek, T.; Schnetzer, J. (2012). Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production systems. Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, Zurich, Switzerland.
- Observatório do Tomate, (2014). “Dados do sector”. Acedido a 12 de Março de 2014 em: <http://www.observatoriodotomate.pt/dados-do-setor.html>
- OMAIAA, (2013a). “A Comercialização do Tomate em Portugal”. Acedido a 4 de Abril de 2014 em: http://www.observatorioagricola.pt/item.asp?id_item=141
- OMAIAA, (2013b). “A Produção e Comercialização da Castanha em Portugal”. Acedido a 4 de Abril de 2014 em: http://www.observatorioagricola.pt/item.asp?id_item=116
- Page, G.; Ridoutt, B.; Bellotti, B. (2012). Carbon and water footprint tradeoffs in fresh tomato production. *J. Clean. Prod.* 32, 219-226.
- Pardo, G.; Zufía, J. (2012). Life cycle assessment of food-preservation technologies. *J Clean Prod* 28, 198-207.
- Pereira, J.A.; Ribeiro, B.; Rangel, J.; Valentão, P.; Andrade, P.B.; Bento, A.; Seabra, R.M. (2007). Efeito do processamento na composição em ácidos orgânicos em castanhas das cultivares Judia e Longal. II Congresso Ibérico do Castanheiro. Vila Real
- Piekarski, C.M.; Luz, L.M.; Zocche, L.; Francisco, A.C. (2012). Life Cycle Impact Assessment Methods: a discussion of methods adoption in Brazilian specificities. *Revista Gestão Industrial* 09/2012; 8(3):222-240. DOI:10.3895/S1808-04482012000300011
- Poças, M.F.; (2003), *Segurança Alimentar e Embalagem*. Disponível em: http://www2.esb.ucp.pt/twt/embalagem/MyFiles/biblioteca/publicacoes/seg_alimentar.pdf
- Ramirez, P. (2009). *Análise de Métodos de Alocação Utilizados em Avaliação do Ciclo de Vida*. 138p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- Ribeiro, P. (2012). *Embalagens de bens alimentares: contributos para a definição de políticas eco-eficientes em Portugal*. Tese de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Ridoutt, B.G.; Pfister, S. (2010). A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity. *Global Environmental Change* 20 (1), 113-120.
- Romero-Gámez, M.; Suárez-Rey, E.M.; Antón, A.; Castilla, N.; Soriano, T. (2012). Environmental impact of greenhouse and open-field cultivation using a life cycle analysis: the case study of green bean production. *J Clean Prod* 28, 63-69.
- Rosenbaum, R.K.; Bachmann, T.M.; Gold, L.S.; Huijbregts, M.A.J.; Jolliet, O.; Juraske, R.; Koehler, A.; Larsen, H.F.; MacLeod, M.; Margni, M.D.; McKone, T.E.; Payet, J.; Schuhmacher, M.; van de Meent, D.; Hauschild, M.Z.; (2008). USEtox - The UNEP-SETAC toxicity model: Recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 13, 532-546.

