



**Patrícia Ferreira  
Costa**

**Análise Ciclo de Vida de produtos do fabrico de  
calçado**





**Patrícia Ferreira  
Costa**

**Análise Ciclo de Vida de produtos do fabrico de calçado**

Relatório de estágio apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Prof. Doutor Manuel Arlindo Amador de Matos, Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro e supervisão da Doutora Maria José Pinto Ferreira, Diretora de Investigação e Qualidade do Centro Tecnológico de Calçado Portugal.



"Nenhum vento sopra a favor de quem não sabe para onde ir."

(Sêneca)



## **o júri**

presidente

**Professora Doutora Ana Paula Duarte Gomes**

Professora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

**Professora Doutora Belmira de Almeida Ferreira Neto**

Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

(Arguente)

**Professor Doutor Manuel Arlindo Amador de Matos**

Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

(Orientador)





## agradecimentos

Dedico este espaço para uma palavra de agradecimento pela realização deste trabalho a todos aqueles que, de alguma forma, foram importantes e estiveram envolvidos no meu percurso, especialmente a:

Ao meu orientador Professor Doutor Manuel Arlindo Amador de Matos, quero expressar a minha gratidão pela orientação da dissertação, sentido crítico, pelo suporte à elaboração deste documento, persistência perante os obstáculos surgidos ao longo do desenvolvimento do meu trabalho, todas as correções e ainda por toda a atenção prestada, em todas as reuniões. Do mesmo modo, a sua boa disposição, conselhos e capacidade de motivação tiveram um papel crucial para enfrentar fases mais críticas.

À Doutora Maria José Pinto Ferreira, diretora da qualidade e investigação do Centro Tecnológico do Calçado Portugal, por me ter dado a oportunidade de realizar este estágio, por toda a integração e por todo o apoio necessário para a realização deste trabalho.

Quero agradecer também a todos os colaboradores do Centro Tecnológico de Calçado Portugal por me acolherem durante estes meses. Um especial agradecimento à Vera Pinto, que me acompanhou mais de perto, quero expressar a minha gratidão, pela prestação e auxílio em informações técnicas, de elevada relevância para este trabalho, por toda a sabedoria que me transmitiu, orientação, ajuda e conselhos dados durante o estágio, foram fundamentais.

Uma palavra de agradecimento especial também aos colaboradores do laboratório do Centro Tecnológico do Calçado Portugal que tive oportunidade de conviver diariamente, que me integraram e me proporcionaram um excelente ambiente de trabalho.

Gostaria de agradecer também à empresa AMF, Lda., pela visita guiada às suas instalações e pela prestação de auxílio nos esclarecimentos que foram solicitados e algumas informações que ajudaram na elaboração deste trabalho.

Ao Programa de Intercambio, que me proporcionou uma das melhores experiências da minha vida e que mostrou que o mundo é muito mais do que a nossa zona de conforto.

Ao meu pai, à minha mãe e ao meu irmão, que sempre fizeram de tudo para me apoiar ao longo deste percurso e em todas as minhas decisões, e por todo o esforço que realizaram para que eu pudesse estudar, pelo apoio, pelo amor e orgulho que sentem em mim, pois, sem eles este percurso seria impossível.

Ao Tiago, por me acompanhar durante todo o meu percurso académico, por estar sempre presente e por me ajudar em todos os momentos, mas principalmente nos momentos mais complicados durante todo o percurso, foi um pilar fundamental.

Por fim, quero agradecer a todos aqueles que partilharam e viveram comigo estes que foram dos melhores anos da minha vida, em especial as minhas meninas, que tornaram esta caminhada mais fácil! Foi com vocês que conheci o espírito académico e com quem aprendi a trabalhar verdadeiramente em equipa.



## palavras-chave

Avaliação de Ciclo de Vida, impacto ambiental, calçado, processo produtivo, couro, sapatos

## resumo

A consciencialização ambiental tem vindo a motivar o desenvolvimento de materiais mais sustentáveis e ecológicos e ao encontro de consumidores cada vez mais exigentes. A avaliação ambiental é uma recomendação da União Europeia que tem por objetivo produtos e serviços com menores impactos ao longo do seu ciclo de vida, isto é desde a extração de recursos da natureza, passando pela transformação, manufatura, utilização e destino final (*from cradle to grave*).

O presente estudo apresenta uma avaliação de impacto de ciclo de vida (AICV) de um sistema de produto na área do calçado, referente a um par de sapatos da AMF, Lda., analisando todos os processos envolvidos até à distribuição (*from cradle to gate*), tendo sido desenvolvido sob três cenários distintos envolvendo componentes preparados a partir de diferentes matérias-primas (Cenário Base, Cenário Alternativo A e Cenário Alternativo B) e um total de quatro indicadores de AICV (Alterações Climáticas, Pegada Ecológica, Potencial de Acidificação e Potencial de Eutrofização).

No âmbito do estudo realizado, procedeu-se à recolha e análise de inventário dos materiais e processos de fabrico durante a visita e acompanhamento do processo produtivo do modelo em estudo. Adicionalmente, foram obtidas informações na literatura relativamente ao processo de fabrico do couro. A base de dados Ecoinvent v.3.3 forneceu os dados necessários à Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida sendo que o Open LCA foi usado como ferramenta de ACV.

A AICV realizada ao processo produtivo do couro permitiu determinar um valor de 8,5kg CO<sub>2</sub>-eq/kg para indicador de impacto "Alterações Climáticas", valor este que concorda com os disponíveis na literatura para o mesmo âmbito.

Em relação ao modelo de sapatos objeto desta análise, os resultados obtidos mostram que, para os diferentes indicadores de impacto ambiental calculados, a maior contribuição diz respeito às matérias-primas utilizadas, em todos os cenários. Para o Cenário Base, o indicador Alterações Climáticas apresenta um valor de 8.0 kg CO<sub>2</sub>-eq/par, o que compara favoravelmente com os valores disponibilizados na literatura (entre 7 a 25 kg CO<sub>2</sub>-eq/par). O Cenário Alternativo A, no qual se substitui a biqueira original por uma biqueira de proteção em policarbonato e uma palmilha de montagem por uma palmilha de proteção em fibra de aramida é aquele que apresenta maior impacto ambiental associado ao processo de produção (11.2 kg CO<sub>2</sub>-eq/par). O menor impacto ambiental ocorre no Cenário Alternativo B, onde se substituiu a "gáspea" e a "pala", originalmente fabricadas em microfibra, por couro (7.8 kg CO<sub>2</sub>-eq/par). Contudo se fosse considerado o indicador Pegada Ecológica seria o Cenário Alternativo B o que apresentaria maior impacto (0.15 m<sup>2</sup>a/par), ligeiramente mais elevado que qualquer dos restantes cenários.



**keywords**

Life Cycle Assessment, environmental impacts, footwear, product process, leather, shoes

**abstract**

Environmental awareness has been driving the development of more sustainable and environmentally friendly materials to meet even more demanding consumers. The environmental assessment of products is a recommendation of the European Union and aims to produce these products with lower impacts throughout their life cycle, going from the extraction of resources from the nature, through processing, manufacturing, use and final destination (from cradle to grave).

The present study aims to the life cycle impact assessment (LCIA) of a product system in the footwear area, namely to a pair of shoes from AMF, Lda. The assessment was made from analysing all the processes involved until the distribution (from cradle to gate), being developed under three distinct scenarios (baseline scenario, alternative scenario A and alternative scenario B), involving components prepared from different raw materials and a total of four LCIA indicators (Climate Change, Ecological Footprint, Acidification Potential and Potential for Eutrophication).

In the scope of this study, we collected and analyzed the inventory of the materials and manufacturing processes during the visit and the follow-up of the productive process of the model under study. In addition, informations were obtained in the literature regarding the leather manufacturing process. The Ecoinvent v.3.3 database provided the data needed for the Life Cycle Impact Assessment, and the Open LCA was used as a LCA tool.

The AICV made to the production process of the chosen leather allowed to determine a value of 8.5 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg for the impact indicator "Climatic Changes", which meets the values available in the literature.

Regarding to the production process of the shoes model studied, the results shows that for the different calculated environmental impact indicators, the largest contribution relates to raw materials used in all scenarios. For the baseline scenario, the Climate Change indicator shows a value of 8.0 kg CO<sub>2</sub>-eq/pair, which compares favourably with the available data in the literature (between 7 and 25 kg CO<sub>2</sub>-eq / pair). The alternative scenario A, where the original toe cap is replaced by a protective polycarbonate toe cap and an insole by a aramid fiber insole is the one with the highest environmental impact linked with the production process (11.2 kg CO<sub>2</sub>-eq / pair). Relative to the alternative scenario B, it is the one that have the lowest environmental impact, where the upper and the tongue, originally made of microfiber, were replaced with leather (7.8 kg CO<sub>2</sub>-eq / pair). On another way, considering the Ecological Footprint indicator, it would be Alternative Scenario B showing the biggest impact (0.15 m<sup>2</sup>a / par), slightly higher than any other scenarios.



## Índice

Índice .....	i
Índice de Figuras .....	v
Índice de Tabelas .....	vii
Lista de abreviaturas .....	viii
1 Introdução .....	1
1.1 Enquadramento .....	1
1.2 Estado da arte .....	2
1.3 Objetivos do presente trabalho .....	3
2 Metodologia .....	5
2.1 Introdução .....	5
2.2 Operacionalização de uma ACV .....	7
2.2.1 Definição do objetivo e âmbito .....	7
2.2.1.1 Unidade funcional e fluxo de referência .....	8
2.2.1.2 Fronteira do sistema .....	8
2.2.1.3 Requisitos da qualidade dos dados .....	9
2.2.2 Análise de inventário de ciclo de vida .....	9
2.2.3 Avaliação de impactos de ciclo de vida .....	9
2.2.4 Interpretação .....	10
2.3 Aspetos operacionais do desenvolvimento de uma AICV .....	11
2.3.1 Representação do sistema de produto e inventário primário .....	11
2.3.2 Inventário secundário e a base dados Ecoinvent .....	12
2.3.3 Fatores de caracterização e o cálculo de impactos .....	13
2.3.4 Sistema de alocação .....	13
2.3.5 Aplicações computacionais de AICV .....	13
2.4 ACV no apoio ao desenvolvimento de sistemas de produtos .....	14
2.4.1 Ecodesign .....	15
2.4.2 Declarações Ambientais de Produtos (DAP) .....	16
3 A indústria do calçado .....	17
3.1 Introdução .....	17
3.2 Centro Tecnológico de Calçado Portugal (CTCP) .....	18
3.2.1 Laboratório de ensaios .....	19
3.2.2 Inovação e investigação .....	20
3.2.3 Formação de recursos humanos .....	20
3.2.4 Certificação de produtos .....	20
3.2.4.1 Marcação CE .....	21
3.2.4.2 Rótulo ecológico europeu .....	21
3.2.4.3 Rótulo Biocalce do CTCP .....	22

3.2.4.4	Rótulo Activecalce do CTCP .....	22
3.3	Processo produtivo de calçado .....	23
3.4	Matérias-primas usadas no fabrico de calçado .....	25
3.4.1	Couro .....	25
3.4.2	Borrachas.....	26
3.4.3	Termoplásticos.....	27
3.4.4	Termoendurecíveis .....	28
3.4.5	Têxteis .....	28
3.5	Aspetos ambientais relativos à produção de calçado.....	29
3.5.1	Resíduos da indústria do calçado .....	29
3.5.2	Águas residuais .....	30
3.5.3	Emissões gasosas.....	31
3.6	Indicadores de avaliação de impacte do ciclo de vida do calçado .....	31
3.6.1	Categorias de impacte.....	32
3.6.1.1	Alterações climáticas .....	33
3.6.1.2	Pegada ecológica.....	34
3.6.1.3	Acidificação .....	35
3.6.1.4	Eutrofização .....	36
4	Avaliação de Ciclo de Vida da produção de couro.....	37
4.1	Produção de couro.....	37
4.2	ACV da produção de couro.....	40
4.3	Análise de ciclo de vida.....	42
4.3.1	Objetivo e âmbito .....	42
4.3.2	Inventário de ciclo de vida .....	43
4.4	ACV do couro.....	45
4.4.1	Procedimento.....	45
4.4.2	Resultados .....	47
5	Caso de Estudo: Avaliação de Ciclo de Vida aplicada ao fabrico de calçado .....	49
5.1	Modelo de sistema de produto em estudo.....	49
5.2	Processo produtivo .....	50
5.2.1	Fases do processo produtivo.....	51
5.2.1.1	Corte.....	51
5.2.1.2	Costura.....	52
5.2.1.3	Montagem .....	52
5.2.1.4	Acabamento e Embalamento.....	53
5.2.2	Materiais e componentes do calçado .....	53
5.2.3	Utilidades do processo produtivo.....	54
5.3	Definição do sistema de produto .....	55
5.3.1	Objetivo e âmbito.....	55



5.3.2	Fronteiras.....	55
5.3.3	Cenários .....	56
5.3.4	Fontes de informação.....	57
5.4	Inventário de ciclo de vida .....	57
5.4.1	Materiais gerais e facilidades .....	58
5.4.1.1	Produtos químicos .....	58
5.4.1.2	Utilização de energia elétrica.....	58
5.4.1.3	Transporte.....	59
5.4.1.4	Emissões.....	59
5.4.1.5	Gestão de resíduos.....	59
5.4.1.6	Utilização de água e drenagem de águas residuais.....	61
5.5	Cenário Base .....	61
5.6	Cenários alternativos .....	65
5.6.1	Cenário Alternativo A.....	65
5.6.2	Cenário Alternativo B.....	67
5.7	Implementação de AICV a produtos de calçado .....	68
6	Resultados.....	72
6.1	Cenário Base .....	72
6.2	Cenário Alternativo A .....	73
6.3	Cenário Alternativo B .....	75
6.4	Análise comparativa.....	76
6.4.1	Alterações climáticas.....	76
6.4.2	Pegada ecológica .....	78
6.4.3	Potencial de eutrofização .....	79
6.4.4	Potencial de acidificação .....	81
6.5	Análise de resultados.....	83
7	Conclusões e sugestões .....	85
7.1	Conclusões .....	85
7.2	Sugestões para trabalhos futuros .....	87
	Referências bibliográficas .....	89
	Anexo A – Fluxo de materiais no fabrico de um par de sapatos para o modelo em estudo .....	93



## Índice de Figuras

Figura 2.1 - Fases de uma Avaliação de Ciclo de Vida (ISO 2006) .....	7
Figura 2.2 - Elementos da fase de avaliação de impactes do ciclo de vida (AICV) (ISO 2006).....	10
Figura 3.1 - Logótipo do CTCP (CTCP 2019) .....	18
Figura 3.2 - Logótipo referente ao rótulo ecológico europeu (CTCP 2019).....	21
Figura 3.3 - Logótipo rótulo BIOCALCE (CTCP 2019) .....	22
Figura 3.4 - Logótipo do rótulo ACTIVECALCE (CTCP 2019).....	22
Figura 3.5 - Principais etapas do processo de produção de calçado .....	24
Figura 4.1 - Fluxograma do processo produtivo do couro (Avenida 2019) .....	40
Figura 4.2 - Fronteira do processo produtivo do couro .....	42
Figura 4.3 - Base dados em OpenLCA .....	46
Figura 4.4 - Modelo gráfico do sistema de produto relativo ao couro .....	46
Figura 5.1 - Caracterização dos vários componentes do modelo de sapatos em estudo .....	50
Figura 5.2 – Fases do processo produtivo do modelo de sapatos em estudo .....	51
Figura 5.3 – Processo produtivo e fronteira do Cenário Base .....	62
Figura 5.4 - Modelo gráfico do sistema de produto relativo ao Cenário Base .....	69
Figura 5.5 – Excerto da base dados em OpenLCA relativo ao Cenário Base.....	70
Figura 6.1 - Contribuição relativa, de cada grupo de processos do Cenário Base para cada uma das quatro categorias de impacto consideradas no presente estudo. ....	73
Figura 6.2 - Contribuição relativa, de cada grupo de processos do Cenário Alternativo A, para cada uma das quatro categorias de impacto consideradas no presente estudo. ....	74
Figura 6.3 - Contribuição relativa, de cada grupo de processos do Cenário Alternativo B, para cada uma das quatro categorias de impacto consideradas no presente estudo. ....	75
Figura 6.4 - Impacte ambiental cumulativo IPPC2013-GWP <sub>100</sub> [kgCO <sub>2</sub> -eq] de cada um dos cenários .....	77
Figura 6.5 - Impacte ambiental cumulativo IPPC2013-GWP <sub>100</sub> [kg CO <sub>2</sub> -eq] relativa à utilização de matérias-primas nos diferentes cenários .....	77
Figura 6.6 - Impacte ambiental cumulativo EF [m <sup>2</sup> a] de cada um dos cenários.....	78
Figura 6.7 - Impacte ambiental cumulativo EF [m <sup>2</sup> a] relativa à utilização de matérias-primas nos diferentes cenários .....	79
Figura 6.8 - Impacte ambiental cumulativo CML2001-EP [kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq] de cada um dos cenários	80
Figura 6.9 - Impacte ambiental cumulativo CML2001-EP [kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq] relativa à utilização de matérias-primas nos diferentes cenários .....	81
Figura 6.10 - Impacte ambiental cumulativo CML2001-AP [kg SO <sub>2</sub> -eq] de cada um dos cenários	82
Figura 6.11 - Impacte ambiental cumulativo CML2001-AP [kg SO <sub>2</sub> -eq] relativa à utilização de matérias-primas nos diferentes cenários .....	83
Figura A.7.1 – Análise de fluxos de materiais em STAN .....	93



## Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Categorias de impacte e respetivos parâmetros, indicadores das categorias e fatores de caracterização AICV.....	33
Tabela 3.2 – Fatores de caracterização de alguns poluentes responsáveis pela categoria de impacto Alterações Climática (IPCC 2013).....	34
Tabela 3.3 - Potencial de Acidificação (CML2001- AP) de alguns poluentes (Wenzel, Hauschild, and Alting 1997) .....	35
Tabela 3.4 - Potenciais de eutrofização (CML2001-EP) (Heijungs et al. 1992). .....	36
Tabela 4.1 - Componentes utilizados no processo produtivo do couro para a produção de 200kg de couro curtido ao crómio (Notarnicola et al. 2011) .....	43
Tabela 4.2 - Principais entradas e saídas do sistema produtivo do curtume para a produção de 200kg de couro curtido ao crómio.....	44
Tabela 4.3 - Resultados da AICV referentes ao processo produtivo do couro curtido ao crómio ...	47
Tabela 5.1 – Componentes usados no fabrico do modelo em estudo.....	53
Tabela 5.2 - Diferentes cenários em estudo .....	56
Tabela 5.3 - Consumo de produtos químicos .....	58
Tabela 5.4 - Energia elétrica usada para a produção de um par de sapatos .....	59
Tabela 5.5 - Resíduos resultantes da produção do modelo em estudo .....	60
Tabela 5.6 - Transporte dos resíduos .....	61
Tabela 5.7 - Consumo de água.....	61
Tabela 5.8 - Produção de águas residuais .....	61
Tabela 5.9 – Componentes, composição e quantidades necessários à produção do modelo selecionado, tamanho 42 .....	63
Tabela 5.10 - Transporte dos componentes para calçado do modelo em estudo.....	64
Tabela 5.11 – Esforço de distribuição referente a um par de sapatos no Cenário Base .....	65
Tabela 5.12 - Componentes de substituição Cenário Alternativo A .....	66
Tabela 5.13 - Transporte dos componentes de substituição do Cenário Alternativo A.....	66
Tabela 5.14 - Expedição referente a cada par de sapatos do Cenário Alternativo A.....	67
Tabela 5.15 - Componentes de substituição Cenário Alternativo B .....	67
Tabela 5.16 - Transporte dos componentes de substituição do Cenário Alternativo B.....	68
Tabela 5.17 – Esforço de distribuição referente a cada par de sapatos no Cenário Alternativo B .	68
Tabela 6.1 – Grupos de processos considerados para a análise de AICV deste estudo.....	72
Tabela 6.2 – Resultados da AICV dos diferentes cenários relativo ao sistema de produto .....	76

## Lista de abreviaturas

AC	- Acidificação
AP	- Potencial de Acidificação
APA	- Agência Portuguesa do Ambiente
ACV	- Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	- Avaliação de Impactes do Ciclo de Vida
APICCAPS	- Associação Portuguesa dos Industriais de Calçado, Componentes, Artigos de Pele e seus Sucedâneos
BR	- Elastómero de Polibutadieno
CH	- Suíça
CTCP	- Centro Tecnológico do Calçado Português
COV	- Compostos Orgânicos Voláteis
DGAE	- Direção Geral das Atividades Económicas
EF	- Pegada Ecológica
ETAR	- Estação de Tratamentos de Águas Residuais
EP	- Potencial de Eutrofização
EPI	- Equipamento de Proteção Individual
EVA	- Etil-Vinil-Acetato
EU	- Eutrofização
GEE	- Gases de Efeito de Estufa
GLO	- Global
ICV	- Inventário do Ciclo de Vida
INE	- Instituto Nacional de Estatísticas
IPAC	- Instituto Português da Acreditação
IPCC	- Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	- International Standard Organization
LCA	- Life Cycle Assessment
LCI	- Life Cycle Inventory
LCIA	- Life Cycle Impact Assessment)
NBR	- Borracha Nitrílica
PAG	- Potencial Aquecimento Global
PFOF	- Potencial de Formação de Oxidantes Fotoquímicos
PT	- Portugal
PTS	- Partículas
PVC	- Policloreto de Vinilo
RER	- Europa
SBR	- Elastómeros de Estireno-Butadieno
TPU	- Poliuretano Termoplástico

UE - União Europeia  
UF - Unidade Funcional





# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 ENQUADRAMENTO

Devido ao aumento da consciencialização ambiental que se tem verificado ao longo do tempo, temas como a sustentabilidade estão, cada vez mais, a tornar-se parte do quotidiano das empresas, sendo as questões ambientais encaradas como uma fonte de vantagens competitivas a longo prazo, mais comumente nas grandes empresas e multinacionais, mas também a adquirir relevância nas pequenas e médias empresas (PMEs). Na União Europeia, estima-se que aproximadamente 99% das empresas são PMEs), empregando 70% da força de trabalho europeia e contribuindo com 60% do volume de negócios global (Daddi et al. 2015).

Em Portugal, constituída por PMEs, a indústria do calçado tem sido considerada, por diversas vezes consecutivas, como um exemplo e uma referência na economia nacional, sendo uma das principais exportadoras e que mais contribui positivamente para a balança comercial portuguesa, segundo o relatório da “Direção-Geral de Atividades Económicas” (DGEA 2017).

Para este dinamismo económico da indústria do calçado, muito contribui a existência de centros de competências como o Centro Tecnológico do Calçado de Portugal (CTCP) que oferece aos seus associados, nomeadamente: formação, ensaio laboratorial e certificação.

É neste contexto que o CTCP vem integrando as questões ambientais, de segurança e de saúde no trabalho na sua estratégia de desenvolvimento, nomeadamente ao nível do processo produtivo, da gestão de resíduos de produção e, de forma mais assertiva, ao nível dos materiais utilizados no processo de fabrico (CTCP 2019).

De facto, na indústria do calçado, é na opção pelos diferentes materiais que é possível um maior controlo dos impactes ambientais do chamado ciclo de vida dos produtos. A avaliação ambiental do ciclo de vida de produtos de calçado, inclui os impactos ambientais resultantes da produção dos materiais usados no calçado, do fabrico dos produtos de calçado, da sua manutenção/reparação durante o uso, e de, após descarte, a possibilidade de reutilização, ou recuperação de materiais para outras funcionalidades, incluindo a valorização energética ou descarte final em aterro ou incineração.

Por outro lado, a laboração industrial está sujeita ao cumprimento de regras, nomeadamente no âmbito da segurança e da saúde no trabalho, mas também regras

ambientais, relativas às emissões de efluentes gasosos para a atmosfera, de águas residuais para o meio hídrico e de resíduos para o solo. Visando uma perspetiva holística, as questões ambientais podem ser atendidas em contexto das atividades de gestão ambiental nas organizações. Pela pressão colocada pela opinião pública e pelos próprios intervenientes na cadeia de produção, a busca pela redução dos impactos ambientais tornou-se uma estratégia de sobrevivência (Gatelli, Zeve, and Sikilero 2010).

Nos últimos anos têm-se vindo a desenvolver diversas formas alternativas de produção de energia e de utilização de recursos tendo em vista reduzir a utilização de recursos naturais essenciais em contexto de desenvolvimento sustentável. Neste sentido, tem-se observado um esforço considerável de forma a auxiliar as PME na redução dos seus impactos ambientais e na exploração de potenciais para a criação de mão-de-obra. Para promover esse desenvolvimento, a Comissão Europeia recomendou e vem incentivando a avaliação do ciclo de vida dos produtos (Daddi et al. 2015).