- Roy, P.; Nei, D.; Okadome, H.; Nakamura, N.; Shiina, T. (2008). Life cycle inventory analysis of fresh tomato distribution systems in Japan considering the quality aspect. *J. Food Eng.* 86 (2), 225-233.
- SAIC, (2006). *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*. Cincinnati: National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency. Disponível em: http://www.epa.gov/nrmrl/std/lca/pdfs/chapter1_frontmatter_lca101.pdf
- Silva, A.P.; Ribeiro, R.; Gonçalves, B.; Santos, F.A.; (2007). Castanha – Um Fruto Saudável. (178 pp). *Projecto Agro*, (939). Vila Real, Portugal.
- Siracusa, V.; Ingraio, C.; Lo Giudice, A.; Mbohwa, C.; Dalla Rosa, M. (2014). Environmental assessment of a multilayer polymer bag for food packaging and preservation: An LCA approach. *Science of the Total Environment* 493, 914–929
- Soares, M. (2007), “Sortegel, preparação e congelação da castanha”. *Revista da APH (Associação Portuguesa de Horticultura)* Nº 91, pp. 9-13.
- Spielmann, M.; Dones, R.; Bauer, C. (2007). *Life Cycle Inventories of Transport Services*. Final report ecoinvent v2.0 No. 14. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.
- Torrellas, M.; Antón, A.; Ruijs, M.; Victoria, N.G.; Stanghellini, C.; Montero, J.I.; (2012). Environmental and economic assessment of protected crops in four European scenarios. *J. Clean. Prod.* 28, 45-55.
- USDA, (2009). *Selecting, preparing and canning tomatoes and tomato products. Complete guide to home canning guide 3*. Acedido a 24 de Maio de 2014, em: <http://nchfp.uga.edu/publications/usda/GUIDE%203%20Home%20Can.pdf>
- USEPA, (2001). U.S. Environmental Protection Agency and Science Applications International Corporation. *LCAccess - LCA 101*. 2001. Retrieved from: <http://www.epa.gov/nrmrl/std/lca/lca.html>
- USEtox – <http://www.usetox.org/> - Acedido a 23 de Junho de 2014.
- Williams, H.; Wikstrom, F. (2011). Environmental impact of packaging food losses in a life cycle perspective: A comparative analysis of five food items. *Journal of Cleaner Production* 19, 43-48.
- WPTC, (2013). *World Production Estimate of Tomatoes for Processing*. Acedido a 18 de Março de 2014, em: <http://www.wptc.to/pdf/releases/WPTC%20world%20production%20estimate%20as%20of%2025%20October%20%202013.pdf>

APÊNDICE A - RESULTADOS DA ACV DA CASTANHA

Tabela A.1 - Impactes ambientais do cultivo de 1 kg de castanha

Categoria de impacte	Unidade	P1 [2011]	P2 [2010]	P2 [2011]	P2 [2012]	P3 [2010]	P3 [2011]
Depleção Abiótica	[kg Sb _{eq} /kg castanha]	2,9E-03	2,0E-03	3,0E-03	2,1E-03	1,4E-02	7,8E-03
Acidificação	[kg SO ₂ eq/kg castanha]	5,6E-03	5,0E-03	7,7E-03	5,3E-03	1,8E-02	1,0E-02
Eutrofização	[kg PO ₄ ³⁻ eq/kg castanha]	4,9E-03	3,6E-03	5,6E-03	3,9E-03	1,3E-02	7,3E-03
Aquecimento global	[kg CO ₂ eq/kg castanha]	6,8E-01	3,7E-01	5,6E-01	3,9E-01	3,2E+00	1,3E+00
Depleção da camada de ozono	[kg CFC ⁻¹¹ eq/kg castanha]	7,7E-08	3,4E-08	5,2E-08	3,6E-08	3,7E-07	2,1E-07
Oxidação fotoquímica	[kg C ₂ H ₄ eq/kg castanha]	1,7E-04	1,0E-04	1,6E-04	1,1E-04	6,5E-04	3,7E-04
Toxicidade humana	[kg 1,4-DB eq/kg castanha]	1,9E-01	9,9E-02	1,5E-01	1,1E-01	6,7E-01	3,8E-01
Ecotoxicidade terrestre	[kg 1,4-DB eq/kg castanha]	3,0E-04	2,1E-04	3,2E-04	2,2E-04	6,7E-02	3,8E-02
Ecotoxicidade de água doce	[kg 1,4-DB eq/kg castanha]	1,8E-02	1,2E-02	1,8E-02	1,3E-02	7,3E-02	4,2E-02
Ecotoxicidade marinha	[kg 1,4-DB eq/kg castanha]	4,4E-03	2,5E-03	3,9E-03	2,7E-03	1,5E-02	8,6E-03

Tabela A.2 - Impactes ambientais do processamento de 1 kg de castanha

Categoria de impacte	Unidade	Linha de congelamento	Linha de fresco
Depleção Abiótica	[kg Sb _{eq} /kg castanha]	2,6E-03	8,6E-04
Acidificação	[kg SO ₂ eq/kg castanha]	3,1E-03	9,0E-04
Eutrofização	[kg PO ₄ ³⁻ eq/kg castanha]	5,3E-04	1,9E-04
Aquecimento global	[kg CO ₂ eq/kg castanha]	3,6E-01	8,9E-02
Depleção da camada de ozono	[kg CFC ⁻¹¹ eq/kg castanha]	2,1E-08	1,4E-08
Oxidação fotoquímica	[kg C ₂ H ₄ eq/kg castanha]	1,1E-04	3,4E-05
Toxicidade humana	[kg 1,4-DB eq/kg castanha]	1,0E-01	1,3E-02
Ecotoxicidade terrestre	[kg 1,4-DB eq/kg castanha]	9,0E-05	1,5E-05
Ecotoxicidade de água doce	[kg 1,4-DB eq/kg castanha]	1,9E-03	2,6E-04
Ecotoxicidade marinha	[kg 1,4-DB eq/kg castanha]	2,1E-03	2,8E-04

Tabela A.3 - Impactes ambientais da embalagem de 1 kg de castanhas em saco de PEBD

Categoria de impacte	Unidade	Embalagem em saco PEBD
Depleção Abiótica	[kg Sb _{eq} /kg castanha]	8,1E-05
Acidificação	[kg SO ₂ eq/kg castanha]	3,3E-05
Eutrofização	[kg PO ₄ ³⁻ eq/kg castanha]	9,0E-06
Aquecimento global	[kg CO ₂ eq/kg castanha]	9,4E-03
Depleção da camada de ozono	[kg CFC ⁻¹¹ eq/kg castanha]	8,4E-10
Oxidação fotoquímica	[kg C ₂ H ₄ eq/kg castanha]	1,8E-06
Toxicidade humana	[kg 1,4-DB eq/kg castanha]	1,3E-03
Ecotoxicidade terrestre	[kg 1,4-DB eq/kg castanha]	1,5E-06
Ecotoxicidade de água doce	[kg 1,4-DB eq/kg castanha]	2,9E-05
Ecotoxicidade marinha	[kg 1,4-DB eq/kg castanha]	3,0E-05

Tabela A.4 - Impactes ambientais do transporte de 1 kg de castanhas

Categoria de impacte	Unidade	Transporte: Exportação				Transporte: Nacional	
		Marselha	Marselha	Brasil	Brasil	Lisboa	Faro
		Camião	Avião	Barco	Avião	Camião	Camião
Depleção Abiótica	[kg Sb _{eq} /kg castanha]	1,6E-03	1,3E-02	8,5E-04	9,1E-02	5,7E-04	8,6E-04
Acidificação	[kg SO ₂ eq/kg castanha]	8,5E-04	8,0E-03	2,1E-03	5,5E-02	3,1E-04	4,6E-04
Eutrofização	[kg PO ₄ ³⁻ eq/kg castanha]	2,2E-04	1,5E-03	2,5E-04	1,0E-02	8,1E-05	1,2E-04
Aquecimento global	[kg CO ₂ eq/kg castanha]	2,3E-01	2,1E+00	1,3E-01	1,4E+01	8,5E-02	1,3E-01
Depleção da camada de ozono	[kg CFC ⁻¹¹ eq/kg castanha]	3,5E-08	2,6E-07	1,6E-08	1,8E-06	1,3E-08	1,9E-08
Oxidação fotoquímica	[kg C ₂ H ₄ eq/kg castanha]	2,7E-05	3,3E-04	6,7E-05	2,3E-03	9,8E-06	1,5E-05
Toxicidade humana	[kg 1,4-DB eq/kg castanha]	2,6E-02	7,7E-02	1,7E-02	5,1E-01	9,5E-03	1,4E-02
Ecotoxicidade terrestre	[kg 1,4-DB eq/kg castanha]	3,8E-05	1,8E-04	1,4E-05	1,2E-03	1,4E-05	2,1E-05
Ecotoxicidade de água doce	[kg 1,4-DB eq/kg castanha]	5,6E-04	1,8E-03	3,6E-04	1,2E-02	2,0E-04	3,1E-04
Ecotoxicidade marinha	[kg 1,4-DB eq/kg castanha]	6,8E-04	2,4E-03	6,2E-04	1,6E-02	2,5E-04	3,7E-04

Tabela A.5 - Impactes ambientais dos cenários totais: cultivo, processamento, embalagem e transporte de 1 kg de castanhas