“Life Cycle Assessment” (LCA) ou Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta utilizada para avaliar e comparar os impactos ambientais que um produto provoca no ambiente tendo em consideração todas as fases do seu ciclo de vida, desde a extração das matéria-prima/recursos naturais, produção, transporte, utilização e eliminação no fim de vida do produto. Esta metodologia encontra-se nas normas ISO 14040:2008 (ISO 2008) e a ISO 14044:2006 (ISO 2006).

## **1.2 ESTADO DA ARTE**

Em 2007 (Staikos and Rahimifard 2007) desenvolveu uma ferramenta de suporte à tomada de decisão para determinar a maneira mais adequada (em termos ambientais, económicos e técnico-sociais) para tratar resíduos de calçados pós-consumo.

Em 2011, (Herva, Álvarez, and Roca 2011) desenvolveu um projeto sustentável de calçado integrando a pegada ecológica onde concluíram que um par de sapatos sintéticos tinha menos impacto na pegada ecológica comparando com um par de sapatos em couro.

Em 2013 (Cheah et al. 2013) com o estudo da redução de emissões ligadas à produção de calçado, conseguiu concluir que um típico par de tênis de corrida em material sintético tem um impacto de 14 kg CO<sub>2</sub>-eq. Este estudo concluiu também que a maioria destes impactos ocorre durante as etapas de processamento e fabricação de materiais que representam cerca de 29% a 68% do impacto total, respetivamente.

Em 2015 um estudo sobre o “Desempenho ambiental na avaliação do ciclo de vida - desenvolvimento de um procedimento para calçados sem couro no contexto da Pegada Ambiental do Produto” de (Gül et al. 2015) mostrou que o indicador IPCC-2013 foi de 9,86 kgCO<sub>2</sub>-eq/ par de sapatos (Albers, Canepa, and Miller 2008).

Em 2016, no âmbito do projeto - “LIFE CO2SHOE” Pegada de Carbono do Calçado, foi desenvolvida uma ação piloto realizada em 16 empresas de 4 países da Europa, para 36 modelos diferentes de calçado. Os resultados obtidos relativos ao impacte ambiental da fabricação dos respetivos modelos estão entre 1,3 e 25,3 kg CO<sub>2</sub>-eq, com uma média de 10 kg CO<sub>2</sub>-eq por par de sapatos (devidamente embalado). Quanto ao valor da pegada de carbono, sabe-se somente que varia com o estilo de sapato (INESCOP 2016).

### **1.3 OBJETIVOS DO PRESENTE TRABALHO**

O presente trabalho tem como principal objetivo a avaliação dos impactes ambientais de um sistema de produto na área do calçado através da metodologia da análise do ciclo de vida (ACV). Este estudo foi realizado no âmbito de um estágio curricular realizado no Centro Tecnológico de Calçado Portugal, em São João da Madeira. Os objetivos específicos definidos para este estudo são:

1. Definição do sistema de produto em concreto e do âmbito do estudo;
2. Análise de inventário dos procedimentos de fabrico e dos componentes materiais e energéticos intervenientes, incluindo os resíduos resultantes;
3. Modelação do fluxo de materiais no processo produtivo;
4. Aplicação de um modelo de Avaliação de Ciclo de Vida ao sistema de produto definido como objetivo de estudo.



## **2 METODOLOGIA**

Fazendo parte do historial do CTCP a preocupação pela utilização de materiais e processos de fabrico de calçado e afins, no âmbito da minimização dos riscos para os trabalhadores e utilizadores, o novo paradigma da UE para a economia circular coloca desafios acrescidos ao CTCP, fabricantes e utilizadores de produtos de calçado. A resposta a estes desafios exige uma abordagem holística marcada pela redução dos impactes ambientais, mas também de redução de custos económicos e aceitação social dos produtos de calçado. Neste enquadramento, uma métrica que se encontra bem desenvolvida é a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV).

A ACV de um sistema, processo ou produto consiste em analisar, de forma sistemática os impactes ambientais de todas as fases do seu ciclo de vida, desde a extração das matérias-primas, produção, transporte, utilização até ao final de vida dos produtos. Esta ferramenta permite às empresas uma melhor compreensão de todo o ciclo de vida de um produto/processo, possibilitando que os impactes ambientais sejam abordados de uma forma integrada durante o seu ciclo de vida e não sejam apenas deslocados de uma parte do seu ciclo para outra (ISO 2008).

### **2.1 INTRODUÇÃO**

No âmbito das atividades humanas ocorrem impactes ambientais em resultado da utilização dos recursos naturais, mas também da geração e lançamento de resíduos e efluentes líquidos para o solo e corpos de água e emissões gasosas para a atmosfera. Na procura de minimizar estes impactos sobre a Natureza, observa-se um crescente interesse pelo desenvolvimento de metodologias de avaliação, constituindo assim instrumentos de apoio à tomada de decisão em áreas como a inovação, avaliação estratégica e em políticas para o ambiente.

Uma das metodologias que apresenta maior maturidade trata-se da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), tratando-se de um instrumento de avaliação essencialmente voltado para os aspetos relativos às incidências ambientais em resultado da promoção de um determinado sistema de produto ou serviço. Neste sentido, encontram-se disponíveis ferramentas e bases de dados que permitem potenciar uma avaliação cada vez mais abrangente e precisa (Vicente et al. 2004).

ACV define-se como sendo um instrumento de gestão da qualidade, que através da determinação dos fluxos mássicos e energéticos de entrada e saída, permite avaliar potenciais impactes ambientais de um produto/serviço ao longo do seu ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas, a produção e fabrico de matérias e energia, o uso até ao descarte final no ambiente.

A aplicação de ACV, encontra-se enquadrada pelas normas EN ISO 14040:2008- *Environmental management – life cycle assessment – Principles and framework* (ISO 2008) e EN ISO 14044:2006 - *Environmental management – life cycle assessment – Requirements and guidelines* (ISO 2006), criadas pelo Comité Técnico ISO/TC 207, que providencia uma base estrutural metodológica para a aplicação da ACV, mas não constituem em si mesmas, um manual de aplicação concreta desta técnica (ISO 2006).

Assim, o principal objetivo da ACV é determinar as cargas ambientais associadas a um produto ou serviço, identificando e quantificando o uso de matérias-primas, consumos energéticos e emissões para o ambiente, para determinar o seu impacte ambiental, avaliar e implementar medidas de melhoria ambiental (Vicente et al. 2004).

A metodologia ACV é realizada em quatro fases distintas. A primeira fase consiste na definição do objetivo e do âmbito e deve ser feita de forma clara e consistente com a aplicação do estudo, sendo o âmbito estabelecido de modo a assegurar que a amplitude, a profundidade e o detalhe são compatíveis com o objetivo estabelecido. A fase seguinte compreende a análise de inventário, onde são recolhidos dados as entradas e saídas do sistema em estudo, incluindo a verificação de consistência dessa informação através de balanços mássicos e energéticos. A terceira fase, que consiste na avaliação de impactes ambientais, apresenta seis etapas, onde três das quais são de carácter facultativo. As primeiras três etapas da metodologia ACV são de carácter obrigatório e consistem na seleção das categorias de impacte, respetivos indicadores e modelos de caracterização, onde são atribuídos os resultados da análise de inventário às categorias de impacte e na caracterização, onde são calculados os valores dos indicadores ambientais para cada uma das categorias de impacte. Os elementos considerados como opcionais são: a normalização, a agregação e a ponderação. Por fim, na última fase da ACV, é feita a interpretação dos resultados obtidos (ISO 2008).

Para o efeito de modelização, uma forma útil de descrever um sistema complexo é através de um diagrama de blocos que inclua os diferentes processos unitários que integram esse sistema, devidamente articulados entre si através dos fluxos internos, bem como com fluxos de entrada e saída através da fronteira (*flows*).

## 2.2 OPERACIONALIZAÇÃO DE UMA ACV

A figura seguinte ilustra as quatro fases de operacionalização da metodologia de implementação de ACV definidas de acordo com as normas ISO 14040:2008 (ISO 2008) e ISO 14044:2006 (ISO 2006).

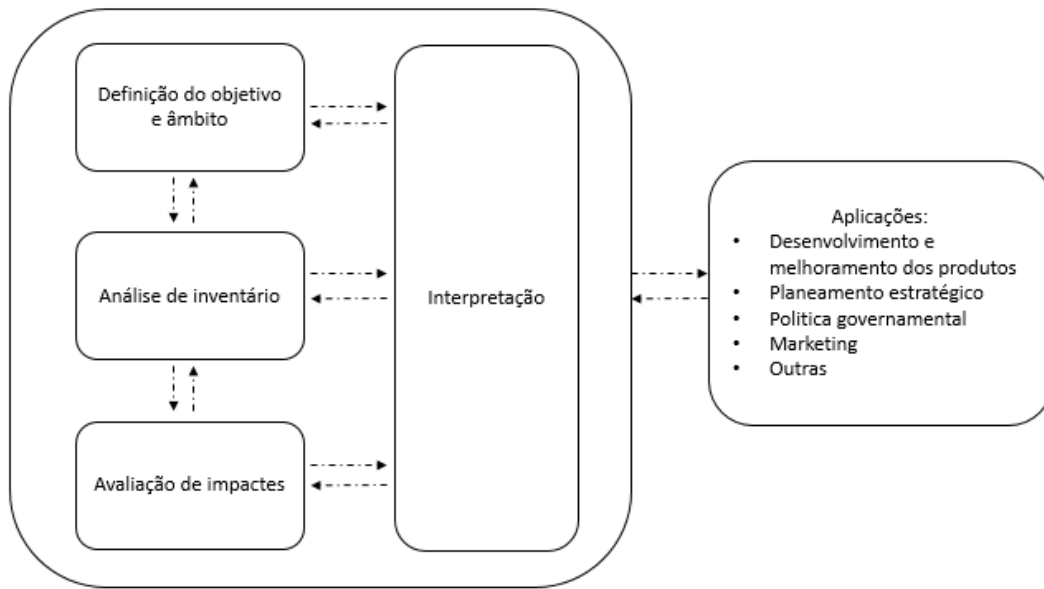


Figura 2.1 - Fases de uma Avaliação de Ciclo de Vida (ISO 2006)

As diferentes fases estão interligadas, pois o processo de realização de um inventário é iterativo, o que significa que algumas limitações podem comprometer os objetivos estabelecidos previamente. Assim, ao longo do estudo, as várias fases podem ser alvo de alterações (ISO 2006).

### 2.2.1 DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ÂMBITO

Num estudo ACV, a definição do objetivo e do seu âmbito define a finalidade do estudo e é descrito o contexto no qual a avaliação é feita.

A definição do objetivo de um estudo ACV deve ser consistente e clara com a sua aplicação, incluindo quais as razões que o motivaram assim como a quem se destina. Nesta fase, a finalidade do estudo deve ser descrita e os resultados obtidos têm de estar fortemente relacionados com essa finalidade.

No âmbito de um estudo ACV a ISO 14044:2006 considera que deve incluir:

- ✓ Sistema de produto a estudar,
- ✓ Funções do sistema de produto,
- ✓ Unidade funcional,
- ✓ Fronteira do sistema,
- ✓ Procedimento de alocação,
- ✓ Categorias de impacte seleccionadas e metodologia da avaliação de impacte e interpretação,
- ✓ Requisitos de dados,
- ✓ Pressupostos,
- ✓ Limitações,
- ✓ Requisitos da qualidade dos dados iniciais,
- ✓ Tipo de revisão crítica,
- ✓ Tipo e formato de relatório requerido para o estudo (ISO 2006).

#### 2.2.1.1 UNIDADE FUNCIONAL E FLUXO DE REFERÊNCIA

A unidade funcional deve ser consistente com o objetivo e âmbito do estudo. Os principais objetivos de uma unidade funcional é fornecer uma referência pela qual se calculam os fluxos de entrada e saída do sistema e ainda para assegurarem a comparabilidade de resultados ACV, sendo fundamental quando diferentes sistemas estão a ser avaliados (ISO 2006).

#### 2.2.1.2 FRONTEIRA DO SISTEMA

O âmbito do estudo (ou escopo) refere-se ao conjunto de processos unitários que são incluídos no sistema e os que são excluídos, correspondendo assim à definição da fronteira do estudo. A inclusão destes processos depende da definição do objetivo e âmbito do estudo, aplicação pretendida, pressupostos elaborados, restrições de dados, audiência pretendida e ainda critérios *cut-off* (critérios de exclusão). Estes últimos devem ser identificados e justificados no âmbito do estudo (ISO 2006).



### 2.2.1.3 REQUISITOS DA QUALIDADE DOS DADOS

Os requisitos de qualidade dos dados especificam, no geral, as características dos dados necessários para o estudo, em termos de representatividade ou precisão. Assim, as fontes de informação devem ser documentadas e todos os pressupostos feitos devem ser mencionados para perceber a fiabilidade e interpretação dos resultados obtidos do estudo (ISO 2006).

Além disso, a existência, ou não, de alocação de fluxos também deve ser estipulada nesta fase, uma vez que a qualidade dos dados pode ser influenciada por este tipo de procedimento (ISO 2006).

### 2.2.2 ANÁLISE DE INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA

Análise de inventário do ciclo de vida (ICV) trata da compilação dos dados mensuráveis relativos aos processos (rede de fluxos materiais e de energia, processos e tecnologias, etc.) e intervenções ambientais (emissões poluentes, etc.) que servem de base ao estabelecimento de uma análise de inventário (Matos 2009).

O processo de realização de um estudo de análise ciclo de vida é iterativo, ou seja, à medida que vão sendo reunidas informações acerca do sistema, são adquiridos novos requisitos de dados ou limitações que necessitam de alterações nos procedimentos de recolha de dados para que o objetivo do estudo seja satisfeito. Durante o inventário, podem ser identificados alguns obstáculos que implicam uma revisão do objetivo ou do âmbito do estudo (ISO 2006).

Na análise de inventário, a árvore do processo é o esquema mais utilizado na análise de inventário para sumariar todos os processos unitários envolvidos no ciclo de vida do produto em estudo. Esta deverá conter todas as ligações existentes entre as entradas e saídas a nível económico e ambiental, não esquecendo também de referir os processos que não estão dentro da fronteira de estudo (Guinée et al. 2002).

### 2.2.3 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DE CICLO DE VIDA

A avaliação de impactes do ciclo de vida (AICV) é a fase de ACV que determina a magnitude das diferentes intervenções ambientais sob a forma de potenciais impactes ambientais, envolvendo os dados do inventário e o uso de fatores de caracterização, ponderação e agregação.

A fase de AICV inclui o cálculo do valor dos indicadores para as diferentes categorias de impacte, que em conjunto apresentam o perfil de AICV do sistema de produto (ISO 2006). A AICV é constituída por elementos obrigatórios e por elementos opcionais, conforme a Figura 2.2.

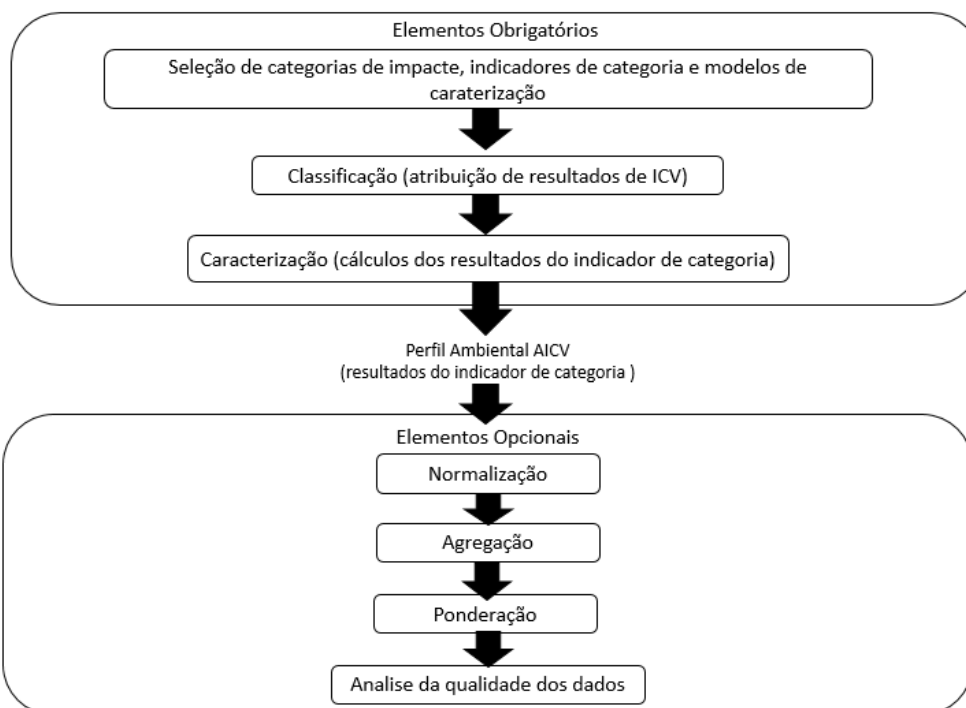


Figura 2.2 - Elementos da fase de avaliação de impactes do ciclo de vida (AICV) (ISO 2006)

Os elementos obrigatórios convertem os resultados do ICV em resultados de indicador de categoria para as diferentes categorias de impacte (*mid-point indicators*). Já os elementos opcionais servem para normalizar, e agregar os resultados de cada indicador sob a forma de indicadores finais (*endpoint indicators*).

#### 2.2.4 INTERPRETAÇÃO

A fase de interpretação do ciclo de vida constitui a última fase do estudo da ACV e pretende fornecer resultados que sejam consistentes com o objetivo e âmbito, apresentando-os, para que seja de fácil compreensão, completa e coerente considerando todo o ciclo de vida. Tem o intuito também de poder tirar conclusões e fazer recomendações de suporte à tomada de decisão, de acordo com o estabelecido no estudo (ISO 2006).

## 2.3 ASPETOS OPERACIONAIS DO DESENVOLVIMENTO DE UMA AICV

As características formais de uma ACV atrás descritas permitem uma descrição genérica, mas de uma forma superficial. Sob o aspeto metodológico, a concretização que um estudo AICV exige, por um lado, que sejam clarificados os objetivos específicos que definam os indicadores ambientais adequados à finalidade do estudo, e por outro lado, que, no âmbito do estudo, seja selecionado o modelo de sistema AICV mais adequado ao sistema de produto em análise.

A realização de um trabalho de AICV exige ainda o acesso a uma ou mais base de dados e uma aplicação de suporte para o processamento da informação de inventário e cálculo dos indicadores de impacto.

A recolha de dados necessários para uma Avaliação de Ciclo de Vida é uma tarefa com alguma complexidade, pois pode ser necessário recorrer a várias bases de dados e aplicações de *software* que incluam dados baseados em observações, bem como a pesquisas de quantidades, assim como informações do produtor (ISO 2006).

### 2.3.1 REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA DE PRODUTO E INVENTÁRIO PRIMÁRIO

No âmbito do inventário, a análise de fluxo de materiais é um procedimento adequado para o estabelecimento dos fluxos materiais que envolvem os diferentes processos relativos ao sistema de produto. Estes fluxos materiais respeitam ao inventário primário de recursos tecnológicos utilizados pelo sistema de produto (materiais técnicos, combustíveis, eletricidade no produtor ou no consumidor, transporte, infraestruturas, etc.)

A aplicação Stan2web é um *freeware* que ajuda a realizar a análise de fluxo de material de acordo com a norma austríaca ÖNorm S 2096 (STAN 2019).

Depois de construir um modelo gráfico com componentes predefinidos (processos, fluxos, limite do sistema, campos de texto), pode-se inserir os dados conhecidos (fluxos de massa, o *stock*, concentrações, coeficientes de transferência) para diferentes camadas e períodos, bem como calcular quantidades desconhecidas. Todos os fluxos podem ser observados a uma largura de um fluxo que é proporcional ao seu valor. A imagem gráfica do modelo pode ser impressa ou exportada, para Microsoft Excel usado como uma interface. A aplicação tem condições para modelizar incertezas de dados, pois o algoritmo de cálculo utiliza ferramentas estatísticas matemáticas, como reconciliação de dados e propagação de erros. No Anexo A é apresentado o resultado de um modelo gráfico STAN aplicado ao caso de estudo

### 2.3.2 INVENTÁRIO SECUNDÁRIO E A BASE DADOS ECOINVENT

A realização do inventário de intervenções ambientais, embora necessite do inventário primário, só se torna exequível em termos práticos desde que esteja disponível uma base de dados que determine essas intervenções ambientais, reconhecidas como inventário de ciclo de vida (ICV), precisamente a partir do inventário primário.

O inventário de ciclo de vida está disponível sob a forma de *data sets* alocados a sistemas de produtos, nomeadamente os que foram contabilizados no âmbito do inventário primário. Os referidos *data sets* foram determinados a partir de resultados da observação e análise usando a metodologia de ICV. Por várias razões, esta informação encontra-se mais disponível em países da Europa Ocidental, Estados Unidos, Canada e Japão.

A criação da base de dados para a realização da AICV deste trabalho teve em consideração não apenas dados relativos a Portugal.

Estas informações estatísticas revelaram-se importantes, pois permitem que em zonas onde não exista essa informação disponível, se façam comparações aceitáveis em países semelhantes. No estabelecimento destas comparações foi realizada uma rigorosa análise, tendo em consideração alguns fatores, como por exemplo, leis governamentais e descarga de resíduos.

A base de dados Ecoinvent foi originalmente conhecida como organização *Swiss Centre for Life Cycle Inventories*, sendo que a primeira versão foi lançada em 2003. Com mais de 20 anos de experiência no desenvolvimento da metodologia de ACV e compilação de dados de inventário do ciclo de vida, para vários setores industriais, esta entidade contempla atualmente com mais de 12.800 *data-sets* nas mais variadas áreas, desde fornecimento de energia, agricultura, até tratamento de resíduos. Para além do uso em estudos ambientais que incluem ACV, as informações desta base de dados podem ser usadas em outras metodologias como Declaração Ambiental de Produto (Ecoinvent 2019).

Na base de dados Ecoinvent, v3.3, cada *data-sets* corresponde a um processo, podendo ser descrito sob a forma de quatro conjuntos de dados (um ficheiro PDF com o descritivo em texto, um ficheiro UPR (*unit process raw data*) com referência aos dados primários, um ficheiro LCI (*life cycle inventory*) e um ficheiro LCIA (*life cycle impact assessment*) sendo que os três últimos obedecem a um modelo apropriado de especificações relativamente ao conteúdo e à forma (em formato *xml*, *spold*). Estes ficheiros estão acessíveis e podem ser descarregados a partir do *website* do Ecoinvent, acessível aos utilizadores registados (Ecoinvent 2019).

### 2.3.3 FATORES DE CARACTERIZAÇÃO E O CÁLCULO DE IMPACTOS

Sendo que os dados LCI essenciais, de facto a quantidade de informação por data set é suficientemente elevado para desaconselhar o seu uso direto. De facto, é possível restringir a quantidade de informação presente nos dados LCI, a um conjunto restrito de indicadores de impacto, catalogados sob dois grupos: indicadores de impacte ambiental (ou “mid-point” indicators, conforme já apresentado) e indicadores de dano (ou “end-point” indicators, tais como Ecoindicator99, ReciPe).

Os indicadores de impacte ambiental são os mais comuns de ser utilizados e são obtidos por cálculo tendo em conta os fatores de caracterização; os indicadores de dano exigem procedimentos adicionais de ponderação e agregação, considerados arbitrários, e por isso menos utilizados.

Em geral, e dado ser necessário processar um grande volume de informações, pelo que é útil a ajuda de uma aplicação computacional dedicada.

### 2.3.4 SISTEMA DE ALOCAÇÃO

O modelo de sistema de alocação escolhido para a exportação dos dados Ecoinvent foi o “*Allocation, cut-off by classification*”. Nesta abordagem, o princípio baseia-se na responsabilidade do produtor pela gestão dos resíduos e não recebe qualquer crédito para a aquisição de materiais recicláveis. Trata-se do sistema mais simples, aplicável a sistemas de produtos lineares, recomendável para os utilizadores menos experientes.

Contudo existem sistemas de produto que são acompanhados no seu ciclo de vida por subprodutos, e que dado o seu interesse, devem repartir responsabilidades ambientais com o sistema de produto principal, dando origem ao chamado problema de alocação. Existem dois tipos de sistema de alocação o “*Allocation at the point of substitution*” e o “*Substitution, consequential, long-term*”. O problema de alocação é ainda um dos aspectos metodológicos mais discutidos e eventualmente por resolver na análise de inventário de ciclo de vida (Consequential-LCA 2015).