Categoria de impacto	Unidade	Transporte: Exportação				Transporte: Nacional	
		Marselha	Marselha	Brasil	Brasil	Lisboa	Faro
		Camião	Avião	Barco	Avião	Camião	Camião
Depleção Abiótica	[kg Sb _{eq} /kg castanha]	7,9E-03	2,0E-02	7,2E-03	9,7E-02	6,9E-03	7,2E-03
Acidificação	[kg SO ₂ eq/kg castanha]	1,0E-02	1,7E-02	1,2E-02	6,4E-02	9,8E-03	1,0E-02
Eutrofização	[kg PO ₄ ³⁻ eq/kg castanha]	5,9E-03	7,2E-03	5,9E-03	1,6E-02	5,7E-03	5,8E-03
Aquecimento global	[kg CO ₂ eq/kg castanha]	1,3E+00	3,2E+00	1,2E+00	1,5E+01	1,2E+00	1,2E+00
Depleção da camada de ozono	[kg CFC ⁻¹¹ eq/kg castanha]	1,5E-07	3,7E-07	1,3E-07	1,9E-06	1,3E-07	1,3E-07
Oxidação fotoquímica	[kg C ₂ H ₄ eq/kg castanha]	3,4E-04	6,5E-04	3,8E-04	2,6E-03	3,3E-04	3,3E-04
Toxicidade humana	[kg 1,4-DB eq/kg castanha]	3,2E-01	3,7E-01	3,1E-01	8,1E-01	3,0E-01	3,1E-01
Ecotoxicidade terrestre	[kg 1,4-DB eq/kg castanha]	4,3E-04	5,7E-04	4,1E-04	1,6E-03	4,1E-04	4,2E-04
Ecotoxicidade de água doce	[kg 1,4-DB eq/kg castanha]	2,0E-02	2,1E-02	2,0E-02	3,2E-02	2,0E-02	2,0E-02
Ecotoxicidade marinha	[kg 1,4-DB eq/kg castanha]	7,2E-03	8,9E-03	7,2E-03	2,3E-02	6,8E-03	6,9E-03

APÊNDICE B – RESULTADOS DA ACV DO TOMATE

Tabela B.1 - Impactes ambientais do cultivo de 1 tonelada de tomate

Categoria de impacte	Unidade	P [A]	P [B]	P [C]	P [D]	P [E]
Depleção Abiótica	[kg Sb eq/t tomate]	2,1E-01	3,6E-01	3,8E-01	4,7E-01	3,2E-01
Acidificação	[kg SO ₂ eq/t tomate]	3,8E-01	5,4E-01	8,3E-01	6,1E-01	4,3E-01
Eutrofização	[kg PO ₄ ³⁻ eq/t tomate]	1,8E-01	4,2E-01	4,7E-01	3,7E-01	2,7E-01
Aquecimento global	[kg CO ₂ eq/t tomate]	3,5E+01	6,5E+01	6,8E+01	8,0E+01	5,5E+01
Depleção da camada de ozono	[kg CFC ⁻¹¹ eq/t tomate]	3,2E-06	6,0E-06	5,5E-06	8,4E-06	6,1E-06
Oxidação fotoquímica	[kg C ₂ H ₄ eq/t tomate]	1,0E-02	1,4E-02	1,7E-02	2,3E-02	1,5E-02
Toxicidade humana	[kg 1,4-DB eq/t tomate]	8,6E+00	1,2E+01	1,5E+01	2,6E+01	1,8E+01
Ecotoxicidade terrestre	[kg 1,4-DB eq/t tomate]	1,2E-02	4,2E-02	3,3E-01	1,6E-02	1,3E-01
Ecotoxicidade de água doce	[kg 1,4-DB eq/t tomate]	5,4E-01	9,4E-01	7,8E-01	8,2E-01	5,9E-01
Ecotoxicidade marinha	[kg 1,4-DB eq/t tomate]	1,9E-01	2,9E-01	4,9E-01	4,7E-01	3,8E-01

Tabela B.2 - Impactes ambientais do processamento de 1 tonelada de tomate

Categoria de impacte	Unidade	Pedaços [1]	Pedaços [2]	Conc. [2]	Pelado [1]	Polpa [1]	Polpa [3]
Depleção Abiótica	[kg Sb eq/t tomate]	2,0E+00	9,1E-01	5,4E+00	2,1E+00	2,7E+00	6,7E-01
Acidificação	[kg SO ₂ eq/t tomate]	7,2E-01	1,2E-01	7,3E-01	8,6E-01	7,1E-01	1,9E-01
Eutrofização	[kg PO ₄ ³⁻ eq/t tomate]	1,2E-01	2,1E-02	1,2E-01	1,5E-01	1,2E-01	3,4E-02
Aquecimento global	[kg CO ₂ eq/t tomate]	2,7E+02	1,2E+02	6,9E+02	2,7E+02	3,4E+02	8,8E+01
Depleção da camada de ozono	[kg CFC ⁻¹¹ eq/t tomate]	2,6E-05	1,3E-05	7,6E-05	2,6E-05	3,5E-05	9,4E-06
Oxidação fotoquímica	[kg C ₂ H ₄ eq/t tomate]	3,4E-02	8,6E-03	5,1E-02	3,8E-02	3,7E-02	9,6E-03
Toxicidade humana	[kg 1,4-DB eq/t tomate]	2,1E+01	2,8E+00	1,7E+01	2,5E+01	2,0E+01	5,1E+00
Ecotoxicidade terrestre	[kg 1,4-DB eq/t tomate]	1,8E-02	2,9E-03	1,7E-02	2,2E-02	1,8E-02	4,9E-03
Ecotoxicidade de água doce	[kg 1,4-DB eq/t tomate]	3,9E-01	5,2E-02	3,1E-01	4,7E-01	3,7E-01	9,6E-02
Ecotoxicidade marinha	[kg 1,4-DB eq/t tomate]	4,7E-01	8,0E-02	4,7E-01	5,6E-01	4,6E-01	1,2E-01

Tabela B.3 - Impactes ambientais da embalagem de 1 tonelada de tomate

Categoria de impacte	Unidade	Frasco de vidro 0,5 L	Frasco de vidro 1 L	Lata 0,4 Kg	TR 390 mL
Depleção Abiótica	[kg Sb _{eq} /t tomate]	4,3E+00	4,2E+00	2,3E+00	1,4E+00
Acidificação	[kg SO ₂ eq/t tomate]	4,2E+00	4,2E+00	1,1E+00	8,3E-01
Eutrofização	[kg PO ₄ ³⁻ eq/t tomate]	6,9E-01	6,9E-01	5,9E-01	2,1E-01
Aquecimento global	[kg CO ₂ eq/t tomate]	5,8E+02	5,7E+02	3,0E+02	1,8E+02
Depleção da camada de ozono	[kg CFC ⁻¹¹ eq/t tomate]	5,3E-05	5,2E-05	1,1E-05	1,2E-05
Oxidação fotoquímica	[kg C ₂ H ₄ eq/t tomate]	1,6E-01	1,6E-01	1,3E-01	4,2E-02
Toxicidade humana	[kg 1,4-DB eq/t tomate]	1,6E+02	1,6E+02	2,0E+02	5,6E+01
Ecotoxicidade terrestre	[kg 1,4-DB eq/t tomate]	1,4E-01	1,4E-01	3,9E-02	2,8E-02
Ecotoxicidade de água doce	[kg 1,4-DB eq/t tomate]	2,4E+00	2,4E+00	6,8E+00	1,0E+00
Ecotoxicidade marinha	[kg 1,4-DB eq/t tomate]	2,5E+00	2,5E+00	7,0E+00	9,6E-01