### 2.3.5 APLICAÇÕES COMPUTACIONAIS DE AICV

A gestão de informação em AICV de um tão grande número de dados, envolvendo o cálculo e a apresentação de resultados, requer modelos de formatação e organização da informação apropriada. Embora seja possível tratar esta informação com base em

aplicações desenvolvidas em MS-Excel que operam sobre dados primários e dados secundários AICV acedidos a partir de bases de dados (ex: Ecoinvent), de facto atualmente existem aplicações computacionais dedicadas, que oferecem ambientes de trabalho cómodo, com níveis de integração com as bases de dados dependentes da licença de utilização (ILC, e outras de acesso livre ou restrito sob licença, tais como Ecoinvent, e outras como GaBi, IMPACT World+, etc.). As aplicações AICV mais referidas na análise de sistemas de produto são: OpenLCA, de acesso livre, e as aplicações como Gabi-software e SimaPro, sob licença de utilização.

A aplicação OpenLCA 1.7.4 (Greendelta 2018), é uma ferramenta “freeware” usada para a gestão de dados de ICV, ou seja para integrar os dados primários de inventário e os *data-sets* correspondentes aos dados secundários, da base de dados anteriormente referida, que permite calcular, rapidamente e de forma fidedigna, a ACV para um produto ou serviço. Permite ainda análises detalhadas de parâmetros como principais fatores contributivos (por processo, fluxo ou categoria de impacte) (Greendelta 2018).

O SimaPro é uma ferramenta que necessita de uma licença de utilização, muito usada na indústria e na academia em mais de 80 países. O SimaPro é uma ferramenta profissional desenhada para recolher, analisar e monitorizar os dados de desempenho de sustentabilidade de produtos e serviços (SimaPro 2019).

## **2.4 ACV NO APOIO AO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE PRODUTOS**

A fim de introduzir princípios sustentáveis, a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma das formas mais que descreve as fases do produto. A utilização da ACV fez com que cada vez mais esforços se tenham dedicado a ajudar processos de desenvolvimento de produto a atingir metas do desenvolvimento do produto sustentável (Mendes 2019).

ACV pode ser integrada com o objetivo de comparar perfis ambientais de um produto em relação a outro já existente, para avaliar as melhorias relacionadas com o impacte ambiental do novo produto.

A ACV tem um forte potencial na criação de oportunidades para a venda de produtos ecologicamente mais atrativos. Neste sentido, a ACV assume-se como uma ferramenta importante para uma pessoa ou grupos com interesse relacionado ao desenvolvimento de produtos, neste caso em específico, ao calçado, constituindo ainda uma ferramenta de gestão para a tomada de decisões no desenvolvimento de novos produtos (Mendes 2019).

Aprofundado um pouco mais a ideia da pesquisa e desenvolvimento de novos produtos, rapidamente se chega à conclusão de que a ACV poderá ter um papel preponderante na investigação e desenvolvimento de novos processos, técnicas e projetos preliminares de produtos/amostras.

Apesar de a AICV não ser, ainda, amplamente aplicada, facilmente se compreende que esta condicionará o desenvolvimento estratégico das empresas, tendo em conta aumento das exigências ambientais do consumidor, a escassez dos recursos naturais e a procura constante de produtos ambientalmente apelativos. Neste âmbito, a AICV surge como uma nova forma de pensar a estratégia de desenvolvimento das empresas, apresentando-se como uma ferramenta que permite auxiliar a tomada de decisão de forma mais consciente sob o ponto de vista ambiental.

Neste âmbito, são uma prática de desenvolvimento de produto que vem crescendo, sob a forma de *ecodesign* e da Declaração Ambiental de Produto.

#### 2.4.1 ECODESIGN

Diretamente associada à ferramenta ciclo de vida de um produto, vem o conceito de *ecodesign*. O *ecodesign* não é mais do que uma forma de integrar de forma sistemática ponderações ambientais no processo de *design* de determinado produto, para que assim seja possível desenvolver produtos mais sustentáveis e que consigam ter um impacto ambiental reduzido ao longo do seu ciclo de vida.

Para além do benefício direto a que o *ecodesign* pode conduzir, ou seja, redução dos impactos ambientais relacionados com o consumo de materiais, energia e água, esta estratégia pode abranger outros benefícios. Neste âmbito, as empresas podem reduzir os seus custos, aumentar a qualidade do produto e, ao mesmo tempo, assegurar a conformidade com os requisitos da legislação ambiental, e uma melhoria da imagem da empresa.

A Avaliação de Ciclo de Vida é fundamental em *ecodesign*, uma vez que em cada uma das fases de produção de um produto existem aspetos ambientais associados (entradas e saídas de materiais e energia) e intervenções ambientais (consumo de recursos naturais, emissões para o ar, água, solo, entre outros). Desta forma, uma análise ciclo de vida irá permitir uma abordagem integrada destes aspetos e impactos com a finalidade de se desenvolverem produtos ambientalmente mais apropriados (LNEG/UPCS 2011)

#### 2.4.2 DECLARAÇÕES AMBIENTAIS DE PRODUTOS (DAP).

A Avaliação de Ciclo de Vida está ainda na base do desenvolvimento de Declarações Ambientais de Produtos (DAP). As DAP são documentos emitidos pelas empresas no sentido de divulgarem os impactes ambientais associados a determinado produto, ao longo do seu ciclo de vida.

O desenvolvimento das DAP é realizado com base em regras muito bem definidas (RCP – Regras para Categorias de Produtos) e que são comuns para produtos da mesma categoria. Estas declarações podem ser reconhecidas a nível internacional, se forem desenvolvidas através de bases normativas internacionais, como é o caso da ISO 14025 e as séries ISO 14040. Desta forma, as DAP transformam-se em declarações ambientais do tipo III, apresentando informação ambiental quantificada sobre o ciclo de vida de um produto, ou seja, dados de inventários de ciclo de vida (Almeida et al. 2011; Habitat n.d.).



### **3 A INDÚSTRIA DO CALÇADO**

#### **3.1 INTRODUÇÃO**

Em Portugal, a indústria de calçado tem sido apontada como um exemplo e referência na economia nacional, sendo uma das indústrias exportadoras que mais contribui para o equilíbrio da balança comercial portuguesa, com base em produtos de alta qualidade.

As empresas de fabrico de calçado têm uma forte concentração geográfica localizando-se essencialmente em dois pólos:, um concentrado nos concelhos de São João da Madeira, Oliveira de Azeméis e Santa Maria da Feira e outro em Felgueiras e Guimarães, sendo que estes cinco concelhos representam mais de três quartos do emprego do setor do calçado (DGEA 2017).

“Os sapatos fabricados em Portugal são dos mais caros e de melhor qualidade a nível mundial, mas é necessário criar mais marcas próprias para alcançar prestígio idêntico ao do calçado italiano.” (DGEA 2017)

Portugal, no âmbito da política de inovação da indústria nacional de calçado, tem vindo a fomentar cada vez mais empresas com marcas próprias. Segundo APICCAPS foram criadas nos últimos 10 anos mais de 340 marcas portuguesas de calçado, onde se destaca a valorização das coleções, dos produtos e da produção nacional (APICCAPS 2018).

A nível de produção mundial de calçado, de acordo com os dados do World Footwear Yearbook, a produção de calçado atingiu cerca de 23 mil milhões de pares nos últimos dois anos. Portugal situa-se em 17º lugar (0,4% da produção mundial) no entanto em termos de preços, tem o segundo preço médio de exportação mais elevado, depois de Itália (APICCAPS 2018).

Segundo a Direção Geral das Atividades Económicas, entre 2010 e 2016 houve um aumento significativo do número de exportações nacionais de calçado. Dos principais mercados de destinos das exportações portuguesas de calçado, em 2016, destaca-se França com 21,6%, Alemanha com 17,8%, os Países Baixos (13,8%), Espanha (10,2%) e em quinto lugar o Reino Unido com 6,8% (APICCAPS 2018).

A indústria portuguesa de calçado exporta mais de 95% da sua produção, tendo como destino 152 países nos cinco continentes, num total de aproximadamente 2 mil milhões de euros em 2017, sendo um dos sectores da atividade económica que mais positivamente tem vindo a contribuir para a balança comercial portuguesa (APICCAPS 2018).

Segundo a APICCAPS (Associação Portuguesa dos Industriais de Calçado, Componentes, Artigos de Pele e seus Sucedâneos) assinalou-se em 2017 um aumento de 2,9% na exportação de calçado em Portugal relativamente ao ano anterior. Desta forma, atingiu-se o valor máximo histórico registado pela indústria portuguesa de calçado, traduzindo-se no oitavo ano consecutivo de aumento das exportações. Desde 2010, assinala-se um crescimento na ordem dos 500% (12 milhões de euros exportados em 2010) (APICCAPS 2018).

Em termos de perspetivas para o futuro, a principal prioridade do sector da indústria do calçado é a promoção comercial externa. Por outro lado, existe uma preocupação para a utilização e produtos alternativos com um melhor desempenho e menor preço.

### **3.2 CENTRO TECNOLÓGICO DE CALÇADO PORTUGAL (CTCP)**

A Associação Portuguesa dos Industriais de Calçado, Componentes, Artigos de Pele e seus Sucedâneos (APICCAPS) e dois Institutos do Ministério da Economia, o IAPMEI e o INETI, a partir do Laboratório de Controlo da Qualidade criado em 1981, criaram em 1986 o Centro Tecnológico do Calçado de Portugal (CTCP), com a missão de apoiar tecnicamente as empresas da fileira do calçado e setores afins, promover a formação técnica e tecnológica dos recursos humanos das empresas, promover a melhoria da qualidade dos produtos e processos industriais, preparar e divulgar informação técnica junto da indústria (CTCP 2019).

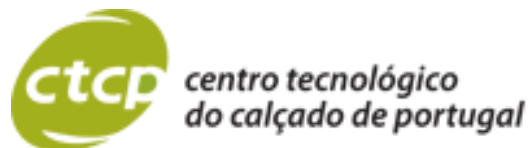


Figura 3.1 - Logótipo do CTCP (CTCP 2019)

O CTCP tem a sua sede em São João da Madeira e uma delegação em Felgueiras

Na prestação de serviços o CTCP constitui um importante apoio às empresas de calçado nacional prestando serviços em várias áreas, nomeadamente:

- ✓ Ensaios laboratoriais,
- ✓ Inovação e Investigação,
- ✓ Projetos de Investimento,

- ✓ Segurança no Trabalho,
- ✓ Certificação de Produto,
- ✓ Formação e qualificação
- ✓ Consultoria e Sistemas de Gestão,
- ✓ Propriedade industrial,
- ✓ *Design* multimédia e software
- ✓ Formação e qualificação profissional,
- ✓ Informação e comunicação (CTCP 2019).

### 3.2.1 LABORATÓRIO DE ENSAIOS

O laboratório do CTCP apoia os seus associados realizando ensaios de controlo e monitorização das suas matérias-primas, componentes, produtos acabados e processos industriais, para dar resposta às exigências dos seus clientes. O laboratório do CTCP é acreditado pela norma ISO 17025 para executar um conjunto de ensaios nas áreas química e físico-mecânica:

- **Química:** para determinar a presença e concentração de substâncias potencialmente perigosas nos produtos utilizados no fabrico de calçado tais como as que se encontram identificadas pela legislação REACH (Registo, Avaliação e Autorização dos Produtos Químicos), nomeadamente metais pesados (chumbo, crómio, cádmio), crómio VI, formaldeídos, aminas aromáticas, fenóis clorados, compostos orgânoestânicos, DMFU (dimetil fumarato), parafinas cloradas (SCCP, MCCP), fenol livre, níquel libertado (peças metálicas), ftalatos, alquilfenóis etoxilatos (NPFE+OPEO).

- **Físico-mecânica:** para avaliar a qualidade, desempenho, conforto e segurança dos materiais e produtos de calçado, tais como, avaliação da densidade, dureza, resistência a impactos, compressão, perfuração, queda, corte, abrasão, tração e comportamento de uniões e materiais colados e ainda a avaliação da estanquicidade, do comportamento ao frio, calor, ao calor radiante e ao fogo (CTCP 2019).

### 3.2.2 *INOVAÇÃO E INVESTIGAÇÃO*

Nos laboratórios do CTCP são também realizados trabalhos de estudo e investigação tendo em vista a melhoria e o desenvolvimento de novos materiais, processos e métodos de fabrico, de que possam resultar maior conforto e segurança, mas tendo em conta as incidências ambientais, promovendo assim a competitividade pela distinção e inovação dos materiais, processos e produtos.

Atualmente, a sociedade enfrenta diversos problemas ambientais e para tal é necessária uma resposta rápida de forma a diminuir ou atenuar estes problemas (CTCP 2019).

O desenvolvimento de novas tecnologias, processos e produtos mais “amigos do ambiente” necessita de criatividade e inovação, cuja avaliação económica, social e ambiental é indispensável.

### 3.2.3 *FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS*

Ao nível da formação, um dos principais objetivos do CTCP é a promoção da formação técnica e tecnológica dos recursos humanos das empresas do setor do calçado e afins. Tem como missão formativa a contribuição para a qualificação profissional dos trabalhadores do setor do calçado e o apoio à modernização das empresas, estimulando a utilização de novos processos e tecnologias de trabalho bem como a utilização de ferramentas de apoio à gestão e tomada de decisão (CTCP 2019).

### 3.2.4 *CERTIFICAÇÃO DE PRODUTOS*

O laboratório do CTCP é acreditado pela norma NP EN ISO/IEC 17025 para a realização dos ensaios normativos necessários à certificação do calçado de trabalho (calçado de segurança, proteção ou ocupacional) pelo organismo de acreditação nacional: o IPAC. O CTCP também tem um serviço para apoiar as empresas na preparação da candidatura ao Rótulo Ecológico a submeter à direção geral das atividades económicas (DGAE).

Em meados do ano de 2008, o CTCP criou dois rótulos nacionais para certificação de materiais, componentes e produtos de calçado, o BIOCALCE e o ATIVECALCE. A criação destes rótulos teve como objetivo definir parâmetros de conforto, qualidade, desempenho e funcionalidade para distinção e informação perante o consumidor.

### 3.2.4.1 MARCAÇÃO CE

A marcação CE é um requisito legal que indica que um produto está conforme a legislação e com as normas europeias, que é obrigatória nos Equipamentos de Proteção Individual (EPI). A designação EPI aplica-se a qualquer equipamento concebido e fabricado para ser envergado por uma pessoa para sua proteção contra riscos para a sua saúde ou segurança. No mercado europeu os EPI têm de ter uma certificação onde declara que o produto assegura a proteção de saúde pública e segurança estabelecidas pelo Regulamento (EU) 2016/425 de 9 de março, que foi publicado a 31 de março de 2016 (IPQ 2019).

Esta certificação informa os consumidores que o calçado que estão a adquirir cumpre um conjunto de especificações (normas) em termos de segurança, saúde pública, proteção e conforto do utilizador.

O processo de certificação implica a análise de documentação técnica, avaliação da qualidade do produto final, avaliação do sistema de qualidade da produção e emissão do Certificado de Conformidade (APICCAPS n.d.).

### 3.2.4.2 RÓTULO ECOLÓGICO EUROPEU

Com o objetivo de incentivar o setor de produção de calçado a diminuir os danos ao meio-ambiente, a aplicação do rótulo ecológico europeu significa que o calçado tem baixo impacto ambiental, que a sua qualidade e função são adequadas para desempenhar a função prevista e que não contém substâncias que são prejudiciais à saúde e ao ambiente (CTCP 2019).



Figura 3.2 - Logótipo referente ao rótulo ecológico europeu (CTCP 2019)

A União Europeia (UE) criou a *European Footwear Eco-Label* para diferenciar o calçado ambientalmente amigáveis (Staikos et al. 2006).

### 3.2.4.3 RÓTULO BIOCALCE DO CTCP

O rótulo BIOCALCE, estando o respetivo logótipo representado na Figura 3.3, é uma certificação concedida pelo CTCP, destinada a materiais, componentes, calçado e empresas, orientadas para aspetos de segurança ambiental, nomeadamente de toxicidade.



Figura 3.3 - Logótipo rótulo BIOCALCE (CTCP 2019)

Em termos de calçado a eco etiqueta BIOCALCE atesta o conforto, a qualidade e a durabilidade do produto, e que usa exclusivamente materiais que não contêm substâncias ou compostos químicos em quantidades tóxicas para o utilizador e para o ambiente (CTCP 2019).

### 3.2.4.4 RÓTULO ACTIVECALCE DO CTCP

O rótulo ACTIVECALCE certifica aspetos relacionados com o uso e funcionalidades técnicas do produto, estando o respetivo logótipo representado na Figura 3.4. A esta certificação pode ser associada alguns ícones que realçam algumas características extras dos produtos e facilitam a comunicação das suas propriedades ao consumidor final.



Figura 3.4 - Logótipo do rótulo ACTIVECALCE (CTCP 2019)

Ao rótulo ACTIVECALCE é uma marca que pretende assegurar determinados parâmetros de conforto e desempenho dos sapatos. A este rótulo podem ser adicionados os seguintes ícones: conforto térmico extra, resistência à água (3 dias), diabéticos, hospitalar, + 65 anos,

odor control, grávidas, +80 kg, peso extra, anti-escorregamento (neve), anti-micróbios e luminoso (CTCP 2019).

### 3.3 PROCESSO PRODUTIVO DE CALÇADO

No passado, os sapateiros eram os únicos responsáveis pelas várias etapas do processo de fabricação de calçado. Nos dias de hoje, o processo envolve a divisão de tarefas entre vários departamentos dentro de uma unidade fabril, sendo que é procedimento corrente adquirir externamente componentes mais ou menos processados.

O desenvolvimento de um produto de calçado é um processo complexo e com diversas etapas, que envolvem: a função, o *design* e modelação do produto, a seleção das matérias-primas mais adequadas ao produto e função, o fabrico e a distribuição. Existem diversos tipos de calçado (por exemplo, moda, casual, desportivo, trabalho, etc.), assim como construções e processos de fabrico (tais como os sistemas plano ou colado, o *goodyear*, o *califórnia*, o *strobels*, ou o injetado, entre outros). Os materiais, componentes e processos produtivos são seleccionados mediante a tipologia de calçado, o desempenho e função desejada. Alguns materiais são usados para tornar o calçado mais confortável, para proteção de segurança ou mesmo para torná-lo mais apelativo. (Shoepassion 2019)

As diferentes tarefas envolvidas na construção de produtos de calçado são: *design*, modelação, corte, costura, montagem, acabamento, embalagem e expedição/distribuição, De um modo geral, as referidas tarefas estão articuladas entre si de acordo com o fluxograma da figura seguinte:

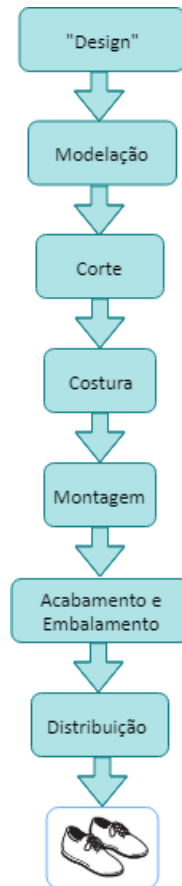


Figura 3.5 - Principais etapas do processo de produção de calçado

O *design* é a componente criativa e artística que dá origem aos modelos de calçado e às coleções. Este processo é cada vez mais importante, principalmente nas indústrias produtoras de calçado de moda.

A modelação é o processo que materializa os modelos desenhados para possibilitar o seu desenvolvimento e construção do sapato, permitindo passar do desenho a um produto passível de ser usado.

O processo de corte dos materiais pode ser realizado de diferentes formas: corte manual, mecânico e automático. O processo de corte depende do material, tamanho, diversidade da encomenda e de questões de ordem económica.

A costura consiste, fundamentalmente, na união das diferentes peças resultantes do processo do corte. Para a realização desta etapa podem ser utilizados diferentes equipamentos.



O processo de montagem é o que dá forma tridimensional aos sapatos. O acabamento é a etapa final do processo de produção e destina-se a melhorar o aspeto visual do produto e a torná-lo mais atractivo.

Depois de todas estas fases concluídas, o produto encontra-se pronto para ser embalado e expedido para distribuição/comercialização.

### **3.4 MATÉRIAS-PRIMAS USADAS NO FABRICO DE CALÇADO**

Antigamente produção de calçado fazia uso de materiais de couro, essencialmente. Atualmente o fabrico de calçado faz uso de matérias-primas muito diversas e diferenciadas, nomeadamente: o couro, as borrachas, os termoplásticos (PVC, TPU, poliestireno e polietileno), os termoendurecíveis (poliuretanos), os têxteis, as colas e um conjunto de aditivos muito diversificados (metais, fibras, corantes, etc.) (Staikos and Rahimifard 2007).

#### *3.4.1 COURO*

O couro é um material nobre utilizado na indústria do calçado e associado ao calçado de qualidade média-alta, podendo ser usado como material de gáspea e forro, na parte superior do calçado, mas também como sola, dependendo das suas características, processo de produção e origem. O couro é caracterizado pela sua elevada resistência físico-mecânica, flexibilidade, elevada respirabilidade, estética, entre outras.

O couro resulta da transformação da pele dos animais num material fibroso estável e imputrescível com as características e o desempenho adequado para a produção de diversos produtos, nos quais se inclui o calçado.

Os processos produtivos do couro mais antigos recorriam ao uso de água, sal e extratos vegetais, sendo que, mais modernamente, estes últimos têm vindo a ser substituídos por agentes curtidores minerais, sendo os mais comuns, os sais de crómio (CTIC 2018).

O setor da produção de couro, devido ao tipo de tecnologia utilizada, apresentava um grande desperdício na transformação de matéria-prima em produto final (CTIC 2018), que se traduziam em fortes impactos ambientais. Nos últimos anos, foram registadas mudanças significativas nos processos de produção de couro, já que lograram alcançar melhorias ambientais consideráveis, impulsionadas por avanços em tecnologia, legislação, padrões, responsabilidade social corporativa e demanda do consumidor. Tal como acontece com

outros produtos, atualmente a produção de couro é objeto de uma BAT (Best Available Technology, JRC 2025).

A pressão ecológica, impondo progressivamente a biodegradabilidade como solução alternativa à reciclagem (no caso das peles, com pouco interesse prático), mais recentemente, tem vindo a forçar a utilização de alternativas minerais e vegetais ao uso do crómio como agente de curtimenta (CTIC 2018).

### 3.4.2 BORRACHAS

As borrachas são polímeros orgânicos reticulados que se caracterizam pela sua resistência, elasticidade, impermeabilidade e atrito. Existem dois tipos de borracha utilizados na construção do calçado: borracha natural e borracha sintética. As borrachas naturais (NR) são obtidas através do látex coagulado extraído das árvores-da-borracha ou seringueiras (*Hevea brasiliensis*), sendo quimicamente um polímero de isopreno. As borrachas sintéticas (SR) são preparadas industrialmente a partir de hidrocarbonetos insaturados derivadas do petróleo, usadas para atendimento de condições específicas de produtos onde são empregadas. No âmbito do fabrico de produtos para utilização final, a borracha natural ou sintética é sujeita a um processo mais ou menos intenso de reticulação (conhecido como vulcanização), recebendo ainda um conjunto de aditivos com finalidades específicas para a obtenção de produtos para utilização final. O processo de reticulação é realizado através da adição de enxofre na presença de um catalisador de zinco.

As borrachas sintéticas, também conhecidas como elastómeros sintéticos, têm as mesmas propriedades das borrachas naturais, ou seja, elasticidade, possibilidade de vulcanização, solubilidade em solventes, resistência à água, à eletricidade e à abrasão, mas melhor desempenho quanto à durabilidade ou à resistência a óleos, ao calor e à luz.

As borrachas sintéticas são as mais utilizadas no fabrico de componentes para calçado, mas ambas são utilizadas em função dos requisitos técnicos do calçado a produzir e em função dos custos de produção a atingir. A borracha sintética é utilizada principalmente no fabrico de solas, solas intermédias, alguns tipos de palmilhas, tacões e viras. No calçado tipo galocha, a borracha constitui também a gáspea (CTB 2019).

Existem vários tipos de bases para a produção de borrachas sintéticas: SBR, NBR, BR, etc.. A borracha SBR (elastómero de estireno-butadieno) é a mais consumida no mundo, e pode ser usada total ou parcialmente combinada com outros elastómeros na produção de componentes e produtos. A NBR (borracha nitrílica) é uma borracha que apresenta uma

maior resistência aos óleos e solventes, sendo usada em grande parte de produtos de calçado de trabalho. Outra borracha também muito utilizada é a BR (elastómero de polibutadieno) pela sua alta resistência à abrasão, resiliência, boa flexibilidade a baixas temperaturas e resistência à flexão (Marcos 2018).