Tabela B.4 - Impactes ambientais do transporte de 1 tonelada de tomate

Categoria de impacte	Unidade	Transporte: Exportação				Transporte: Nacional	
		Londres	Londres	Berlim	Berlim	Porto	Faro
		Camião	Avião	Camião	Avião	Camião	Camião
Depleção Abiótica	[kg Sb _{eq} /t tomate]	4,0E+00	2,8E+01	5,1E+00	4,0E+01	4,6E-01	5,8E-01
Acidificação	[kg SO ₂ eq/t tomate]	2,2E+00	1,7E+01	2,8E+00	2,4E+01	2,5E-01	3,1E-01
Eutrofização	[kg PO ₄ ³⁻ eq/t tomate]	5,7E-01	3,2E+00	7,3E-01	4,6E+00	6,6E-02	8,3E-02
Aquecimento global	[kg CO ₂ eq/t tomate]	5,9E+02	4,4E+03	7,6E+02	6,3E+03	6,9E+01	8,6E+01
Depleção da camada de ozono	[kg CFC ⁻¹¹ eq/t tomate]	8,9E-05	5,4E-04	1,1E-04	7,8E-04	1,0E-05	1,3E-05
Oxidação fotoquímica	[kg C ₂ H ₄ eq/t tomate]	6,8E-02	6,9E-01	8,8E-02	1,0E+00	8,0E-03	1,0E-02
Toxicidade humana	[kg 1,4-DB eq/t tomate]	6,6E+01	1,6E+02	8,5E+01	2,3E+02	7,8E+00	9,7E+00
Ecotoxicidade terrestre	[kg 1,4-DB eq/t tomate]	9,7E-02	3,7E-01	1,2E-01	5,3E-01	1,1E-02	1,4E-02
Ecotoxicidade de água doce	[kg 1,4-DB eq/t tomate]	1,4E+00	3,8E+00	1,8E+00	5,4E+00	1,7E-01	2,1E-01
Ecotoxicidade marinha	[kg 1,4-DB eq/t tomate]	1,7E+00	4,9E+00	2,2E+00	7,1E+00	2,0E-01	2,5E-01

Tabela B.5 - Impactes ambientais dos cenários totais: cultivo, processamento, embalagem e transporte de 1 tonelada de tomate

Categoria de impacte	Unidade	Transporte: Exportação				Transporte: Nacional	
		Londres	Londres	Berlim	Berlim	Porto	Faro
		Camião	Avião	Camião	Avião	Camião	Camião
Depleção Abiótica	[kg Sb eq/t tomate]	1,2E+01	3,5E+01	1,3E+01	4,8E+01	8,1E+00	8,2E+00
Acidificação	[kg SO ₂ eq/t tomate]	8,1E+00	2,3E+01	8,7E+00	3,0E+01	6,2E+00	6,3E+00
Eutrofização	[kg PO ₄ ³⁻ eq/t tomate]	2,2E+00	4,7E+00	2,3E+00	6,2E+00	1,7E+00	1,7E+00
Aquecimento global	[kg CO ₂ eq/t tomate]	1,6E+03	5,4E+03	1,8E+03	7,4E+03	1,1E+03	1,1E+03
Depleção da camada de ozono	[kg CFC ⁻¹¹ eq/t tomate]	1,9E-04	6,4E-04	2,1E-04	8,7E-04	1,1E-04	1,1E-04
Oxidação fotoquímica	[kg C ₂ H ₄ eq/t tomate]	2,9E-01	9,2E-01	3,1E-01	1,2E+00	2,3E-01	2,4E-01
Toxicidade humana	[kg 1,4-DB eq/t tomate]	2,7E+02	3,6E+02	2,9E+02	4,3E+02	2,1E+02	2,1E+02
Ecotoxicidade terrestre	[kg 1,4-DB eq/t tomate]	3,3E-01	6,0E-01	3,6E-01	7,7E-01	2,5E-01	2,5E-01
Ecotoxicidade de água doce	[kg 1,4-DB eq/t tomate]	5,9E+00	8,3E+00	6,3E+00	9,9E+00	4,7E+00	4,7E+00
Ecotoxicidade marinha	[kg 1,4-DB eq/t tomate]	5,2E+00	8,4E+00	5,7E+00	1,1E+01	3,7E+00	3,7E+00

APÊNDICE C – OUTROS ESTUDOS DO TOMATE CONSULTADOS

- Antón, A.; Castells, F.; Montero, J.I.; Huijbregts, M. (2004). Comparison of toxicological impacts of integrated and Chemicals pest Management in Mediterranean greenhouses. *Chemosphere* 54: 1225-1235. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653503010324>
- Biel, A., Bergström, K., Carlsson-Kanyama, A., Fuentes, C., Grankvist, G., Lagerberg-Fogelberg, C., Shanahan, C., Solér, C. (2006). Environmental information in the food supply system. Report FOI-R-1903-SE. Disponível em: <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOid=962047&fileOid=2834896>
- Bilalis, D.; Kamariari, P. E.; Karkanis, A.; Efthimiadou, A.; Zorpas, A.; Kakabouki, I. (2013). Energy inputs, output and productivity in organic and conventional maize and tomato production, under mediterranean conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, vol. 41, no. 1, pp. 190–194. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/369745>
- Boulard, T.; Raeppele, C.; Brun, R.; Lecompte, F.; Hayer, F.; Carmassi, G.; Gaillard, G. (2011). Environmental impact of greenhouse tomato production in France. *Agronomy Sustainable Development*, 31: 757-777. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13593-011-0031-3>
- Carlsson-Kanyama, A.; Ekström, M.P.; Shanahan, H. (2003.) Food and life cycle energy inputs: consequences of diet and ways to increase efficiency. *Ecological Economics*, 44: 293-307. Disponível em: <http://infohouse.p2ric.org/ref/37/36497.pdf>
- Chapagain, A.K.; Orr, S. (2009) An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of Spanish tomatoes. *Journal of Environmental Management*, 90: 1219-1228. Disponível em: http://www.huellahidrica.org/Reports/Chapagain_and_Orr_2009.pdf
- Esengun, K; Erdal, G; Gunduz, O; Erdal, H. (2007). An economic analysis and energy use in stake-tomato production in Tokat province of Turkey. *Renewable Energy*, 32: 1873–81. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148106002242>
- Foster, C.; Bleda, M.; Dewick, P.; Evans, B.; Flynn, A.; Mylan, J. (2006). Environmental Impacts of food production and consumption. Report to Defra on Project EV02007, Manchester Business School, Defra, London. Disponível em: <http://www.ifr.ac.uk/waste/Reports/DEFRA-Environmental%20Impacts%20of%20Food%20Production%20%20Consumption.pdf>

- Hatirli, S.A.; Ozkan, B.; Fert, C. (2008). Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. *Renewable Energy*, 31: 427-438. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096014810500087X>
- Hendricks, P. (2012). Life Cycle Assessment of Greenhouse Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Production in Southwestern Ontario. A Thesis presented to The University of Guelph. In partial fulfilment of requirements for the degree of Master of Science in Plant Agriculture. Guelph, Ontario, Canada. Disponível em: [https://atrium.lib.uoguelph.ca/xmlui/bitstream/handle/10214/4052/Life%20Cycle%20Assessment%20of%20Greenhouse%20Tomato%20\(Solanum%20lycopersicum%20L.\)%20Production%20in%20Southwestern%20Ontario.pdf?sequence=1](https://atrium.lib.uoguelph.ca/xmlui/bitstream/handle/10214/4052/Life%20Cycle%20Assessment%20of%20Greenhouse%20Tomato%20(Solanum%20lycopersicum%20L.)%20Production%20in%20Southwestern%20Ontario.pdf?sequence=1)
- Jones, C. D.; Fraisse, C. W.; Ozores-Hampton, M. (2012). Quantification of greenhouse gas emissions from open field-grown Florida tomato production. *Agricultural Systems*, 113: 64-72. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X12001199>
- Karakaya, A.; Özilgen, M. (2011). Energy utilization and carbon dioxide emission in the fresh, paste, whole-peeled, diced, and juiced tomato production processes. *Energy*, 36: 5101–5110. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544211003847>
- Kelly, J.; Macdonald, A.; Wilkes, T. (2010). Life Cycle Analysis of Tomato Production: Comparing British Columbia Greenhouse-Grown Tomatoes to Florida Field-Grown Tomatoes for use at the University of British Columbia. University of British Columbia. Disponível em: https://circle.ubc.ca/bitstream/handle/2429/30084/Life%2520Cycle%2520Analysis%2520of%2520Tomato%2520Production%2520FINAL_0.pdf?sequence=1
- Krewer, C.; Emanuelsson, A.; Zettergren, G. (2013). LCA of food transports and tomato production: A comparison of different food transport scenarios, including production of tomatoes. SIK – The Swedish Institute for Food and Biotechnology. Disponível em: <http://www.goteborgshamn.se/Documents/Tomatrapport/Report%208.pdf>
- Laufenberg, G.; Kunz, B.; Nystroem, M. (2003). Transformation of vegetable waste into value added products: (A) the upgrading concept; (B) practical implementations. *Bioresource Technology*, 87(2): 167-198. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852402001670>
- Marletto, G.; Sillig, C. (2014). Environmental impact of Italian canned tomato logistics: national vs. regional supply chains. *Journal of Transport Geography*, 34: 131–141. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966692313002391>
- Martínez-Blanco, J.; Muñoz, P.; Antón, A.; Rieradevall, A. (2009) Life cycle assessment of the use of compost from municipal organic waste for fertilization of tomato crops. *Resources, Conservation and Recycling*, 53: 340–351. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344909000317>
- Mintcheva, V. (2005). Indicators for environmental policy integration in the food supply chain (the case of the tomato ketchup supply chain and the integrated product