A reciclagem tem um papel bastante importante na redução dos impactes que um produto pode causar ao meio ambiente depois do seu uso. A reciclagem da borracha é bastante importante uma vez que possibilita a obtenção de produtos como artigos de decoração, cestos, tapetes de carros, etc. A borracha reciclada pode ser usada também na mistura de materiais de construção, pavimento de ruas e estradas (Pensamento Verde 2014). Ao contrário dos termoplásticos, é difícil a recuperação material da borracha para a mesma finalidade.

### 3.4.3 TERMOPLÁSTICOS

Os termoplásticos são polímeros orgânicos que apresentam propriedades reversíveis relacionadas com o facto de serem moldáveis em função da temperatura de forma reversível, ao contrário das borrachas que apresentam comportamento irreversível devido ao seu processo de reticulação. Na produção de materiais plásticos para a indústria de calçado, é possível utilizar até 20 a 30% de plástico reciclado durante o processo (CTCP 2019).

Os termoplásticos apresentam cadeias poliméricas unidas por forças de atração intermolecular secundárias. Os termoplásticos são moldáveis, pois amolecem quando aquecidos. Esse processo pode ser repetido várias vezes e a degradação do polímero será mínima, pelo que estes materiais são recicláveis, após fim de vida útil.

Os termoplásticos mais usados na indústria do calçado tendem a apresentar pontos de rutura bem mais baixos e de menores resistências à deformação do que os apresentados pelas borrachas vulcanizadas convencionais (CTCP 2019).

Os principais tipos de polímeros termoplásticos são: acrílicos, celulósicos, etil vinil acetato (EVA), polietileno tereftálico (PET), poliamidas (nylons), polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), policloreto de vinilo (PVC) e policarbonato (PC). Destes os que têm maior volume de produção e preço mais baixo são: PET, PVC, PE (alta e baixa densidade), PS e PP (Parente 2006).

A aplicação de termoplástico no calçado ocorre ao nível dos componentes conhecidos como entressola e sola. A entressola é normalmente constituída por espumas

microcelulares como PU e a EVA, mais leves, e o PVC e TPU com o objetivo de proporcionar o devido amortecimento ao utilizador.

O PVC é um material que, por ter um reduzido custo económico, é amplamente utilizado em solas para sapatos de ruas, sapatos casuais, sandálias e chinelos. Normalmente, o PVC é combinado com poliuretanos (TPU) para adquirir a necessária flexibilidade e resistência à abrasão, juntamente com alguns componentes adicionais, para melhorar ainda mais a repelência de água e óleo. O PVC oferece uma boa proteção contra gorduras animais, bem como ácidos, álcoois, álcalis, bases, óleos e hidrocarbonetos de petróleo. Por exemplo, PVC seco quando misturando-se com pó de borracha de nitrilo (NBR), tornando possível o composto ser usado em solas para botas de segurança.

O acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) também é bastante usado na produção de saltos para sapatos de moda femininos, no entanto, a fabricação da sola resulta numa flexibilidade bem limitada (Luximon and Khandual 2017).

#### 3.4.4 TERMOENDURECÍVEIS

Os termoendurecíveis incluem os polímeros baseados no fenol-formaldeído, os poliuretanos e os silicones. Os plásticos baseados no fenol-formaldeído foram os primeiros a ser produzidos completamente por via sintética. Os plásticos fenólicos são materiais duros e resistentes ao calor. Os poliuretanos (PU) empregam-se, principalmente, como espumas, revestimentos e adesivos.

As espumas podem ser flexíveis ou rígidas, dependendo do seu grau de reticulação. As espumas de poliuretano são comercializadas numa ampla gama de densidades, promovendo um bom isolamento acústico e térmico e apresentando boas propriedades mecânicas. Os poliuretanos utilizados em revestimentos e adesivos apresentam estruturas diversificadas, que vão desde estruturas lineares simples, até estruturas reticuladas muito complexas. As espumas de poliuretano são amplamente utilizadas em colchoaria e calçado e os revestimentos de PU constituem uma excelente alternativa à pele natural (Pouzada and Bernardo 1983).

#### 3.4.5 TÊXTEIS

Os têxteis são matérias-primas suscetíveis de transformação, preparados a partir de fibras torcidas em fios e, posteriormente, estruturados em tecidos ou não tecidos. As fibras são

essencialmente de origem natural (vegetal, animal ou mineral), de origem química (fibras sintéticas orgânicas ou inorgânicas) e de origem metalúrgica (obtidos de substâncias metálicas por tecnologia metalúrgica) (Harvey 1982).

As propriedades dos materiais de têxteis dependem de vários fatores, nomeadamente: do tipo de fibras, dimensão da fibra, tipo de fio, diâmetro da fibra, método de construção do têxtil e do tipo de acabamento. Os materiais têxteis a usar na indústria do calçado devem ter em conta as suas propriedades funcionais para cumprir com as exigências da sua utilidade final, devendo existir um equilíbrio entre as suas características técnicas e funcionais (Harvey 1982).

Os não-tecidos têxteis são estruturas feitas de teias de fibras, onde as fibras são depositadas e compactadas por meios mecânicos, térmicos, químicos ou solventes e suas combinações. De forma simples, um não-tecido é definido como um têxtil que pode ser produzido por uma variedade de processos que não sejam de tecelagem e tricô. Estas estruturas podem ser aplicadas em produtos de calçado isoladamente ou em combinação com outros têxteis ou materiais não têxteis, tais como malhas, tecidos, fios, camadas de espuma e chapas metálicas de reforço. Este tipo de estrutura é muito importante para combinar a facilidade de produção com baixo custo (Harvey 1982).

### **3.5 ASPETOS AMBIENTAIS RELATIVOS À PRODUÇÃO DE CALÇADO**

A indústria do calçado pertence à categoria da indústria transformadora, isto é, a produção de calçado envolve a utilização de matérias-primas técnicas, produzidas por diferentes sectores da actividade económica envolvendo a utilização de recursos naturais (petróleo, carvão, biomassa, recursos minerais, etc.), infraestruturas técnicas (edifícios, maquinaria, meios de transporte), combustíveis, energia elétrica, água, ar, etc. Adicionalmente, a indústria do calçado serve-se do meio ambiente para descarregar efluentes gasosos, águas residuais e resíduos.

#### *3.5.1 RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DO CALÇADO*

Nas últimas décadas, a indústria do calçado tem investido expressivamente na utilização de matérias-primas mais eficientes, na eliminação de substâncias perigosas durante a fase de produção assim como na gestão de resíduos industriais produzidos.

A borracha, por exemplo, pode ser reciclada no fabrico de novas solas, podendo fazer com que cerca de 50% dos resíduos de borracha sejam reutilizados. O papel e cartão não colados a outros materiais, são objeto de separação e depois encaminhados para reciclagem por 90-95% das empresas produtoras. Os resíduos de couro com maiores dimensões são recuperados, por empresas que fabricam artigos de pequena marroquinaria.

Os resíduos que têm mais significado ambiental nesta indústria são as pequenas aparas de couro curtido ao crómio. A utilização de aterro como destino final não é uma solução eficaz tendo em consideração os efeitos ambientais adversos provocados pela lixiviação de crómio e carga orgânica refratária. Em alternativa ao aterro, é possível a eliminação por incineração controlada com a recuperação de energia, embora seja pouco usada (Neves et al. 2012).

A indústria do calçado é ainda responsável pela produção de um outro conjunto de resíduos como é o caso das espumas, tecidos, borrachas, plásticos e seus compósitos em resultado do processo produtivo, cujo destino mais comum tem sido o aterro. Em quantidades menos significativas estão os materiais conhecidos como têxteis não-tecidos, metais (pregos, tachas, cravos, apliques), produtos químicos, restos de solventes e tintas. Durante o processo de fabricação de calçado, a maior quantidade de resíduos ocorre durante o corte (Neves et al. 2012).

### 3.5.2 ÁGUAS RESIDUAIS

No setor do calçado o uso da água é fundamentalmente relativo à utilização humana, respetivamente nas instalações sanitárias, de vestuário e do refeitório. Estes efluentes podem ser descarregados diretamente nos coletores de esgotos municipais.

Para fins industriais, a água é essencialmente utilizada na cabine de pintura, sistemas de aspiração de partículas e limpezas, que, por vezes, têm altas concentrações de produtos químicos que são prejudiciais para o ambiente.

As águas residuais/efluentes que possam ter origem durante o processo industrial, terão de ser encaminhada para entidades dispoendo de ETARI's devidamente legalizados para operar. A descarga destes efluentes em linha de água ou no solo só é permitida após tratamento e autorização da entidade responsável (Neves et al. 2012).

Segundo o CTCP existe a necessidade de sensibilizar as empresas a estabelecer políticas de gestão da água, que lhes permita racionalizar e controlar a evolução do consumo ao longo dos anos.

### 3.5.3 EMISSÕES GASOSAS

Na indústria do calçado, as principais fontes de emissão estão relacionadas com o efluente gasoso proveniente da aspiração de ar no âmbito dos processos de aplicação de colas, endurecedores, tintas e solventes, incluindo a respetiva secagem, e ainda da aspiração de partículas associados a processos de cardagem mecânica. Os principais poluentes associados são os Compostos Orgânicos Voláteis (COV) e as Partículas (PTS), respetivamente (Neves et al. 2012).

Os resultados de monitorização pontuais destes poluentes mostram que as normas de descarga, os caudais mássicos e respetivos valores limite de emissão são cumpridos, e dado que se trate de pequenas e médias empresas, as entidades têm conseguido que a Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR) autorize que a monitorização das emissões atmosféricas seja realizada uma vez de três em três anos.

É necessário sensibilizar ainda o setor a cumprir as obrigações legais nesta área, no que diz respeito às normas construtivas das chaminés e à obrigação da monitorização pontual periódica das mesmas (Neves et al. 2012).

## 3.6 INDICADORES DE AVALIAÇÃO DE IMPACTE DO CICLO DE VIDA DO CALÇADO

A avaliação ambiental holística da atividade no sector do calçado sob a forma de AICV, encontra-se ainda pouco desenvolvida em Portugal, sendo este trabalho um dos primeiros a ser realizado. Contudo a nível europeu, foi possível encontrar algumas referências relativas ao processo de fabrico de couro (DANI 2012) e uma DAP relativa a calçado (AKU 2017).

Por outro lado, tendo em conta os objetivos definidos para este trabalho e na ausência de informação suficientemente desenvolvida necessária, constatou-se o interesse em desenvolver uma AICV sobre o couro, na tentativa de sistematizar dados de processo obtidos na literatura e proceder à respetiva intercomparação baseada num conjunto de indicadores AICV tradicionalmente usado nesta área.

Também para melhor evidenciar eventuais diferenças entre sistemas de produto elaborados com diferentes materiais, foram concebidos cenários distintos para o mesmo sistema de produto.

Dos diversos indicadores de impacto ambiental disponíveis no âmbito da AICV, foram selecionados quatro indicadores de impacto ambiental intermédios (*mid point*), isto é, indicadores relativos a efeitos ambientais para a realização deste trabalho, em detrimento de indicadores relativos a danos ambientais (*end-point*).

Neste trabalho, a avaliação de impactes é realizada apenas considerando as etapas obrigatórias da metodologia AICV, classificação e caracterização, excluindo as fases facultativas, normalização, ponderação e a agregação, de forma a minimizar os elementos subjetivos do estudo AICV.

### 3.6.1 CATEGORIAS DE IMPACTE

As categorias de impacto selecionada para este estudo são: potencial de alterações climáticas, pegada ecológica, potencial de acidificação e potencial de eutrofização, dado que são as mais comuns da literatura na área do calçado.

O Potencial de Alterações Climáticas, muitas vezes considerado equivalente à Pegada de Carbono, é calculado de acordo com o método definido pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC2013-GWP100a).

O segundo indicador utilizado neste trabalho é a pegada ecológica (EF - *ecological footprint*), que tendo sido um indicador muito usado no passado, reveste-se de fragilidades metodológicas que convém ter presente, nomeadamente para a realização de comparações.

Os dois últimos indicadores respeitam à metodologia CML 2001-*baseline*. Esta metodologia foi desenvolvida e publicada pelo *Centre of Environmental Science* de Leiden, Holanda, tendo sido diversas vezes utilizado em estudos de ACV. Neste trabalho foram considerados dois destes indicadores: Potencial de Eutrofização (CML2001- PE) e o Potencial de Acidificação (CML2001-PA). Os factores de caracterização subjacentes são ocasionalmente revistos e encontram-se incorporados nos métodos de cálculo destes indicadores a partir do ICV.



Tabela 3.1 - Categorias de impacto e respetivos parâmetros, indicadores das categorias e fatores de caracterização AICV.

<b>Categoria de impacto</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Unidades do indicador</b>	<b>Indicador AICV</b>
<b>Alterações climáticas</b>	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	kg CO <sub>2</sub> -eq	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change – Climate Change (IPCC 2013 -a)</i>
<b>Pegada ecológica</b>	Área de solo arável.ano	m <sup>2</sup> a	<i>Ecological Footprint, land occupation (EF)</i>
<b>Acidificação</b>	NH <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub>	kg SO <sub>2</sub> -eq	<i>Acidification Potential (CML 2001-AP)</i>
<b>Eutrofização</b>	N <sub>2</sub> O (ar), NH <sub>3</sub> (ar), NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (ar), NO <sub>x</sub> (ar), NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ar), P (ar), NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (água), NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (água), P (água)	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq	<i>Eutrophication Potential (CML2001-EP)</i>

### 3.6.1.1 ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

As alterações climáticas estão relacionadas com as emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE) para a atmosfera, antes designadas por Potencial de Aquecimento Global (Guinée et al. 2002), e entretanto mais frequentemente designadas de Alterações Climáticas. De facto tem sido possível constatar que a acumulação destes gases está correlacionada com a maior ocorrência de episódios extremos relativos ao clima (chuvas, secas, número e violência de temporais, temperaturas extremas), ocasionando efeitos nos ecossistemas (subida do nível das águas, deslocação de populações, erosão e desertificação dos solos, etc.) e assim provocar efeitos adversos na saúde humana, e bem-estar material cada vez mais perceptíveis.

Os fatores de caracterização da categoria de impacto Alterações Climáticas (IPCC2013 *Global Warming Potential - GWP*), podem ser calculados para diversos gases e para os períodos de 20, 100 e 500 anos, constituindo o contributo potencial dessa substância para o efeito de estufa. O mais comum em estudos de ACV é o de 100 anos (Acero et al. 2016). Abaixo estão enumerados alguns GEE assim como os respetivos fatores de caracterização.

Tabela 3.2 – Fatores de caracterização de alguns poluentes responsáveis pela categoria de impacto Alterações Climática (IPCC 2013)

Intervenções ambientais	Designação	IPPC2013-GWP100a) - Fator de caracterização	Unidades
CO2	Dióxido de carbono (fóssil)	1	[kg CO <sub>2</sub> eq/ kg CO <sub>2</sub> ]
CH4	Metano	25	[kg CO <sub>2</sub> eq/ kg CH <sub>4</sub> ]
N2O	Óxido nitroso	298	[kg CO <sub>2</sub> eq/ kg N <sub>2</sub> O]

Esta categoria de impacte é determinada pela seguinte expressão:

$$\text{IPPC2013-GWP100a} = \sum_i \text{IPPC2013-GWP100a}_i \times m_i \quad \text{Equação 1}$$

O resultado é expresso em kg CO<sub>2</sub>-eq. IPCC2013-GWP 100a<sub>i</sub> é o fator de caraterização para o potencial de alterações climáticas, enquanto m<sub>i</sub> (kg) é a quantidade de substância *i* emitida para a atmosfera (de acordo com Guinée et al. 2002 mas actualizado para os factores de caraterização do IPCC2013).

### 3.6.1.2 PEGADA ECOLÓGICA

A pegada ecológica (*Ecological Footprint* - EF) é definida como o impacto que cada indivíduo, processo, atividade e região têm na Terra, através de uso de recursos, geração de resíduos e uso de serviços fornecidos pela natureza. A pegada ecológica mostra a extensão da apropriação que a humanidade faz da produtividade da natureza. Por outras palavras, a pegada ecológica é uma medida do impacto expressa em termos de área apropriada. O conceito e o indicador de Pegada Ecológica parecem ser aceites sem críticas por muitos cientistas e políticos, e especialmente por organizações ambientais. O método quantifica os fluxos de energia e massa de uma economia ou atividade específica, convertidos em áreas correspondentes necessárias para suportar esses fluxos. O poder do método está no fato de que toda a exploração humana dos recursos e do meio ambiente é reduzida a uma única dimensão, ou seja a área de terra e água para seu suporte (Huijbregts et al. 2008).

No contexto da ACV, a pegada ecológica de um produto é definida como a soma das áreas correspondentes à ocupação direta da terra, com as áreas correspondentes ao uso de energia nuclear e às emissões de CO<sub>2</sub> resultantes do uso de energia fóssil e produção de cimento. Para os produtos incluídos na análise, a ocupação direta da terra ao longo do

tempo é definida pela área construída, floresta, terra cultivada, pastagem e área hidroelétrica. A pegada ecológica direta, relaciona as cinco ocupações da terra identificadas (Huijbregts et al. 2008).

### 3.6.1.3 ACIDIFICAÇÃO

A acidificação provocada no ambiente é causada pela libertação de diversas substâncias para a atmosfera, nomeadamente  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  e  $\text{NH}_3$ , e, conseqüente, provocam alterações químicas relacionadas como pH, causando diversos impactos no solo, águas superficiais, ecossistemas, materiais e organismos biológicos.

O potencial de acidificação (CML2001-AP) para as emissões atmosféricas consideradas nesta categoria é calculado segundo o modelo adaptado RAINS 10 (Huijbregts 1999), com o objetivo de descrever o destino e deposição de substâncias acidificantes.

Tabela 3.3 - Potencial de Acidificação (CML2001- AP) de alguns poluentes (Wenzel, Hauschild, and Alting 1997)

Parâmetros	Composto químico	AP- Fator de caracterização	Unidades
$\text{NH}_3$	Amoníaco	1,9	[kg $\text{SO}_2$ eq/ kg $\text{NH}_3$ ]
$\text{NO}_x$ incluindo $\text{NO}_2$	Dióxido de azoto	0,7	[kg $\text{SO}_2$ eq/ kg $\text{NO}_x$ ]
$\text{SO}_2$	Dióxido de enxofre	1	[kg $\text{SO}_2$ eq/ kg $\text{SO}_2$ ]

As substâncias acidificantes podem ser agregadas através do indicador referente ao potencial de acidificação (CML2001-AP), de acordo com a equação:

$$\text{CML2001-AP} = \sum_i \text{CML2001-AP}_i \times m_i \quad \text{Equação 2}$$

O resultado é expresso em kg de dióxido de enxofre equivalente ( $\text{SO}_2$  eq).  $\text{CML2001-AP}_i$  é o fator de caracterização para a acidificação da substância  $i$  emitida para a atmosfera, enquanto  $m_i$  (kg) é a quantidade de substância  $i$  emitida para a atmosfera (Wenzel et al. 1997).

## 3.6.1.4 EUTROFIZAÇÃO

A eutrofização é um fenómeno natural que consiste no enriquecimento dos ecossistemas em nutrientes, o que provoca o aumento de produção de biomassa e a diminuição da concentração de oxigénio nos meios recetores, em resultado da degradação da matéria orgânica. Por ação do Homem, tem consequência a aceleração e intensificação, de forma significativa, este processo por um enriquecimento anormal das águas em elementos nutritivos, onde o fósforo (P) e o azoto (N) são os mais importantes. (Acero et al. 2016)

O indicador AICV denominado Potencial de Eutrofização (CML2001-EP) é baseado nos procedimentos estequiométricos descritos por (Heijungs et al. 1992). Os parâmetros considerados nesta categoria de impacte estão apresentados na tabela abaixo.

Tabela 3.4 - Potenciais de eutrofização (CML2001-EP) (Heijungs et al. 1992).

Comportamento ambiental	Parâmetros	Composto químico	EP- Fator de caracterização	Unidades
Emissão para a água ou solo	CQO	Carência Química de Oxigénio	0,02	[kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> . eq/ kg CQO]
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	lão nitrato	0,10	[kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> . eq/ kg NO <sub>3</sub> ]
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	lão amónia	0,33	[kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> . eq/ kg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ]
	N <sub>total</sub>	Azoto total	0,42	[kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> . eq/ kg Ntotal]
	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	lão fosfato	1,00	[kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> . eq/ kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ]
	P <sub>total</sub>	Fósforo total	3,06	[kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> . eq/ kg Ptotal]
Emissão para a atmosfera	NO <sub>3</sub>	Amónia	0,35	[kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> . eq/ kg NO <sub>3</sub> ]
	NO <sub>x</sub> incluindo NO <sub>2</sub>	Dióxido de azoto	0,13	[kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> . eq/ kg NO <sub>x</sub> ]

O potencial de acidificação é utilizado para agregar emissões de substâncias potencialmente eutrofizantes, de acordo com a seguinte equação:

$$\text{CML2001-EP} = \sum_i \text{CML2001-EP}_i \times m_i \quad \text{Equação 3}$$

O resultado é expresso em kg de fosfato equivalente (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-eq). CML2001-EP<sub>i</sub> é o fator de caracterização para a eutrofização da substância *i* emitida para a atmosfera, água ou solo, enquanto m<sub>i</sub> (kg) é a massa de substância *i* emitida para a atmosfera, água ou solo (Heijungs et al. 1992).

## 4 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO DE COURO

A produção de couro é realizada pela indústria de curtumes, através um processo complexo designado de curtimenta, que envolve um grande número de operações e a utilização de uma grande variedade de produtos químicos necessários à estabilização da pele e à sua transformação no produto final. Uma grande parte do processo é realizado em fase húmida dentro de tambores, designados por fulões. A produção de couro envolve impactos ambientais muito significativos.

Neste capítulo, descreve-se de forma sumária cada uma das etapas do processo de produção do couro e apresenta-se uma AICV deste sistema de produto.

### 4.1 PRODUÇÃO DE COURO

A produção de couro tem o seu início na recolha dos resíduos de pele originados pela indústria produtora de carne em resultado do abate animal.

Para conservar as propriedades das peles, e antecedendo o seu transporte e armazenamento, as peles são imediatamente sujeitas a salga ou arrefecimento em câmara frigorífica.

Depois deste processo de conservação das peles, inicia-se a transformação da pele em couro que decorre em três fases sequenciais designadas como: ribeira, curtume e recurtume (Avenida 2019) .

Ribeira: é a primeira fase a que se submetem as peles, consistindo numa sequência de operações em que a pele é preparada para a fase de curtume. A pele é submetida a processos químicos e mecânicos para limpeza e hidratação. Esta fase inclui três operações, duas em meio aquoso, dentro de fulões, sendo elas o molho e o caleiro, e outra de carácter mecânico, designada de descarna.

- Molho: visa a remoção do sal, usado na sua conservação, e de impurezas agarradas aos pelos e a reposição do teor de água natural da pele fresca.
- Caleiro: consiste na remoção de pelos e ao relaxamento da estrutura fibrosa da pele. Assim, enquanto se procede à depilação, têm lugar processos de inchamento e afloramento da estrutura fibrosa da pele.
- Descarna: é uma operação mecânica, realizada em máquina apropriada, onde são removidos os tecidos adiposos da pele e a matéria subcutânea por ação de um rolo de lâminas.

Na fase de curtume, as peles limpas provenientes da descarna são tratadas em meio aquoso de forma a ficarem termicamente estáveis e resistentes à decomposição. A fase do curtume obedece a oito etapas distintas:

- Calagem: após a demolha as peles são sujeitas a tratamento com leite de cal (um agente básico), e o tratamento com aditivos (tais como sulfureto de sódio, cianetos, aminas, etc. desta operação) destinados principalmente à remoção do pêlo, queratinas e algumas das proteínas solúveis interfibrilares, como as mucinas.
- Agentes pelantes utilizados neste momento incluem sulfureto de sódio, hidróxido de sódio, hidrosulfito de sódio, hidrossulfureto de cálcio, dimetilamina e sulfidrato de sódio. A maioria dos pêlos é então removida mecanicamente, inicialmente com uma máquina e, em seguida, à mão usando uma faca cega, um processo conhecido como *scudding*.
- Desencalagem: este processo tem como objetivo a remoção da cal e a redução do valor de pH.
- Purga: é um processo de limpeza da estrutura fibrosa por ação enzimática, ou seja, as enzimas provocam uma degradação parcial das proteínas, que não são o colagénio, relaxando a estrutura da pele e eliminando restos de epiderme, pêlo e gorduras.
- Piquelagem: pode ser considerada um complemento da desencalagem e a interrupção do efeito enzimático da purga, preparando a pele para a penetração do agente de curtume.
- Curtume: é a operação que confere à pele um carácter imputrescível e as propriedades adequadas à sua posterior utilização, em que o agente curtiente reage com o colagénio da pele de forma a provocar uma estabilização irreversível. O sulfato de crómio (III) ( $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]_2(\text{SO}_4)_3$ ) tem sido considerado como o agente de curtimento mais eficiente e eficaz. As peles curtidas ao crómio apresentam a cor azul, e denominam-se de *wet-blue*. O curtimento vegetal utiliza taninos (uma classe de substâncias químicas adstringentes polifenólicas), que ocorrem naturalmente na casca e nas folhas de muitas plantas. Os taninos ligam-se às proteínas de colagénio no couro, revestindo-as e tornando-as menos solúveis em água e mais resistentes ao ataque bacteriano. O processo também faz com que a pele se torne mais flexível. Em seguida, as peles tratadas são esticadas em molduras e imersas durante várias semanas em tanques com concentrações crescentes de tanino. O couro vegetal não é muito flexível e é usado para bagagem, móveis, calçados, cintos e outros acessórios de vestuário.

- Escorrimento: é uma operação mecânica realizada, após as peles serem descarregadas do fulão, que visa remover o excesso de água dos couros, em máquinas de rolos com feltros.
- Divisão e rebaixamento: estas operações são de carácter mecânico, conferindo ao couro as dimensões adequadas e uniformidade; na divisão, o couro é dividido em duas camadas, uma interior e de menor valor (croute), e uma exterior onde se encontra a flor da pele, que é a zona mais nobre; o rebaixamento confere à camada exterior uma espessura uniforme ao longo da pele pelo desgaste realizado por um rolo de lâminas no lado da carne.

A fase de recurtume inclui as operações em meio aquoso, em que o couro adquire as características pretendidas, tais como a cor, textura e brilho. Esta fase subdivide-se da seguinte forma:

- Neutralização: é o processo de eliminação de ácidos livres existentes nos couros provenientes do curtume mineral ou formados durante o armazenamento.
- Recurtume: confere uma estabilização adicional ao couro pela utilização de agentes de curtume ou taninos vegetais e/ou sintéticos.
- Tingimento: tem por finalidade dar a cor desejada ao couro, com corantes apropriados, não só na superfície, mas também em toda a sua espessura.
- Engorduramento: incorpora gorduras no couro, de forma a obter a lubrificação da mesma, para conferir maleabilidade, textura e flexibilidade ao mesmo tempo que lhe confere também resistência mecânica ao rasgo e à rotura.
- Escorrimento e alisamento: estas operações devem ser seguidas de um repouso do couro, depois de retiradas do fulão, em paletes para que parte da água em excesso seja removida do couro de forma natural, ajudando assim a fixação dos produtos aplicados nas operações anteriores; estas operações são de carácter mecânico, realizadas em máquinas apropriadas, de forma a atenuar os defeitos e irregularidades do couro, preparando-o para a secagem propriamente dita.
- Secagem: o couro é preparado para as etapas seguintes de acabamento: primeiro as peles são secas em máquinas de vácuo e depois seguem para uma secagem natural ao ar ou então em estufas (processo de secagem mais acelerado).
- Aparação, lixagem e prensagem: são operações mecânicas que dão melhor aspeto às peles, preparando-as para as posteriores operações de acabamento, tais como aplicações de padrões, gravados, serigrafias, etc. (Avenida 2019).

- Acabamento: nesta atividade, as peles são submetidas a várias operações mecânicas de forma a conferir as propriedades finais desejadas e a eliminar defeitos ainda existentes.
- Amaciamento: nesta operação, as peles são amaciadas e/ou batidas para obterem maleabilidade, uma vez que ficam mais rígidas depois da secagem.

Na figura seguinte, apresenta-se um fluxograma abreviado com o processo produtivo do couro.

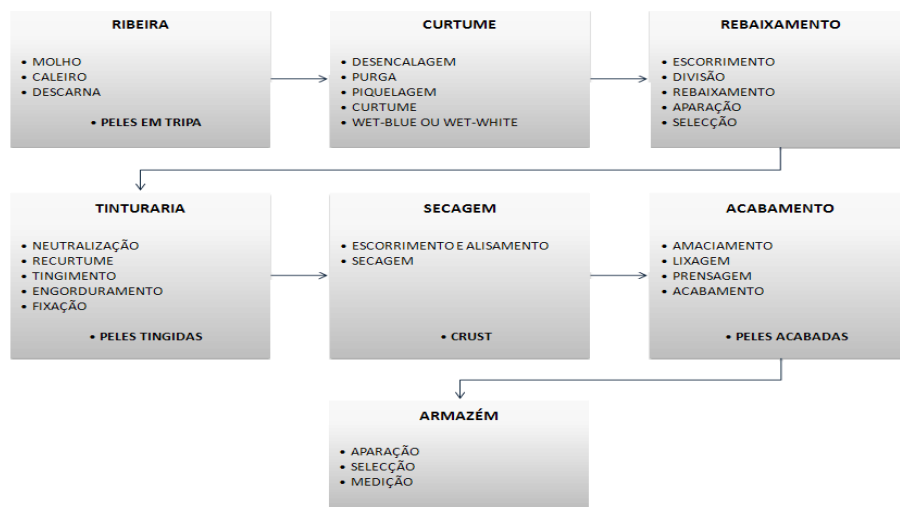


Figura 4.1 - Fluxograma do processo produtivo do couro (Avenida 2019)

## 4.2 ACV DA PRODUÇÃO DE COURO

A pesquisa da informação disponível em relação ao inventário de ciclo de vida (ICV) do processo de produção de couro revelou que a base de dados disponível para este trabalho (Ecoinvent v3.3) é omissa em relação a este produto. Contudo a pesquisa em <https://www.gabi-software.com/international/databases/> mostrou a existência de informação, mas a inexistência de licença de utilização inviabilizou o uso desta base de dados.

Nestas circunstâncias, e após uma revisão da literatura e usando a informação disponível, foi desenvolvido um procedimento para a AICV do processo de produção do couro.

O trabalho realizado (Milã i Canals et al. 2002) determinou para o processo de curtimenta de couro com sais de crómio em estudo uma pegada de carbono (GWP<sub>100</sub>) de 19,8 kg CO<sub>2</sub>-eq/ kg. O grupo DANI em Itália (DANI 2012) avaliou o impacto da produção de 1 m<sup>2</sup> de



couro acabado de bovino, tendo determinado que o processo que inclui a agricultura, a criação e a salga da pele apresenta uma pegada de carbono de ( $GWP_{100}$ ) de 47,75 kg CO<sub>2</sub>-eq/ m<sup>2</sup> e que o processo de curtume e o seu transporte atinge um valor de 6,93 kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>. Segundo o estudo de (Daddi et al. 2015) o processo de curtimenta do couro com sais de crómio tem uma pegada de carbono ( $GWP_{100}$ ) de 14,2 kg CO<sub>2</sub>-eq/ m<sup>2</sup> e o processo de curtimenta com taninos vegetais atinge os 16,6 kg CO<sub>2</sub>-eq/ m<sup>2</sup>.

Em 2017, um grupo de investigadores (Daddi, Nucci, and Iraldo 2017) avaliou o impacto de iniciativas de simbiose (por exemplo, sistema de recuperação de lamas, instalações de recuperação do crómio e sistema de recuperação coletiva das aparas e raspas) comparando com a não aplicação, tendo concluído que estas iniciativas de simbiose permitem reduzir o impacto ( $GWP_{100}$ ) de 19,64 para 15,34 kg CO<sub>2</sub>-eq/ m<sup>2</sup>. No mesmo ano, (Laurenti et al. 2017) determinou para um processo de curtume do couro com sais de crómio um impacto ( $GWP_{100}$ ) de 12 kg CO<sub>2</sub>-eq/ m<sup>2</sup>. Mais recentemente, (Kiliç et al. 2018) avaliaram a pegada de carbono, de uma empresa de curtume turca, tendo determinado para o processo em estudo um valor de impacto de 28,4 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg. Neste estudo identificaram como *hotspots* do processo de curtume as emissões associadas aos resíduos sólidos e águas residuais e ao consumo de gás natural, tendo concluído que a pegada de carbono poderá ser diminuída pela redução dos resíduos produzidos e a melhoria da eficiência energética do processo

Em 2009 (Joseph and Nithya 2009) realizaram um estudo em que apresentaram os fluxos de materiais do ciclo de vida do couro, mas sem apresentar quaisquer resultados AICV conclusivos sobre o mesmo.

Em 2011 foi desenvolvido por Notarnicola e colaboradores um estudo de Avaliação de Ciclo de Vida do processo de curtimenta da pele de bovino, em Itália e Espanha, no sentido de comparar o perfil ambiental dos sistemas de fabrico do couro nos dois países (Notarnicola et al. 2011). O estudo refere-se a ACV (Finnveden et al. 2009), integrada no programa designado "*Cicle Pell: Industrial ecology in the animal-to-leather chain*", financiado pela UE no âmbito do programa comunitário *Interreg III*, operação do quadro regional "Ecosind". O Ecosind tinha como objetivo principal definir a base para a implementação de uma nova estratégia de desenvolvimento sustentável nas regiões do Sul da Europa (Catalunha, Abruzzo, Toscana, Peloponeso). Neste estudo o processo de curtume em Espanha apresentou um impacto ( $GWP_{100}$ ) de 7,17 kg CO<sub>2</sub>-eq/ kg e em Itália 8,30 kg CO<sub>2</sub>-eq/ kg.

Após análise da literatura referida, optou-se pela utilização deste último estudo (Notarnicola et al. 2011) como base para desenvolvimento da ACV do processo do couro. Tendo-se

optado pela utilização dos dados relativos ao processo de curtimento desenvolvido em Espanha. Esta opção é justificada pela disponibilidade de entradas no Ecoinvent e pela proximidade geográfica a Portugal.

### 4.3 ANÁLISE DE CICLO DE VIDA

#### 4.3.1 OBJETIVO E ÂMBITO

Para o este caso de estudo, foi considerado o âmbito do estudo como incluindo as etapas mencionadas anteriormente desde a conservação e transporte da pele e incluindo naturalmente a transformação da pele, mas não os processos anteriores relativos à produção e abate animal, ocasionando assim que as fronteiras do sistema encontram-se definidas como apresentado na Figura 4.2.

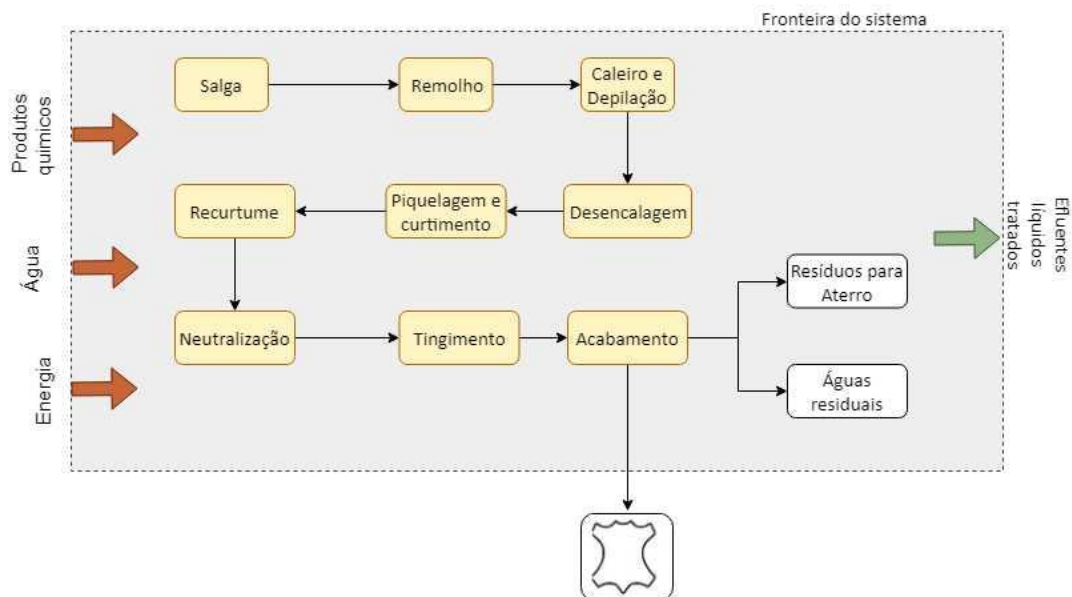


Figura 4.2 - Fronteira do processo produtivo do couro

A unidade funcional considerada neste estudo, tendo por base a bibliografia de suporte usada, foi de 1000kg de pele salgada para produção de 200kg de couro acabado. Para além do processo de curtime também foi considerado o processo de salga da pele.

#### 4.3.2 INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA

A (Tabela 4.1) e (Tabela 4.2) apresenta o inventário primário de produtos químicos e quantidades utilizadas no processo em estudo, assim como as entradas do Ecoinvent utilizadas na análise como substitutos, dada a indisponibilidade de informação no Ecoinvent para determinados produtos químicos.

O processo produtivo de couro descrito na Figura 4.2. apresenta um inventário de insumos ou entradas (produtos químicos) necessárias às diferentes fases do processo, de curtimento (salga, remolho, caleiro/ depilação, desencalagem, piquelagem/curtimento, recurtume, neutralização, tingimento/ engorduramento/ recurtume e acabamento) dados na Tabela 4.1, incluindo o transporte, o abastecimento de água, o tratamento de águas residuais e o encaminhamento de resíduos para aterro conforme a Tabela 4.2.

Tabela 4.1 - Componentes utilizados no processo produtivo do couro para a produção de 200kg de couro curtido ao crómio (Notarnicola et al. 2011)

Etapas do processo	Produtos químicos	Quantidades [kg]	Actividade . Ecoinvent
<b>Salga</b>	Cloreto de sódio	5,70E+02	"market for sodium chloride, powder"
	Agente molhante	4,00E+00	"market for fatty alcohol"
<b>Remolho</b>	Carbonato de sódio	5,00E+00	"soda production, solvay process"
	Hidrossulfeto de sódio	2,50E+00	"sodium hydrosulfide production"
	Hidróxido de sódio (50%)	1,00E+00	"sodium hydroxide to generic market for neutralising agent"
<b>Caleiro e Depilação</b>	Poliálcool	2,00E+00	"market for polyol"
	Polifosfato	5,00E+00	"market for sodium triphosphate"
	Hidrossulfeto de sódio	7,50E+00	"sodium hydrosulfide production"
	Sulfeto de sódio	4,50E+00	"market for sodium sulfide"
	Hidróxido de sódio (50%)	3,00E+00	"sodium hydroxide to generic market for neutralising agent"
	Lime	4,35E+01	"lime production, hydrated, packed"
<b>Desencalagem</b>	Sulfato de amónio	3,50E+00	" market for ammonium sulfate, as N"
	Ácido láctico	2,50E+01	"market for lactic acid"
	Tensioativos	7,00E-01	"market for EDTA, ethylenediaminetetraacetic acid"
	Agente molhante	3,50E+00	"market for fatty alcohol"
<b>Piquelagem e Curtimento</b>	Cloreto de sódio	3,46E+01	"market for sodium chloride, powder"
	Ácido fórmico	8,40E-01	"market for formic acid"
	Ácido sulfúrico	1,26E+00	"market for sulfuric acid"
	Crómio	6,67E+01	"chromium oxide, flakes"
	Sulfato de sódio	9,22E+00	"sodium sulfate, anhydrite"
	Base	1,38E+01	"sodium hydroxide to generic market for neutralising agent"

<b>Recurtume</b>	Glutaraldeido	1,63E+00	"market for acetaldehyde"
	Crómio	3,00E+01	"chromium oxide, flakes"
	Sulfato de sódio	4,08E+00	"sodium sulfate, anhydrite"
	Ácido fórmico	6,00E-02	"market for formic acid"
	Agentes desengordurantes	1,20E-01	"ethylene glycol"
<b>Neutralização</b>	Compostos aromáticos	4,89E+00	"market for naphthalene sulfonic acid"
	Sais neutralizantes	1,22E+00	"market for ammonia, liquid"
<b>Tingimento,</b>	Ácido fórmico	1,71E+01	"market for formic acid"
	Taninos fenólicos	9,78E+00	"Phenolic resin" 95% + "tap water" 5%
	Taninos vegetais	9,78E+00	"Phenolic resin" 95% + "tap water" 5%
	Corantes aniónicos	7,34E+00	"market for aniline"
	Resinas	7,34E+00	"market for melamine formaldehyde resin"
<b>Acabamento</b>	Anilina	1,34E+00	"market for aniline"
	Caseína	1,34E+00	"acrylic binder" 21% + "tap water" 79%
	Cera	9,00E-01	"paraffin production"
	Polímero acrílico	6,72E+00	"market for acrylic binder, without water, in 34%"
	Tingimento	6,70E-01	"market for aniline" 2,5% + "market for ethyl acetate" 7,5%+ "market for fatty acid" 7,5% + "market for isopropanol" 3% + "market for xylene" 7,5% + "market for ethanol, without water, in 99.7% solution state" 48%+ "market for phenoxy-compound" 3% + "market for ethoxylated alcohol (AE7)" 21%
	Laca	4,39E+00	"acrylic binder" 34% + "tap water" 66%

Na Tabela 4.2 são apresentadas com maior especificidade as entradas e saídas do sistema produtivo do curtume do couro, incluindo a salga.

Tabela 4.2 - Principais entradas e saídas do sistema produtivo do curtume para a produção de 200kg de couro curtido ao crómio

<b>Entradas</b>	<b>Unidades</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Entradas (Ecoinvent)</b>
Transporte	tkm	1,25E+02	"transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6"
Energia térmica	MJ	1,99E+03	"market group for heat, district or industrial, natural gas"
Energia elétrica	kWh	2,84E+02	"market for electricity, low voltage"
Água	L	2,14E+04	"tap water"
<b>Saídas</b>	<b>Unidades</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Entradas (Ecoinvent)</b>
Águas residuais	L	2,09E+04	"market for wastewater, average"
Pelo	kg	2,11E+02	"municipal solid waste"
Acabamento	kg	2,70E+02	Valorização

Aparas não curtidas	kg	2,50E+01	Valorização
Raspas	kg	9,29E+01	Valorização
Aparas curtidas	kg	2,50E+00	Valorização

A salga é um dos processos mais utilizados na preservação da pele crua do animal para minimizar o ataque pelos microrganismos de que resultaria a sua degradação. Dado que, a referência de suporte não indica a quantidade de sal utilizada no processo de conservação da pele, este valor foi definido com base na bibliografia existente que define que é utilizada uma quantidade de 40-50% de sal relativamente à pele (Leather-dictionary n.d.). Este processo também inclui o transporte da pele entre o matadouro e a empresa de curtumes, a energia elétrica, as águas residuais e os resíduos sólidos. (Notarnicola et al. 2011).

A distância média para transportar a pele crua desde o matadouro até ao curtume corresponde a cerca de 110 km. A energia térmica é usada principalmente para aquecimento de água e a energia elétrica para funcionamento dos equipamentos produtivos. O consumo de água é de 21,4 m<sup>3</sup> e está associado, maioritariamente, às primeiras fases do processo (realizadas a húmido no fulão).

## 4.4 ACV DO COURO

### 4.4.1 PROCEDIMENTO

Na Avaliação de Ciclo de Vida é importante ter em conta, em termos de interpretação de resultados, as aproximações efetuadas, nomeadamente a utilização de materiais substitutos que acredita-se agregar o mesmo valor para o produto final.

Obtidos os dados primários para a realização da análise baseados no estudo bibliográfico, estes pode ser lançados na aplicação que suporta a modelização ACV do sistema de produto.

A aplicação utilizada para modelizar ACV do sistema produtivo do couro foi o OpenLCA, de uso gratuito, de fácil aprendizagem. Uma vez localizados na base de dados Ecoinvent 3.3, os data sets (LCI) são exportados e em seguida importados para OpenLCA dando origem à base dados do sistema de produto, tal como se pode observar na Figura 4.3.

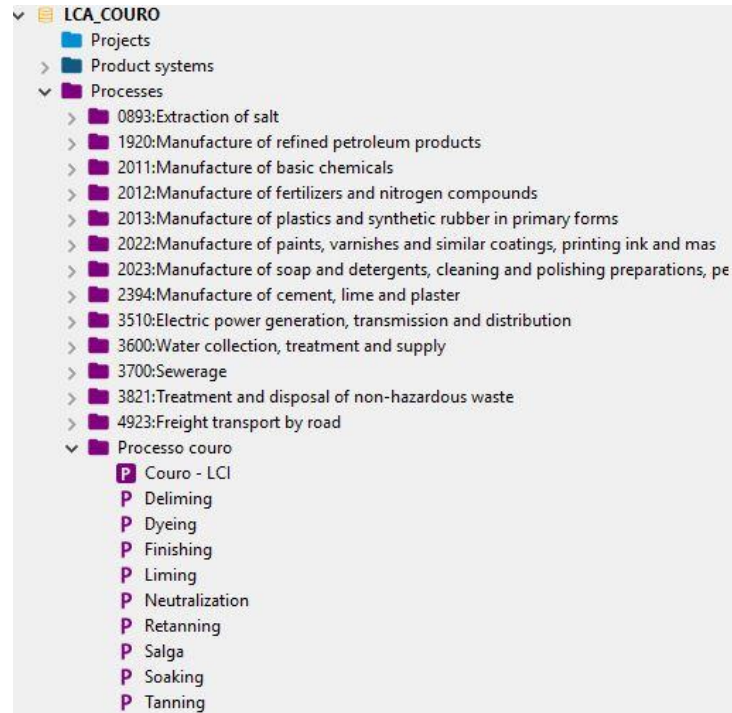


Figura 4.3 - Base dados em OpenLCA

Concluída a base dados, dá-se início à etapa de “desenhar” o processo produtivo em OpenLCA, definindo os *inputs* e *outputs* para cada um dos processos.

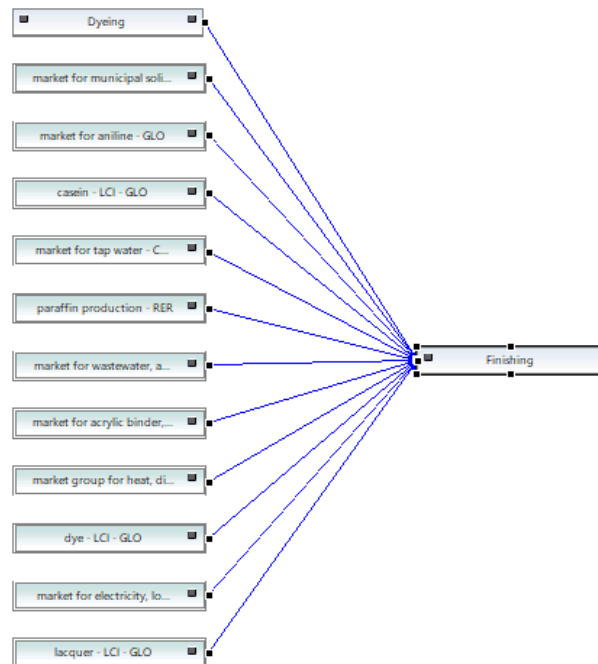


Figura 4.4 - Modelo gráfico do sistema de produto relativo ao couro

Definidos os *inputs* que serão relevantes para a análise, o próximo passo é fazer o cálculo dos impactes.

#### 4.4.2 RESULTADOS

Os resultados da Avaliação de Ciclo de Vida do couro estão quantificados na Tabela 4.3, obtidos a partir do estudo do processo produtivo relativo a 1 kg de couro curtido ao crómio.

Tabela 4.3 - Resultados da AICV referentes ao processo produtivo do couro curtido ao crómio

<b>Categoria de impacte</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
Alterações climáticas	kg CO <sub>2</sub> -eq/kg	8,50E+00
Pegada ecológica	m <sup>2</sup> a/kg	2,79E-01
Acidificação	kg SO <sub>2</sub> -eq/kg	4,12E-02
Eutrofização	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq/kg	1,38E-02

Fazendo uma análise comparativa entre os resultados obtidos, apresentados na tabela anterior e o resultado do artigo base (Notarnicola et al. 2011), chega-se à conclusão de que os valores obtidos são bastante próximos. O valor do indicador de impacte das alterações climáticas obtido no estudo foi da ordem dos 8,5 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg, ao passo que o valor referido no artigo é de 7,17 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg. O artigo também faz referência à categoria de impacte acidificação que dá um total de 0,11 kg SO<sub>2</sub>-eq/kg e no estudo o valor obtido foi cerca de 0,04 kg SO<sub>2</sub>-eq/kg.