- policy). *Journal of Cleaner Production*, 13 (7): 717-731. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652604000411>
- Nordenström, E.; Guest, G.; Fröling, M. (2010). LCA of local bio-chip fuelled greenhouses versus Mediterranean open field tomatoes for consumption in Northern Scandinavia. Mid Sweden University, Östersund, Sweden and Norwegian University of Science & Technology, Trondheim, Norway. Disponível em: <http://miun.diva-portal.org/smash/get/diva2:371484/FULLTEXT02.pdf>
- Ozkan, B.; Ceylan, F. R.; Kizilay, H. (2011). Comparison of energy inputs in glasshouse double crop (fall and summer crops) tomato production. *Renewable Energy*, 36 (5): 1639-1644. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148110005355>
- Ozkan, B.; Ceylan, F. R.; Kizilay, H. (2011). Energy inputs and crop yield relationships in greenhouse winter crop tomato production. *Renewable Energy*, 36 (11): 3217-3221. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148111001704>
- Pahlavan, R.; Omid, M.; Akram, A. (2011). Energy use efficiency in greenhouse tomato production in Iran. *Energy*, 36 (12): 6714-6719. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544211006979>
- Palma, G.; Padilla, M.; Saheb, M.; Tatar, Y.; Tugulay, A.; Kellou, I. (2014). Environmental impact of processed tomato in France and in Turkey. 9th International Conference LCA of Food San Francisco, USA 8-10 October 2014. Disponível em: <http://lcafood2014.org/papers/7.pdf>
- Pydynkowski, K.; Hercheh, A.; Drennan, D.; Chen, W. (2008). A Life Cycle Analysis for tomatoes in NH. ENGS 171. <https://engineering.dartmouth.edu/~d30345d/courses/engs171/Tomatoes.pdf>
- Roy, P.; Nei, D.; Orikasa, T.; Xu, Q.; Okadome, H.; Nakamura, N.; Shiina, T. (2009). A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering*, 90 (1): 1–10. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877408002793>
- Schramski, J.R.; Jacobsen, K.L.; Smith, T.W.; Williams, M.A.; Thompson, T.M. (2013). Energy as a potential systems-level indicator of sustainability in organic agriculture: Case study model of a diversified, organic vegetable production system. *Ecological Modelling*, 267: 102-114. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380013003773>
- Stevenson, M.; Evans, C.; Forgie, J.; Huttinger, L. (2010). Evaluating the Environmental Impacts of Packaging Fresh Tomatoes Using Life-Cycle Thinking & Assessment: A Sustainable Materials Management Demonstration Project. Disponível em: <http://www.epa.gov/epawaste/conservation/tools/stewardship/docs/tomato-packaging-assessment.pdf>
- Theurl, M.C.; Haberl, H.; Erb, K.H.; Lindenthal, T. (2014). Contrasted greenhouse gas emissions from local versus long-range tomato production. *Agronomy for Sustainable Development*, 34: 593–602. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13593-013-0171-8>

Williams, A.G.; Audsley, E.; Sandars, D.L. (2006). Determining the Environmental Burdens and Resource Use in the Production of Agricultural and Horticultural Commodities; Main Report, Defra Research Project IS0205; Cranfield University and Defra: Bedford, UK, 2006. Disponível em: http://www.smmi.nu/IS0205_3959_FRP.pdf

Williams, H.; Wikström, F. (2011). Environmental impact of packaging and food losses in a life cycle perspective: a comparative analysis of five food items. *Journal of Cleaner Production*, 19: 43–48. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652610003239>