Ao nível dos estudos do couro o intervalo de resultados dos estudos encontrados é bastante discrepante, uma vez que se situa entre valores de 7,17 kgCO<sub>2</sub>-eq/kg (Notarnicola et al. 2011) até valores de 19,8 kgCO<sub>2</sub>-eq/kg (Milã i Canals et al. 2002).





## 5 CASO DE ESTUDO: AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA APLICADA AO FABRICO DE CALÇADO

A aplicação da ferramenta de Avaliação Ciclo de Vida (ACV) ao processo produtivo de sapatos deve permitir caracterizar e quantificar os potenciais impactes ambientais causados pelos diferentes processos desde a produção e transformação de componentes, até ao produto acabado (par de sapatos embalado) no mercado de distribuição.

A aplicação de ACV tem interesse acrescido caso possa ser usado numa perspetiva comparada ou seja envolvendo diferentes cenários alternativos relativos às matérias-primas utilizadas incluindo o cumprimento de normas e metas europeias.

Neste capítulo, a organização do texto seguirá a base estrutural e metodológica estabelecida pelas normas ISO 14040:2008 e ISO 14044:2006.

### 5.1 MODELO DE SISTEMA DE PRODUTO EM ESTUDO

O modelo de sistema de produto utilizado para a realização deste estudo de ACV é um par de sapatos de trabalho. Trata-se de um modelo desenvolvido para utilizadores do sexo masculino, tendo o tamanho 42, projetado e desenvolvido pela empresa AMF Lda. localizada em Guimarães. A AMF é uma empresa portuguesa de calçado que, numa perspetiva de longo prazo, concebe, desenvolve, fabrica e comercializa produtos de calçado diferenciados de proteção dos pés, tendo em 2013 conquistado o estatuto de empresa nº1 de fabrico de calçado de segurança em Portugal.

A AMF é especializada no desenvolvimento, fabrico e comercialização de calçado técnico de alta qualidade, desenvolvido para a proteção dos pés dos trabalhadores, com *design*, conforto e qualidade (AMF 2019).

Na Figura 5.1 é possível observar-se o esquema do modelo de sapato de segurança em estudo.

O modelo é constituído por uma parte superior, designada por “gáspea”, onde se encontra a biqueira de proteção, os atacadores e as aplicações (suporte de calcanhar e etiqueta), duas palmilhas, uma de montagem e outra de acabamento, e, finalmente, por uma sola (ver Figura 5.1).

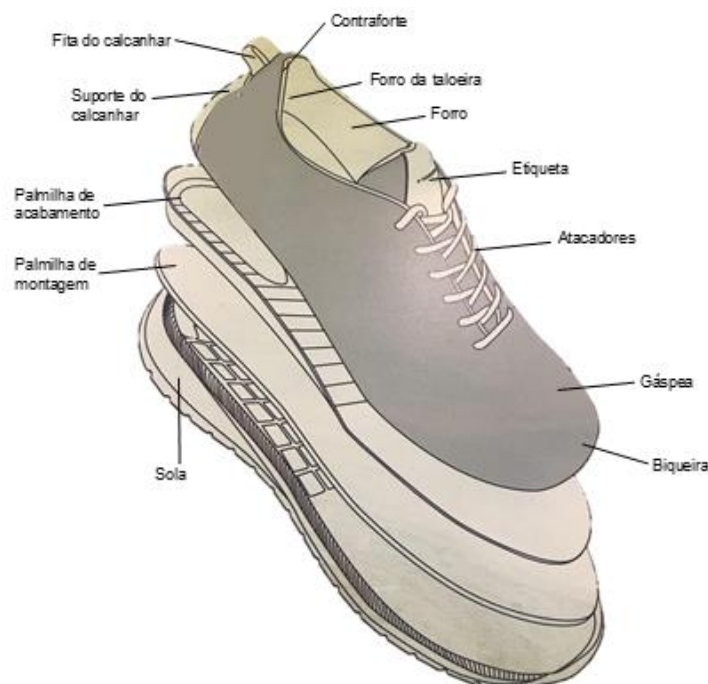


Figura 5.1 - Caracterização dos vários componentes do modelo de sapatos em estudo

## 5.2 PROCESSO PRODUTIVO

A produção de sapatos envolve um vasto conjunto de materiais diferenciados que são sujeitos a um diversificado conjunto de operações de transformação específicos, permitindo assim que, em Portugal, a indústria de calçado continue a reforçar a qualidade dos seus produtos ao nível de moda e do *design*, indo assim ao encontro das necessidades do mercado (Lopes and Martins 2015).

O processo produtivo/fabrico deste modelo de calçado engloba diversas fases, desde a sua conceção até à comercialização, sendo possível serem executados por mais de uma estrutura produtiva de fabrico de calçado.

No presente caso e tendo em atenção o modelo em estudo, a produção envolve a seleção de materiais apropriados aos diferentes componentes do calçado bem como de matérias-primas secundárias (adesivos, solventes, materiais de embalagem, etc.), um conjunto de processos sequenciais de transformação específica, envolvendo o manuseamento e verificação de conformidade no âmbito de postos de trabalho, sendo ainda de referir o consumo de água, eletricidade, ar comprimido e transporte.

### 5.2.1 FASES DO PROCESSO PRODUTIVO

As operações de transformação envolvidas no fabrico de sapatos são: corte, costura, montagem, acabamento e embalagem conforme a Figura 5.2.

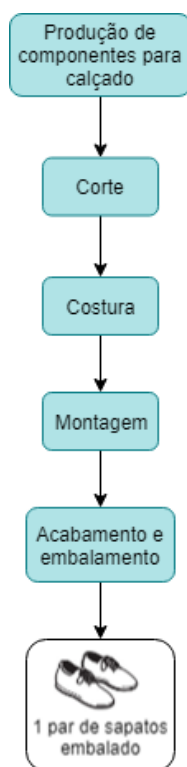


Figura 5.2 – Fases do processo produtivo do modelo de sapatos em estudo

#### 5.2.1.1 CORTE

O corte é a atividade que origina as peças a partir das diferentes matérias-primas, podendo ser efetuado através de corte manual com facas, de corte mecânico recorrendo a moldes de aço e prensas com os balancés e ainda de corte automático do através de jato de água, faca automática, laser ou ar comprimido. De um modo geral, no corte automático existe um maior aproveitamento da matéria-prima, pois o controlo da área cortada, sendo realizado por computador, pode ser otimizada.

No caso de estudo, o corte foi utilizada uma máquina de corte automática CNC sobre uma mesa sob vácuo para fixar a peça desenrolada de tecido e evitar que se desloque em resultado da ação da faca de corte, a partir de formas previamente desenhadas e armazenadas em computador, que depois são replicadas e projetadas manualmente sobre a peça a cortar.

O corte é a etapa que gera a maior parte dos resíduos derivados da fabricação de calçado, sendo composto pelos restos de matérias-primas.

#### 5.2.1.2 COSTURA

Dependendo da natureza, textura e funcionalidade dos materiais utilizados, a periferia das peças cortadas pode ter de ser sujeita a desgaste para reduzir a espessura numa operação denominada de facear.

A costura consiste em unir as diferentes peças, primeiro por adesão com cola e, posteriormente, por união com linhas aplicadas através da máquina numa operação chamada pesponto. A costura pode ser realizada com diversas máquinas e com diversas operações, dependendo do produto final em causa. Dobras, picotes e viras também são feitos nesta etapa, da qual as peças saem preparadas e prontas para a montagem. Após a costura alguns componentes podem ter de ser sujeitos a conformação com calor.

No caso do modelo em estudo, primeiro é feita a união das etiquetas, transferes, etc, através de uma prensa com calor.

Restos de linhas e de adesivos, pequenos pedaços de materiais são os resíduos mais comuns neste processo de costura.

#### 5.2.1.3 MONTAGEM

Na etapa da montagem o corte começa a ganhar forma de sapato, através da assemblagem dos materiais cortados e costurados anteriormente e dos restantes materiais, como os componentes da sola, palmilha, contraforte, biqueira, entre outros.

No caso do modelo em estudo, a gáspea é unida à palmilha de montagem através de uma operação mecânica de coser denominada *strobel*. Depois, cada sapato recebe uma forma que é ajustada ao respetivo modelo, tamanho e orientação, sendo que acompanha o sapato em todos os processos seguintes, nomeadamente de conformação com calor.

Os principais resíduos sólidos da montagem são: restos de pregos e tachas, poeira, pincéis sujos com produtos químicos e restos de solventes, tintas e produtos químicos diversos (Lopes and Martins 2015).

#### 5.2.1.4 ACABAMENTO E EMBALAMENTO







Esta fase varia muito dependendo do modelo de calçado, contudo, de um modo geral, são realizadas operações para deixar o calçado com boa aparência: limpeza ou polimento mecânico através de escovas ou cera e aplicação de tintas, por aspersões à pistola em cabines, podendo ser utilizados materiais sólidos, semissólidos e líquidos (solventes orgânicos e/ou água dependendo do efeito pretendido).














Por fim, existe um controlo de qualidade, após o qual, o calçado em conformidade é protegido contra deformação, e em conjunto com a folha de informação e etiqueta, é embalado numa caixa de cartão, e enviado para armazém para depois ser enviado para o mercado. Em caso de não conformidade, o calçado volta para a linha de fabricação (Lopes and Martins 2015).

#### 5.2.2 MATERIAIS E COMPONENTES DO CALÇADO

Na Tabela 5.1 estão representados os materiais e componentes usados na produção do par de sapatos do modelo em estudo.

Tabela 5.1 – Componentes usados no fabrico do modelo em estudo

Processo produtivo	Materiais/ Componentes	Imagens descritivas
<b>Corte</b>	Forro da taloeira	
	Forro	
	Gáspea + Pala	
	Espuma (pala, calcanhar e gola)	
	Entretela	
	Contraforte	

	Palmilha de montagem	
<b>Costura</b>	Etiqueta indicação tamanho	
	Fita calcanhar	
	Atacadores	
	Aplicações (suporte calcanhar e etiqueta)	
	Biqueira	
<b>Montagem</b>	Sola	
<b>Acabamento e Embalamento</b>	Palmilha de acabamento	
	Papel enchimento	
	Papel embrulho	
	Folha informativa	
	Etiqueta	
	Caixa	

### 5.2.3 UTILIDADES DO PROCESSO PRODUTIVO

As utilidades do processo produtivo dizem respeito ao conjunto de facilidades que a instalação deve dispor para que o processo produtivo se desenrole normalmente: eletricidade, ar comprimido, ventilação, transporte interno, água potável, recolha de resíduos e drenagem de água residuais. O armazenamento de matérias-primas e de produto acabado é efetuado em espaços apropriados da instalação fabril.

O processo produtivo do fabrico de sapatos faz uso intensivo de energia elétrica nas máquinas de trabalho mecânico e de transporte interno, mas também num conjunto de equipamentos de produção de calor (conformação, secagem, ativação de colas, etc.).

O transporte de matérias-primas e produtos é efetuado por transporte rodoviário ligeiro (para pequenas distâncias), por transporte rodoviário pesado (nacional e internacional), e navio (grandes quantidades em distâncias intercontinentais).

### **5.3 DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE PRODUTO**

A finalidade do presente estudo consiste na avaliação comparada dos impactes ambientais associados ao processo de fabrico de um par de sapatos, Nº 42 para homem, modelo sapato de segurança.

#### *5.3.1 OBJETIVO E ÂMBITO*

O âmbito do estudo inclui os processos de produção e transporte dos diferentes materiais, os processos de transformação e montagem dos diferentes componentes em fábrica, a expedição e transporte até ao mercado, (*from cradle to gate*), de acordo com um procedimento análogo ao definido pela ISO 14040 (*from cradle to grave*). Assim o ciclo de vida deste sistema de produto, inclui a extração dos materiais em bruto da natureza, a transformação desses materiais em novos materiais e componentes, a montagem, embalagem e distribuição, mas excluindo todos os processos subsequentes, nomeadamente o uso e manutenção pelos consumidores e os processos de descarte em fim de vida correspondentes a reciclagem e/ou eliminação (Matos 2009).

#### *5.3.2 FRONTEIRAS*

As fronteiras do estudo definem os componentes processuais do processo produtivo bem como os fluxos de entrada e saída que devem ser incluídas na avaliação. Neste âmbito importa também conhecer os processos e fluxos que são excluídos dessa avaliação, tendo em conta algum critério.

A produção de sapatos em fábrica por um conjunto de processos, que vão desde a produção de matéria-prima, passando pela escolha de materiais, seguindo-se pela produção/montagem do sapato depois empacotamento e só depois é que chega ao mercado. Alguns dos processos requerem o uso de veículos para realizar deslocações.

Durante o desenvolvimento do trabalho, e em resultado da pesquisa de informação efetuada, foi necessário assumir informação adicional, nomeadamente em relação a processos de transformação de, por exemplo, de fio em tecido, a que arbitrariamente se

associou uma perda de material de 10%, e a distância média de transporte de cada um dos componentes. Esta situação foi assumida em vez de omitir o referido processo de transformação.

No âmbito do trabalho, foi ainda assumido que a infraestrutura fixa (construção onde decorrem as atividades, com uma duração estimada em 30 anos) e o equipamento (máquinas com uma duração estimada em 5 anos) contribuem marginalmente em termos de impacto ambiental, pelo que não foram considerados neste estudo.

### 5.3.3 CENÁRIOS

A AICV de um sistema de produto destina-se a determinar o respectivo desempenho ambiental sob a forma de indicadores. A interpretação de resultados passa também análise comparada desses indicadores, nomeadamente considerando outros materiais ou processos que possam ser utilizados em alternativa no mesmo sistema de produto e apresentar melhorias de desempenho, em ordem a possibilitar uma melhoria holística do sistema de produto. De acordo com a recomendação da ISO 14044, e para dar suporte a um estudo comparado, foram estabelecidos três cenários distintos, envolvendo a aplicação de materiais diferentes em componentes com funções semelhantes, para o mesmo sistema de produto (par de sapatos).

Com base na informação obtida para o modelo em estudo, foi determinado o impacto de ciclo de vida sob a denominação de Cenário Base. A partir deste cenário foram propostas duas situações alternativas considerando a utilização de alguns componentes diferenciadores ao nível da segurança (Cenário Alternativo A) e ao nível do conforto/durabilidade (Cenário Alternativo B) conforme a Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Diferentes cenários em estudo

<b>Cenários</b>	<b>Observações</b>
<b>Base</b>	Caso em estudo
<b>Alternativo A</b>	Materiais de referência no calçado de segurança tradicional
<b>Alternativo B</b>	Materiais clássicos de maior durabilidade



#### 5.3.4 FONTES DE INFORMAÇÃO

A qualidade de um estudo de ACV depende da qualidade da informação no qual este se baseia.

Tal como já foi referido, a informação primária necessária à realização deste trabalho foi obtida durante uma visita técnica através de medidas efetuadas localmente ao processo produtivo (tempos, potência dos equipamentos, carga) que incluiu a recolha de amostras (componentes e resíduos) para posterior pesagem e análise laboratorial no CTCP, no que respeita aos materiais usados, resíduos produzidos, energia utilizada. Um conjunto de dados adicional foi mais tarde recebido reportando outras informações, nomeadamente, logística, resíduos produzidos, eletricidade, água potável com referência a valores médios mensais durante um ano de registos.

A informação secundária necessária ao inventário de ciclo de vida foi obtida recorrendo à base de dados Ecoinvent V3.3 (2016), correspondente ao terceiro *update* da versão 3 desta base de dados, disponível a partir de agosto de 2016 (Ecoinvent 2019). Esta base de dados encontra-se acessível *online* sob uma licença de utilização para fins académicos detida pela Universidade de Aveiro, em <https://www.ecoinvent.org/> para a construção de um inventário, permitindo aceder aos diferentes *datasets* de ICV e AICV. Os processos da base de dados Ecoinvent usados neste trabalho obedecem ao modelo de sistema “*Allocation, cut-off by classification*”.

Alguma da informação disponibilizada pelo Ecoinvent tem especificidade em relação ao país de origem. Relativamente à informação geral disponibilizada nesta base de dados, foi efetuada uma seleção dos processos mais adequados, e verificado o âmbito de aplicação desses processos.

#### 5.4 INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA

A recolha de dados e todo o procedimento obedeceu às recomendações descritas na Norma ISO 14044. Os dados usados no relatório de apoio para a realização da ACV referem-se ao ano de 2018. Neste subcapítulo estão inventariados os fluxos de entrada e saída ao nível de cada uma das diferentes fases do processo produtivo do modelo em estudo, para cada um dos diferentes cenários estabelecidos, incluindo as facilidades utilizadas e as emissões para o ambiente produzidas.

## 5.4.1 MATERIAIS GERAIS E FACILIDADES

### 5.4.1.1 PRODUTOS QUÍMICOS

Os produtos químicos e quantidades utilizados durante o processo produtivo do modelo em estudo, estão apresentados na Tabela 5.3 tendo sido obtidos por estimativa a partir do consumo anual e da quantidade de pares de sapatos produzidos para o mesmo período.

Tabela 5.3 - Consumo de produtos químicos

Entradas	Quantidade [kg/par]
Resina de poliéster	4,88E-03
Adesivos COVs	1,55E-02
Acetona	3,40E-04
Butanona	3,15E-03
Acetato de etilo	7,20E-04
Tetrahidrofurano	1,50E-04
Outros (solventes)	1,48E-03

### 5.4.1.2 UTILIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O processo de fabrico do produto em estudo necessita da utilização de electricidade, nesse sentido, foi utilizado o processo de produção de electricidade da rede nacional portuguesa de energia da base dados Ecoinvent.

A produção e a distribuição da energia eléctrica, da rede nacional, consumida na produção de um par de sapatos tem como referência o mix energético de Portugal, do ano de 2012. O mix energético corresponde às contribuições das várias fontes de produção de energias para produção total, sendo que a contribuição de cada fonte corresponde à razão entre o volume anual de produção de energia dessa fonte e volume total de energia produzido. A distribuição de electricidade acarreta perdas. Para o efeito deste trabalho foi considerado apropriado o processo Ecoinvent referente a mercado de electricidade em Portugal que inclui o mix de produção e a distribuição de electricidade em baixa tensão

Tabela 5.4 - Energia elétrica usada para a produção de um par de sapatos

Entradas	Quantidade [kWh/par]	Entradasecoinvent
Eletricidade	1,11E+00	"market for electricity, low voltage"

#### 5.4.1.3 TRANSPORTE

O transporte de matérias primas e produtos entre os diferentes subsistemas é efetuado por transporte rodoviário em camião com uma capacidade útil de 16 toneladas. (processo: *market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6-GLO*). Nos processos correspondentes aos transportes rodoviários foram selecionados os padrões de emissão Euro 5.

Neste estudo foi considerado o transporte do calçado como pares de sapatos embalado e distribuído, desde a instalação de fabrico do calçado, até ao local destino de venda do produto. Tendo sido consideradas as viagens de ida e volta, foi apurada uma distância média de transporte 2859,8 km para 18 países da Europa, incluindo Portugal, calculada por ponderação da distância (ida e volta) pelo volume de vendas e a massa de cada par de sapatos, em cada um dos cenários.

#### 5.4.1.4 EMISSÕES

Os aspetos ambientais diretos (emissões gasosas, efluentes líquidos e resíduos) considerados neste trabalho são os mesmos para os diferentes cenários, bem como o que respeita à utilização de facilidades.

#### 5.4.1.5 GESTÃO DE RESÍDUOS

Neste estudo considera-se que os resíduos de papel, plástico e metais (ferrosos e não ferrosos) são enviados para uma unidade de triagem com vista a valorização material por reciclagem.

Uma estação de triagem é o local onde são realizadas as operações de separação de resíduos provenientes de recolha seletiva, dos ecocentros e da recolha porta-a-porta, nomeadamente os resíduos de plástico, metais e papel/cartão. O vidro é o único material que segue diretamente para reciclagem (Resinorte 2019).

Na base de dados Ecoinvent não existe um processo relativo de triagem de plástico e metal, assim admitiu-se como representativos os dados de inventário de resíduos de cartão (como: *treatment of waste paperboard, sorting plant- CH*). Neste processo estão incluídos todos os consumos, emissões e desgaste de infraestruturas necessárias para o processo de triagem.

Os resíduos indiferenciados são enviados para aterro municipal "*treatment of municipal solid waste, sanitary landfill-CH*" e os resíduos de confeção e acabamento para aterro industrial (como "*treatment of waste plastic, mixture, sanitary landfill*"). Os resíduos de solventes e substâncias perigosas são enviados para incineração "*treatment of spent solvent mixture, hazardous waste incineration-CH*".

Tabela 5.5 - Resíduos resultantes da produção do modelo em estudo

Saídas	Quantidade [kg/par]	Entradas ecoinvent
Resíduos urbanos	1,00E-01	"treatment of municipal solid waste, sanitary landfill"
Resíduos de confeção e acabamento	2,24E-02	"treatment of waste plastic, mixture, sanitary landfill"
Resíduos de cartão		
Resíduos de plástico		
Resíduos de metal	8,66E-02	"treatment of waste paperboard, sorting plant"
Metais ferrosos		
Resíduos solventes e mistura de solventes		
Resíduos de embalagem contendo ou contaminadas por resíduos de substâncias perigosas	3,66E-03	"treatment of spent solvent mixture, hazardous waste incineration"
Resíduos de materiais filtrantes, panos limpeza contaminados por substâncias perigosas		

O transporte de resíduos urbanos indiferenciados é realizado por veículos de recolha hermética e com compactação a partir de contentores de resíduos urbanos localizados junto à instalação fabril (processo: *market for municipal waste collection service by 21 metric ton lorry-GLO*) e transporte dos restantes resíduos é efetuado em camião com capacidade útil de 3,5 toneladas (processo: *transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6-GLO*). Os dados disponíveis respeitam ao ano de 2018.

Tabela 5.6 - Transporte dos resíduos

Entradas	Quantidade [tkm/par]	Entradas ecoinvent
Transporte de resíduos	1,05E-03	"transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6"
	4,00E-03	"municipal waste collection service by 21 metric ton lorry"

#### 5.4.1.6 UTILIZAÇÃO DE ÁGUA E DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS

No processo de produção de calçado, a utilização de água respeita a água potável utilizada no âmbito das instalações sanitárias da instalação fabril. Na tabela abaixo são apresentadas as quantidades de água consumidas ao longo deste processo e a entrada usada na modelação.

Tabela 5.7 - Consumo de água

Entrada	Quantidade [dm <sup>3</sup> /par]	Entrada ecoinvent
Água potável	2,80E-01	"market for tap water"

A água residual resultante corresponde a cerca de 80% da água potável utilizada sendo descarregada na rede municipal de saneamento; o tratamento dos efluentes é feito numa Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR). Na tabela seguinte pode ser observada a quantidade de água que é enviada para ETAR, bem como a entrada utilizada na modelação do tratamento de efluentes resultantes do processo.

Tabela 5.8 - Produção de águas residuais

Saída	Quantidade [m <sup>3</sup> /par]	Entradas ecoinvent
Águas residuais	2,230E-04	"market for wastewater, from residence"

## 5.5 CENÁRIO BASE

O caso de estudo representado de acordo com as considerações e os materiais atrás apresentados denomina-se Cenário Base, ou seja, tendo em consideração os limites pré-

definidos, os fluxos de entrada e saídas assim como os subsistemas considerados, como está ilustrado na Figura 5.3.

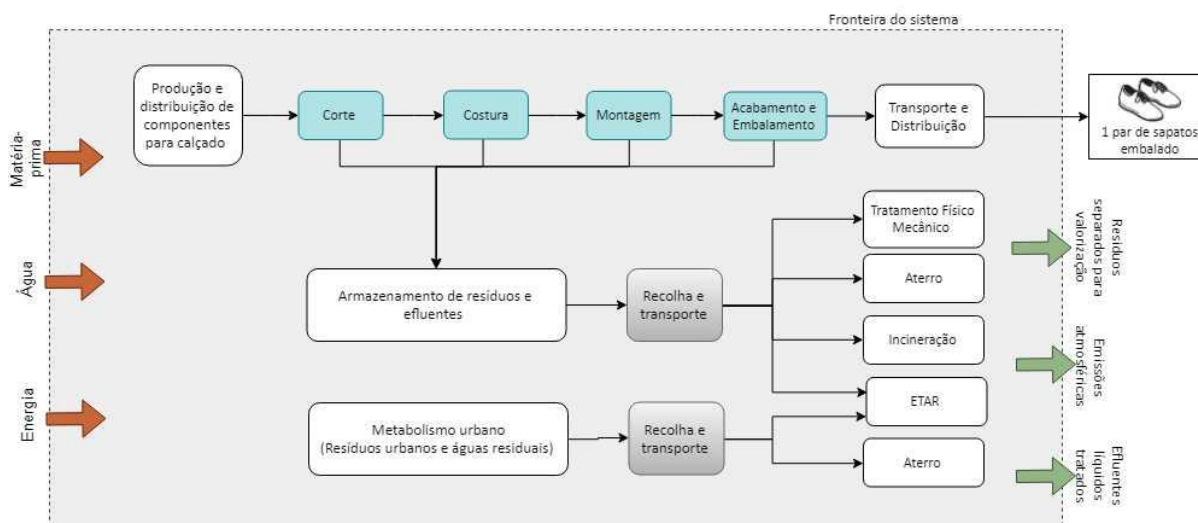


Figura 5.3 – Processo produtivo e fronteira do Cenário Base

De acordo com a figura anterior, na produção da unidade funcional (par de sapatos), são considerados os processos de produção de componentes para calçado, num total de 1.0416 kg por par de sapatos.

Nas operações ambientais que decorrem durante o processo produtivo, considera-se no tratamento físico-químico (triagem de resíduos sólidos) o valor de 0,0866 kg de resíduos sólidos. Para aterro são considerados 0,0224 kg resíduos de confeção destinados a valorização material, 0,1001kg de resíduos equiparados a urbanos destinados a eliminação em aterro de resíduos não perigosos e para a incineração são enviados resíduos perigosos num total de cerca de 0,0037 kg. Por fim, é ainda admitido o tratamento de águas residuais em ETAR, correspondendo a 0,0003 m<sup>3</sup>.

O inventário primário para a produção do sistema de produto, refere-se às quantidades efetivas dos diferentes materiais utilizados no processo produtivo para a produção dos componentes necessários, incluindo a montagem, acabamento, embalagem e distribuição do modelo em estudo, conforme a Tabela 5.9. Relativamente ao transporte dos componentes de calçado foi considerado o transporte desde o local de produção (fornecedores) até à empresa de produção da UF. O consumo de utilidades (colas, energia elétrica, água, etc.) aparece descrito na secção 5.4.

Tabela 5.9 – Componentes, composição e quantidades necessários à produção do modelo selecionado, tamanho 42

<b>Materiais</b>	<b>Composição</b>	<b>Quantidade [kg/par]</b>
Forro da taloeira	80% Tecido de poliamida + 20% poliuretano	7,20E-03
Forro	52% Fibra de Poliamida + 48% Fibra poliéster	2,77E-02
Gáspea + Pala	40% Fibra de poliamida + 60% Fibra Poliuretano	1,09E-01
Espuma	Espuma de poliuretano	8,50E-03
Entretela	90% têxtil de algodão +10% policarboxilatos	1,75E-02
Contra forte	Poliéster	1,56E-02
Palmilha de montagem	40% Resina Sintética + 50% Fibra Poliéster + 10% Tecido de Polipropileno	5,24E-02
Etiqueta indicar o tamanho	Tecido de poliéster	1,00E-04
Fita calcanhar	Tecido de polipropileno	5,00E-04
Atacadores	Tecido de poliéster	9,90E-03
Aplicações	PVC	2,27E-02
Biqueira	Poliéster	8,70E-03
Sola	EVA	4,19E-01
Palmilha de acabamento	25% Tecido de poliéster + 30% Espuma PVC + 45% Espuma de poliuretano	6,51E-02
Papel enchimento e embrulho	Papel	5,24E-02
Folha informativa e etiqueta	Papel impresso	9,40E-03
Caixa	Caixa de cartão	2,16E-01

A composição dos materiais foi determinada com base na informação das fichas técnicas, fornecidas pela empresa, e quando não disponíveis os materiais foram analisados por espectroscopia de infravermelho para a determinação da composição.

Os dados do inventário secundário foram retirados da base de dados Ecoinvent v. 3.3 (2016). Uma vez que no Ecoinvent não está disponível o LCI dos materiais e componentes do calçado (exemplo: tecido de poliamida usado no forro) foi necessário “construir” os diferentes processos produtivos a partir dos componentes necessários ao fabrico (exemplo: fibra de poliamida, processo de tecelagem e transporte) disponíveis na base dados Ecoinvent tendo ainda em conta as especificidades desse processo produtivo (localização

e geração de resíduos). Não existindo informação sobre os resíduos gerados em cada um destes processos, considerou-se, arbitrariamente, que para produção de 1kg de material é usado 1,1 kg de matéria-prima é produzido um resíduo de 0,1 kg.

Foi também considerado o valor do transporte (distância média) de cada material/componente entre o local de fabrico e a empresa de produção de calçado, de acordo com a Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Transporte dos componentes para calçado do modelo em estudo

<b>Materiais</b>	<b>Observações</b>	<b>Entrada (ecoinvent)</b>	<b>Quantidade [tkm/par]</b>
Forro da taloeira	Tipo: veículo comercial ligeiro Distância:12 km Regressa vazio: sim	"transport, freight, light commercial vehicle"	1,73E-04
Forro	Tipo: camião Distância:700 km Regressa vazio: sim	"market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6"	3,88E-02
Gáspea + Pala	Tipo: Navio- transoceânico Distância:12000 km Regressa vazio: sim	"market for transport, freight, sea, transoceanic tanker"	2,61E00
Espuma	Tipo: veículo comercial ligeiro Distância:15 km Regressa vazio: sim	"transport, freight, light commercial vehicle"	2,55E-04
Entretela	Tipo: veículo comercial ligeiro Distância:15 km Regressa vazio: sim	"transport, freight, light commercial vehicle"	5,25E-04
Contra forte	Tipo: veículo comercial ligeiro Distância:15 km Regressa vazio: sim	"transport, freight, light commercial vehicle"	4,68E-04
Palmilha de montagem	Tipo: camião Distância:700 km Regressa vazio: sim	"market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6"	7,34E-02
Etiqueta indicar o tamanho	Tipo: veículo comercial ligeiro Distância:5 km Regressa vazio: sim	"transport, freight, light commercial vehicle"	1,00E-06
Fita calcanhar	Tipo: veículo comercial ligeiro Distância:5 km Regressa vazio: sim	"transport, freight, light commercial vehicle"	5,00E-06
Atacadores	Tipo: veículo comercial ligeiro Distância:15 km Regressa vazio: sim	"transport, freight, light commercial vehicle"	2,97E-04
Aplicações	Tipo: veículo comercial ligeiro Distância:10 km Regressa vazio: sim	"transport, freight, light commercial vehicle"	4,54E-04
Biqueira	Tipo: veículo comercial ligeiro		1,22E-03



	Distância:70 km Regressa vazio: sim	"transport, freight, light commercial vehicle"	
Sola	Tipo: veículo comercial ligeiro Distância:20 km Regressa vazio: sim	"transport, freight, light commercial vehicle"	1,68E-02
Palmilha de acabamento	Tipo: camião Distância:700 km Regressa vazio: sim	"market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6"	9,11E-02
Papel enchimento e embrulho	Tipo: veículo comercial ligeiro Distância:15 km Regressa vazio: sim	"transport, freight, light commercial vehicle"	1,57E-03
Folha informativa e etiqueta	Tipo: veículo comercial ligeiro Distância:40 km Regressa vazio: sim	"transport, freight, light commercial vehicle"	7,52E-04
Caixa	Tipo: veículo comercial ligeiro Distância:5 km Regressa vazio: sim	"transport, freight, light commercial vehicle"	2,16E-03

O valor do esforço de transporte referente à expedição de cada par de sapatos no âmbito do Cenário Base encontra-se na tabela abaixo, sendo calculado mediante a distância média a percorrer pela distribuição e a massa de cada par de sapatos.

Tabela 5.11 – Esforço de distribuição referente a um par de sapatos no Cenário Base

Entradas	Quantidade [tkm/par]	Entradas ecoinvent
Expedição e distribuição	2,98E+00	"market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6"

## 5.6 CENÁRIOS ALTERNATIVOS





A partir do Cenário Base foram desenvolvidos dois cenários alternativos nos quais se analisou a substituição dos materiais mais utilizados no fabrico do calçado de segurança, para assim se perceber o impacto que estes podem ter no ambiente. Os cenários são apresentados nas subsecções seguintes.

### 5.6.1 CENÁRIO ALTERNATIVO A

O Cenário Alternativo A refere-se a um modelo de sistema de produto idêntico ao descrito no Cenário Base, com as excepções de dois componentes bastante utilizados no fabrico

de calçado de segurança, em que são substituídos por outro tipo de matérias-primas. Em termos práticos, foi substituído o componente “palmilha de montagem” e o componente “biqueira”. Na tabela abaixo é possível observar a quantidade e composição de ambos os componentes.

Tabela 5.12 - Componentes de substituição Cenário Alternativo A

Componente de base		Quantidade [kg/par]		Componente de substituição	Quantidade [kg/par]
Palmilha de montagem em sintético 		5,20E-02	➔	Palmilha de proteção (100% fibra de aramida) 	1,60E-01
Biqueira em policaprolactona 		9,00E-03	➔	Biqueira (100% policarbonato) 	1,30E-01

Para a realização deste cenário alternativo, substitui-se os dados da Tabela 5.9 pelos dados da Tabela 5.12. Neste cenário pode observar-se que os componentes substituídos têm uma massa superior relativamente ao Cenário Base, pelo que a massa do sistema de produto referido neste cenário é de 1,268 kg.

Tabela 5.13 - Transporte dos componentes de substituição do Cenário Alternativo A

Materiais	Observações	Entrada (ecoinvent)	Quantidade [tkm/par]
Palmilha de proteção em fibra de aramida	Tipo: camião Distância:700 km Regressa vazio: sim	"market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6"	2,18E-01
Biqueira em policarbonato	Tipo: veículo comercial ligeiro Distância:700 km Regressa vazio: sim	"market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6"	1,85E-01

Foi também considerado o valor do transporte (distância média) de cada material/componente até à empresa de produção da UF, como se pode ver na Tabela 5.13. O valor do esforço de transporte referente à distribuição de cada par de sapatos no âmbito do Cenário Alternativo A encontra-se na Tabela 5.14.

Tabela 5.14 - Expedição referente a cada par de sapatos do Cenário Alternativo A



Entradas	Quantidade [tkm/par]	Entradas ecoinvent
Expedição Cenário Alternativo A	3,63E+00	"market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6"

### 5.6.2 CENÁRIO ALTERNATIVO B

O couro é uma matéria-prima bastante utilizada na produção do calçado português pelas suas características de elevada resistência físico-mecânica, flexibilidade, elevada respirabilidade e estética, como foram referidas na secção 3.4.1.

No âmbito deste trabalho, considerou-se relevante avaliar, no Cenário Alternativo B, o impacto da substituição dos componentes designados por “gáspea” e “pala”, em material de microfibras, pelo material de couro na produção do modelo em estudo apresentado no Cenário Base. A composição de ambos os materiais é apresentada na Tabela 5.15.

Tabela 5.15 - Componentes de substituição Cenário Alternativo B

Componente de base	Quantidade [kg/par]	Componente de substituição	Quantidade [kg/par]
Gáspea+ pala em microfibras 	1,09E-01	Gáspea+ pala em couro 	1,48E-01

Em conformidade com o Cenário Base, na produção da UF são considerados os processos de produção de componentes para calçado. Para a realização deste Cenário Alternativo B, substituiu-se os dados da Tabela 5.9 e Tabela 5.10 pelos dados da Tabela 5.15 e Tabela 5.16, do componente de substituição. Neste cenário pode observar-se de novo que a massa do componente substituído tem uma massa superior relativamente ao Cenário Base sendo que o sistema de produto apresenta a massa de 1,081 kg.

A falta de informação relativa a este produto de substituição, couro, nas bases de dados disponíveis para o desenvolvimento deste estudo fez com que tivesse sido necessário desenvolver um processo AICV. Após desenvolvimento e implementação em OpenLCA, foi produzido um *data set* contendo o ICV relativo à produção do couro (ver o capítulo 4

deste trabalho), que foi possível importar tal como um processo Ecoinvent, para a base dados que suporta o desenvolvimento deste cenário.

Tabela 5.16 - Transporte dos componentes de substituição do Cenário Alternativo B

Materiais	Observações	Entrada (ecoinvent)	Quantidade [tkm/par]
Gáspea + pala em couro	Tipo: camião Distância: 270 km Regressa vazio: sim	"market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6"	7,99E-02

Neste cenário, como nos anteriores foi também considerado o valor do transporte (distância média) de cada material/componente até à empresa onde é produzido o par de sapatos.

O valor de esforço de transporte referente à expedição de cada par de sapatos do Cenário Alternativo B encontra-se na Tabela 5.17 seguinte.

Tabela 5.17 – Esforço de distribuição referente a cada par de sapatos no Cenário Alternativo B

Entradas	Quantidade [tkm/par]	Entradas ecoinvent
Expedição Cenário Alternativo B	3,09E+00	"market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6"

## 5.7 IMPLEMENTAÇÃO DE AICV A PRODUTOS DE CALÇADO

Na sequência do inventário, procede-se ao cálculo das intervenções ambientais decorrentes, isto é o uso de recursos e as emissões. Para este efeito foi utilizada a aplicação OpenLCA e a base de dados Ecoinvent, a exemplo do trabalho exposto no Capítulo 4 deste trabalho, e consideradas os mesmos indicadores de impacto ambiental: alterações climáticas (IPPC2013 – GWP100a), pegada ecológica (EF), acidificação (CML 2001 – AP) e eutrofização (CML 2001- EP).

O fluxograma do sistema de produto relativo ao sistema de produto em estudo (par de sapatos) relativo ao Cenário Base encontra-se na Figura 5.4 e um excerto da base dados desenvolvida em OpenLCA na Figura 5.5.

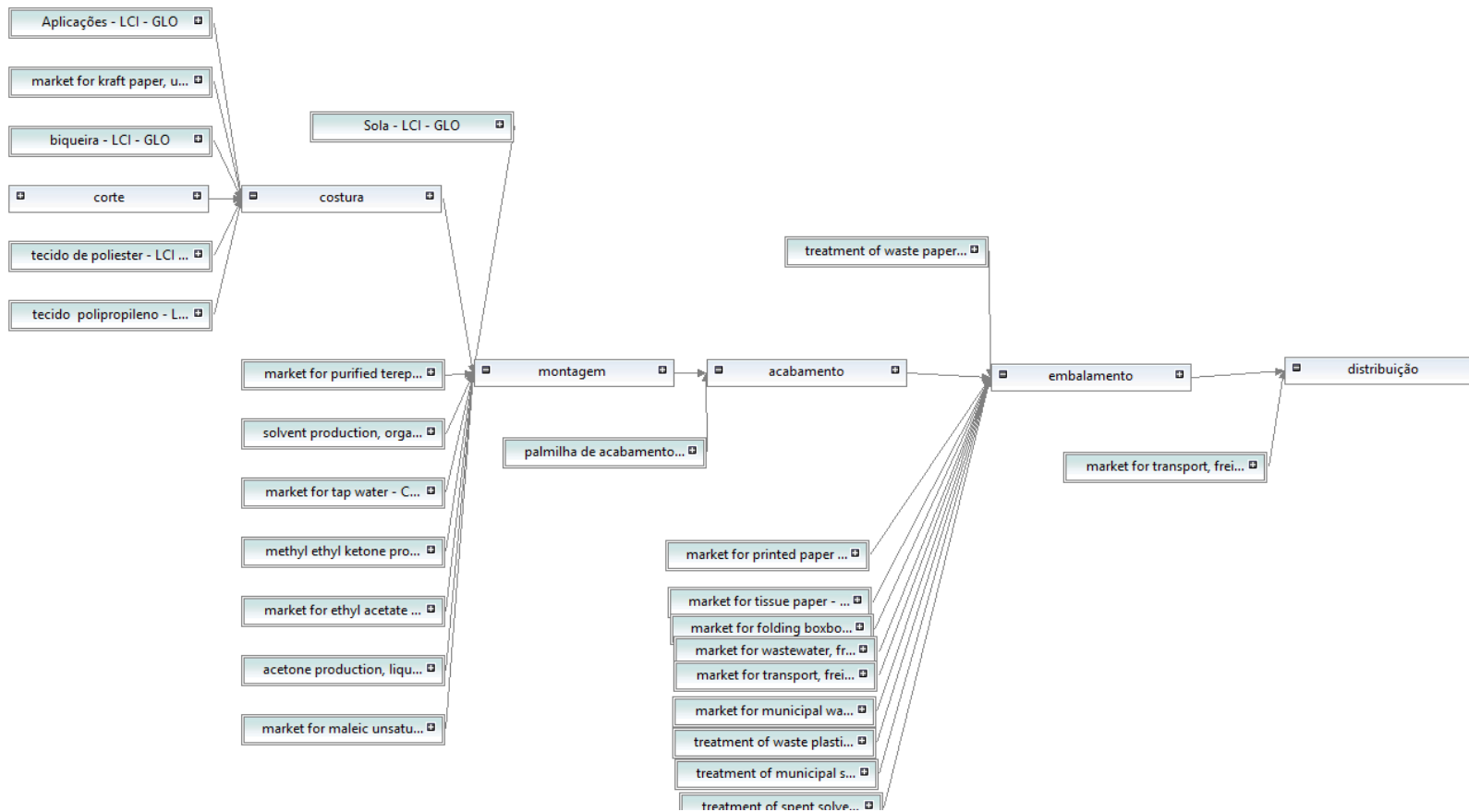


Figura 5.4 - Modelo gráfico do sistema de produto relativo ao Cenário Base

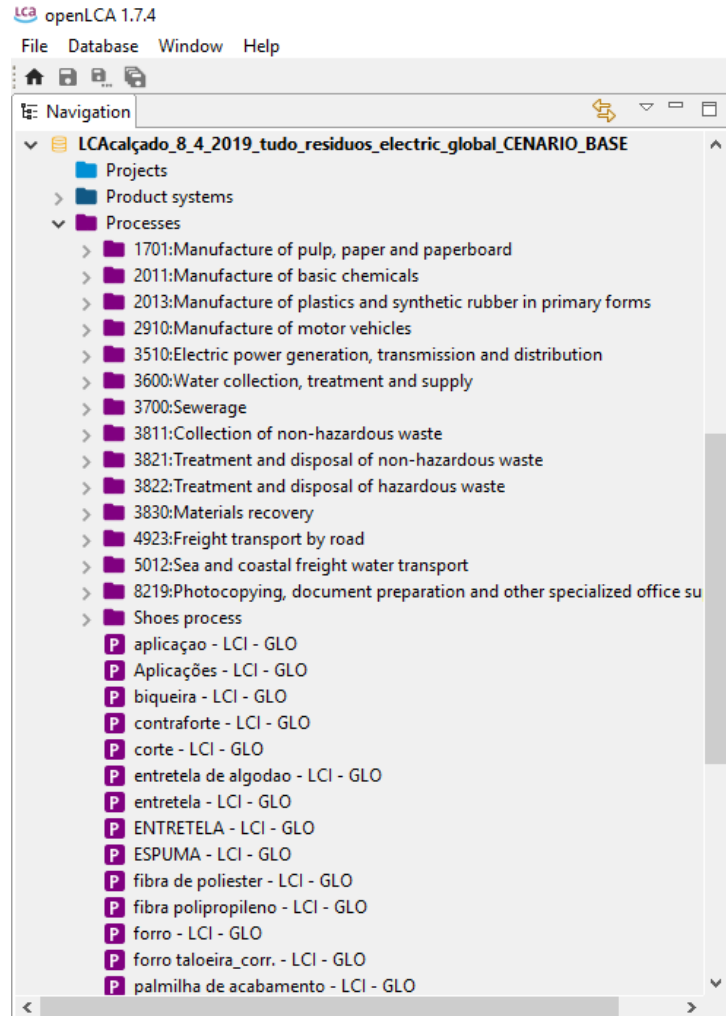


Figura 5.5 – Excerto da base dados em OpenLCA relativo ao Cenário Base



## 6 RESULTADOS

A análise de resultados da aplicação de metodologia de avaliação de impactes de ciclo de vida (AICV) é efetuada a partir dos resultados calculados no âmbito das categorias de impacte consideradas neste estudo. Em qualquer um dos cenários são identificados os processos ou materiais/componentes que mais contribuem para o impacte ambiental total.

Atendendo a que todos os resultados têm como referência a um par de sapatos devidamente embalado, para facilitar a leitura e compreensão dos resultados, os processos foram agregados por grupos de acordo com a Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Grupos de processos considerados para a análise de AICV deste estudo.

Designação dos grupos de processos	Processos individuais
<b>Matéria-prima</b>	Componentes de calçado (aplicações, biqueira, contraforte, entretela, espumas, forro, etc.) Produtos químicos
<b>Eletricidade</b>	Mercado de eletricidade
<b>Transporte</b>	Transporte desde a produção de origem dos componentes de calçado até à produção da UF Transporte associado à expedição da UF Percurso de recolha de gestão de resíduos
<b>Gestão de resíduos</b>	Triagem de resíduos Tratamento de águas residuais Incineração de produtos perigosos
<b>Recursos hídricos</b>	Água da torneira

### 6.1 CENÁRIO BASE

O Cenário Base corresponde ao impacto do fabrico do modelo do caso de estudo. A avaliação de impacte do Cenário Base é ilustrada na Figura 6.1, onde são apresentados os resultados obtidos para as quatro categorias de impacte, evidenciando a contribuição relativa de cada processo envolvido no sistema.



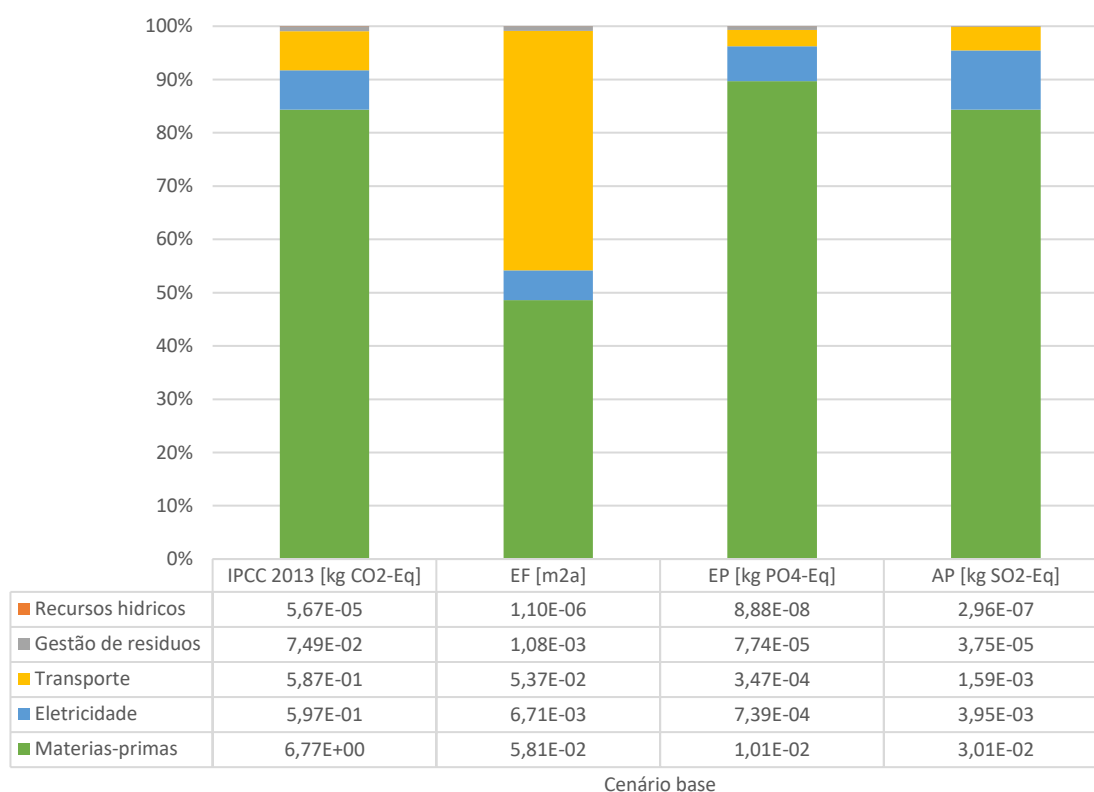


Figura 6.1 - Contribuição relativa, de cada grupo de processos do Cenário Base para cada uma das quatro categorias de impacto consideradas no presente estudo.

Analisando os resultados da Figura 6.1 conclui-se que as matérias-primas (materiais/componentes e produtos químicos) são o componente do processo com maior contributo para as categorias de impacto IPCC2013-GWP<sub>100</sub>, CML2001-EP e CML2001-AP, representado um valor superior a 80% do total do impacto. Para a categoria de impacto EF, as matérias-primas e o transporte são as componentes do processo com maior contributo, apresentando um peso semelhante no impacto total (cerca de 1,12E-01 m<sup>2</sup>a num total de 1,20E-01 m<sup>2</sup>a).

## 6.2 CENÁRIO ALTERNATIVO A

O Cenário Alternativo A corresponde ao modelo alternativo onde se substitui a biqueira original por uma biqueira de proteção em policarbonato e uma palmilha de montagem por uma palmilha de proteção em fibra de aramida, componentes de referência na produção de calçado de trabalho de segurança.

A avaliação de impacte do Cenário Alternativo A é ilustrada na Figura 6.2, onde são apresentados os resultados obtidos para as quatro categorias de impacte, evidenciando a contribuição relativa de cada processo envolvido.

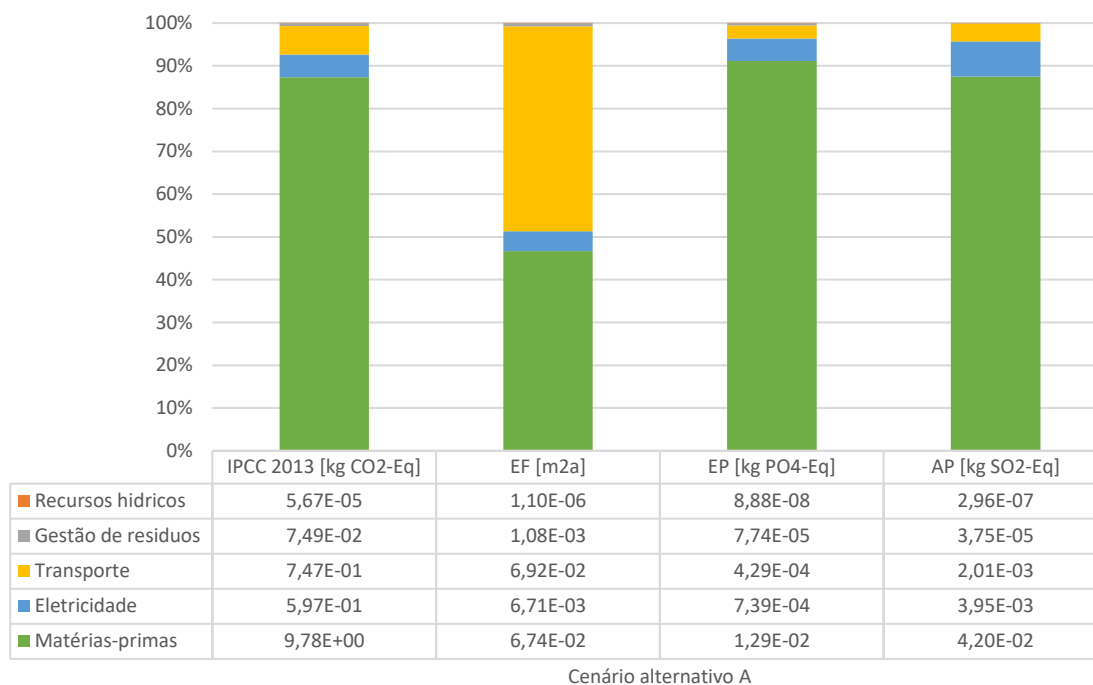


Figura 6.2 - Contribuição relativa, de cada grupo de processos do Cenário Alternativo A, para cada uma das quatro categorias de impacte consideradas no presente estudo.

À semelhança do Cenário Base, as matérias-primas são a componente que mais contribui para as categorias de impacte IPCC2013-GWP<sub>100</sub>, CML2001-EP e CML2001-AP. No caso da categoria de impacte EF as matérias-primas e o transporte são as categorias com maior contributo, mas observa-se um aumento da contribuição das matérias-primas devido à substituição dos dois componentes indicados (biqueira e palmilha de proteção). Estes dois componentes, além de produzidos em diferentes materiais, têm uma massa superior aos inicialmente utilizados, sendo estes os fatores que contribuem para o aumento do impacte das matérias-primas.

No Cenário Alternativo A, as alterações climáticas têm um impacte total de 11,20 kg CO<sub>2</sub>-eq/par, relativamente ao Cenário Base teve um aumento de 39,5 %.

### 6.3 CENÁRIO ALTERNATIVO B

A avaliação dos potenciais impactes ambientais do Cenário Alternativo B é ilustrada na Figura 6.3.

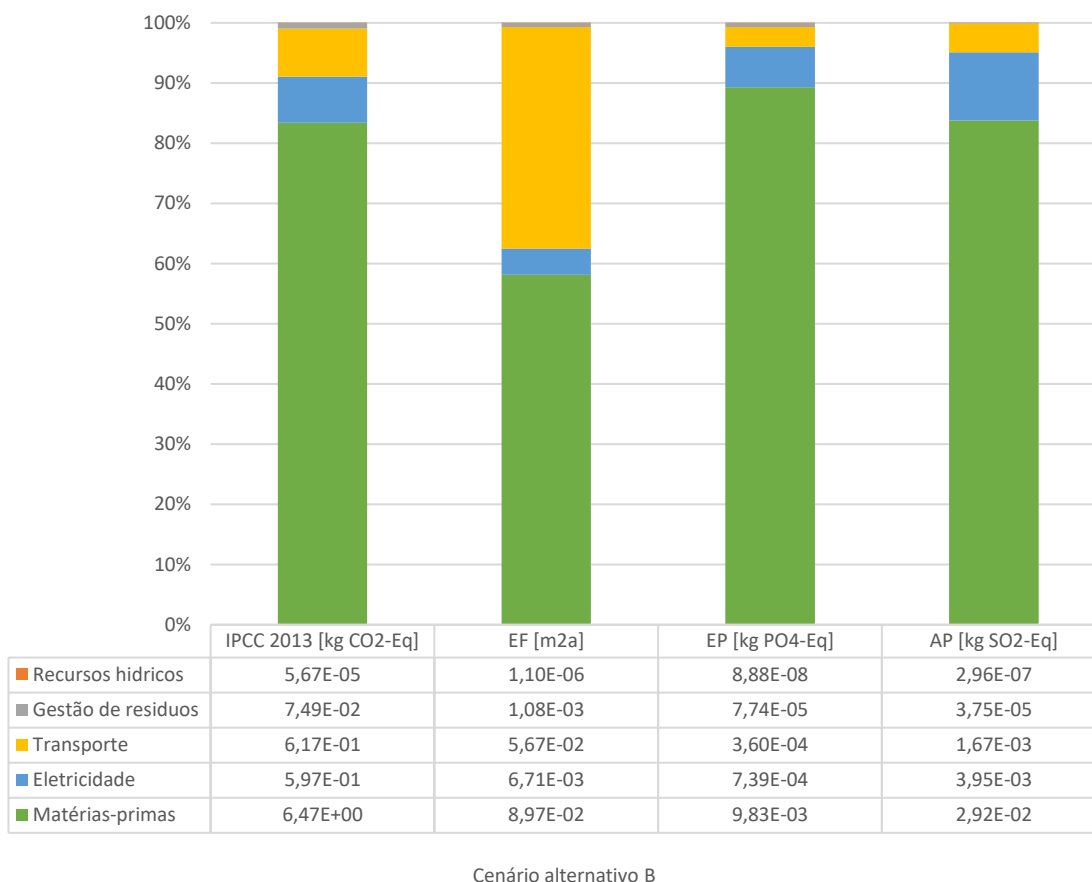


Figura 6.3 - Contribuição relativa, de cada grupo de processos do Cenário Alternativo B, para cada uma das quatro categorias de impacto consideradas no presente estudo.

A análise à Figura 6.3 permite concluir que nas quatro categorias de impacto, IPCC2013-GWP<sub>100</sub>, EF, CML2001-EP e CML2001-AP, as matérias-primas são a componente com maior contributo, representando cerca de 83,4%, 58,1%, 89,3% e 83,8%, respetivamente. Por outro lado, o transporte tem o segundo maior contributo nas categorias de impacto IPCC2013-GWP<sub>100</sub> e EF, com 7,9% e 36,8%, e a eletricidade tem igualmente o segundo maior contributo nas categorias CML2001-EP e CML2001-AP com 6,7% e 11,3% respetivamente.

## 6.4 ANÁLISE COMPARATIVA

Os resultados obtidos para as várias categorias de impacte AICV encontram-se na Tabela 6.2, referentes aos três cenários em estudo.

Tabela 6.2 – Resultados da AICV dos diferentes cenários relativo ao sistema de produto

Categoria de impacte	Unidades	Cenário Base	Cenário Alternativo A	Cenário Alternativo B
<b>Alterações climáticas (IPCC2013-GWP100)</b>	kg CO <sub>2</sub> -eq/par	8,03E+00	11,20E+00	7,76E+00
<b>Pegada ecológica (EF)</b>	m <sup>2</sup> a/par	1,20E-01	1,44E-01	1,54E-01
<b>Eutrofização (CML2001-EP)</b>	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq/par	1,13E-02	1,41E-02	1,10E-02
<b>Acidificação (CML2001-AP)</b>	kg SO <sub>2</sub> -eq/par	3,57E-02	4,80E-02	3,49E-02

As subsecções seguintes permitem uma análise global, de forma comparativa, dos impactes ambientais apresentados nos cenários estudados no presente trabalho.

### 6.4.1 ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

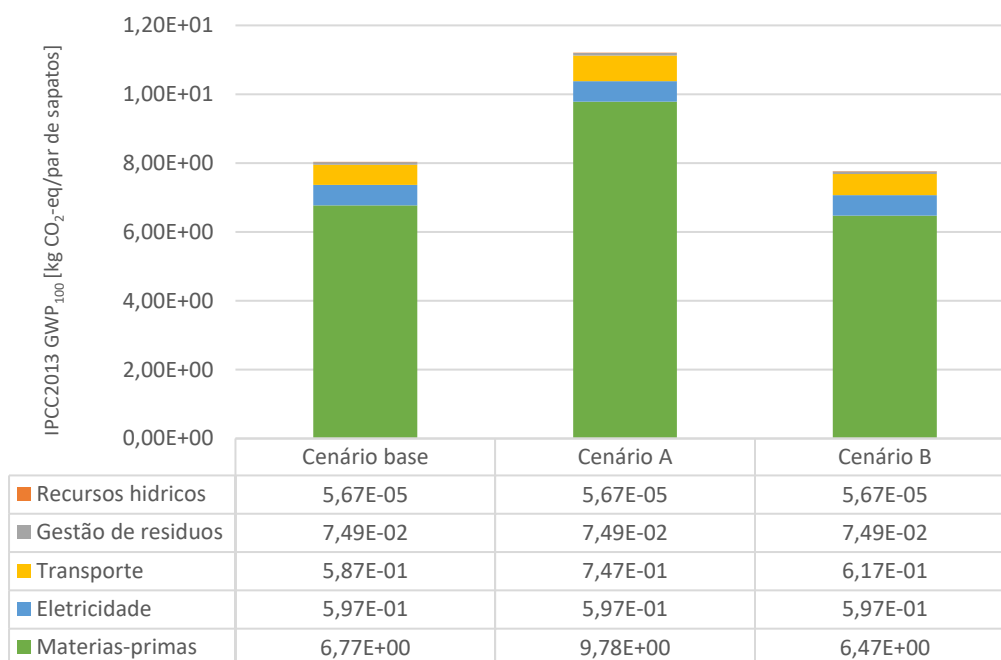


Figura 6.4 - Impacte ambiental cumulativo IPPC2013-GWP<sub>100</sub> [kgCO<sub>2</sub>-eq] de cada um dos cenários

Analisando os três cenários, o Cenário Alternativo A, com 11,2 kgCO<sub>2</sub>-eq/par de sapatos, é aquele que apresenta maior impacte na categoria de alterações climáticas. Este aumento é causado pelos componentes de substituição, “biqueira” e “palmilha de proteção”, não só devido ao aumento da respetiva massa, mas também devido às matérias-primas utilizadas. Em segundo lugar, com 8,03 kgCO<sub>2</sub>-eq, encontra-se o Cenário Base e, por fim, vem o Cenário Alternativo B é aquele que tem menor impacte na categoria de Alterações Climáticas .

Na figura seguinte encontra-se representado o contributo de cada um dos materiais/componentes usados na produção do modelo de calçado em estudo para a categoria de impacte referente a alterações climáticas.

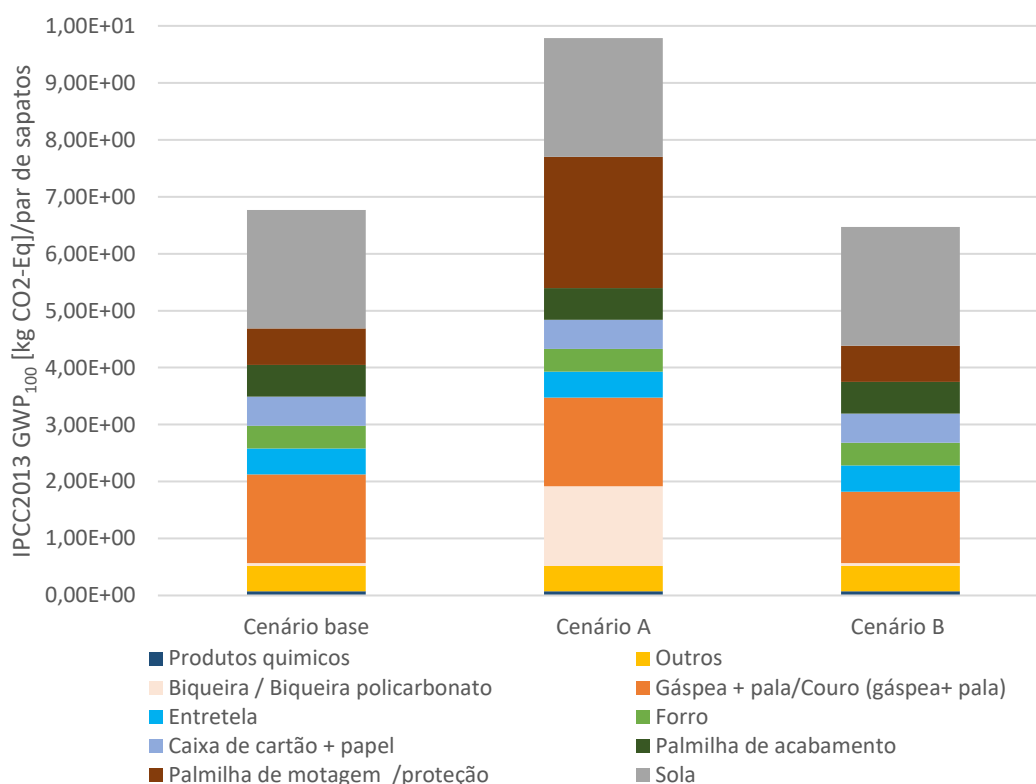


Figura 6.5 - Impacte ambiental cumulativo IPPC2013-GWP<sub>100</sub> [kg CO<sub>2</sub>-eq] relativa à utilização de matérias-primas nos diferentes cenários

Observando a Figura 6.5 verifica-se que o Cenário Alternativo A é o que mais contribui para o indicador IPPC2013-GWP<sub>100a</sub>, devido aos componentes de substituição “palmilha de proteção” e à “biqueira de policarbonato”, e também devido à “sola” e a “gáspea + pala”.

De realçar que são ainda estes componentes que apresentam a maior contribuição para as Alterações Climáticas nos três cenários em estudo. No Cenário Alternativo A, estes quatro componentes apresentam cerca de 7,33 kg CO<sub>2</sub> -eq num total de 9,78 kg CO<sub>2</sub> -eq (total de matérias-primas usadas na produção do calçado), representando um aumento de cerca de 44,5%, relativamente ao Cenário Base.

#### 6.4.2 PEGADA ECOLÓGICA

Na figura seguinte é apresentada a avaliação de impactes ambientais de cada um dos cenários para a categoria EF.

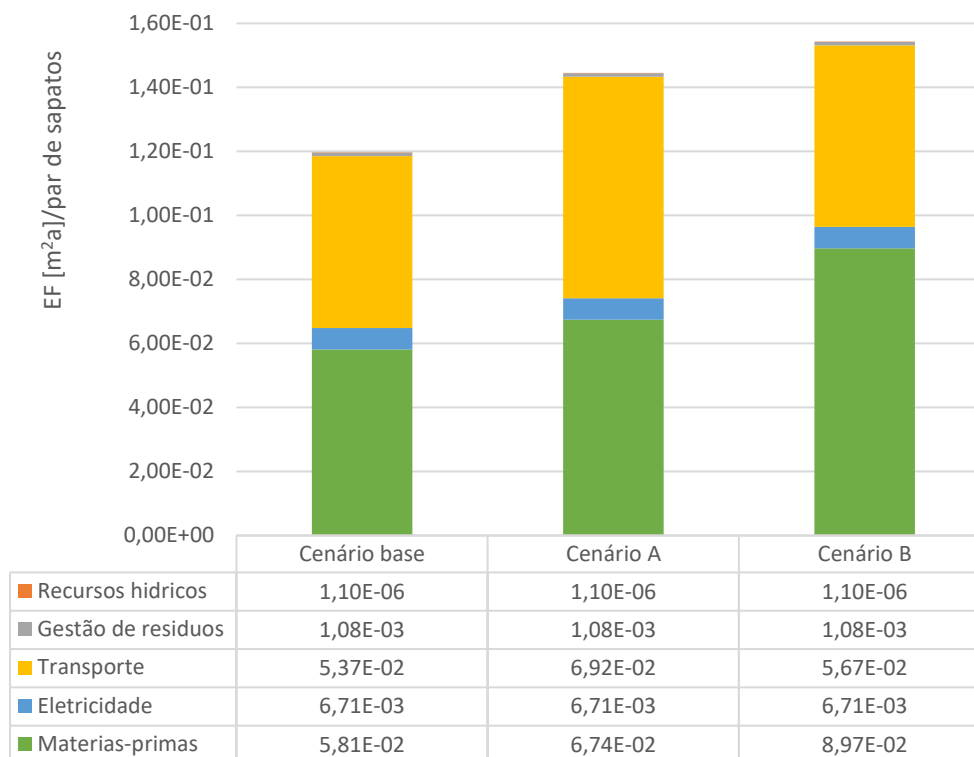


Figura 6.6 - Impacte ambiental cumulativo EF [m<sup>2</sup>a] de cada um dos cenários

Depois da análise à Figura 6.6, em que é realizada uma comparação entre os três cenários na categoria de impacte EF, pode-se verificar que os valores foram aumentando ao longo dos cenários, Cenário Base com 0,120 m<sup>2</sup>a, cenário A com 0,14 m<sup>2</sup>a e cenário B com 0,15 m<sup>2</sup>a.

Como se pode observar, os valores de EF para os processos recursos hídricos, gestão de resíduos e eletricidade são os mesmos. Existe uma pequena diferença no transporte, visto

que as matérias-primas provêm de diferentes localizações. Como esperado, a maior diferença encontra-se nas matérias-primas.

Na figura seguinte é apresentado a contribuição do consumo das matérias-primas nos diferentes cenários para a categoria EF.

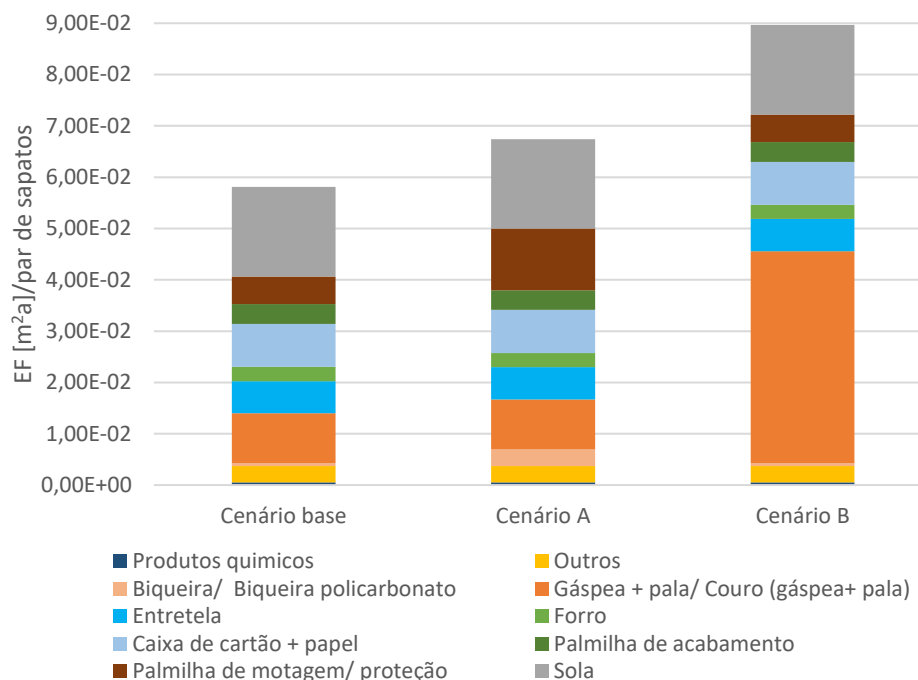


Figura 6.7 - Impacte ambiental cumulativo EF [m²a] relativa à utilização de matérias-primas nos diferentes cenários

Analisando a Figura 6.7 verifica-se, para o cenário B, que o couro (gáspea + pala) é o material com maior impacte na categoria EF, representando cerca de 0,04 m²a do total das matérias-primas (0,09 m²a). Este contributo para o impacte na EF deve-se à utilização de grande variedade e quantidade de produtos químicos, transporte e eletricidade utilizada no processo produtivo do couro. Para o Cenário Base e Cenário Alternativo A, a “sola” é o componente que mais contribui para a categoria EF.

#### 6.4.3 POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO

Na Figura 6.8 é possível observar os resultados da avaliação de impactes ambientais para a categoria de eutrofização entre os três cenários desenvolvidos.

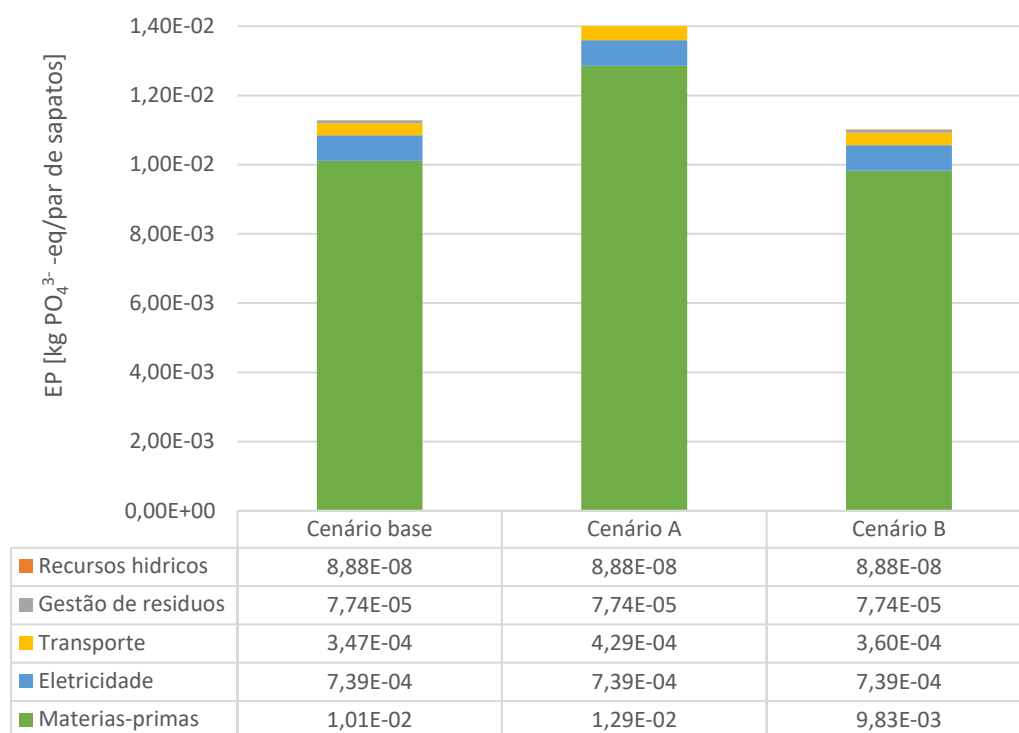


Figura 6.8 - Impacte ambiental cumulativo CML2001-EP [kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-eq] de cada um dos cenários

Analisando a Figura 6.8 verifica-se que o Cenário Alternativo A é aquele que apresenta maior impacte na eutrofização, seguindo-se o Cenário Base e, por fim, o Cenário Alternativo B, apesar de apresentarem valores bastante semelhantes (1,41E-02 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-eq, 1,13E-02 kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-eq e 1,10E-02 kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-eq, respectivamente por cada par de sapatos).

Na Figura 6.9 é apresentado a contribuição do consumo das matérias-primas nos diferentes cenários para a categoria EP.



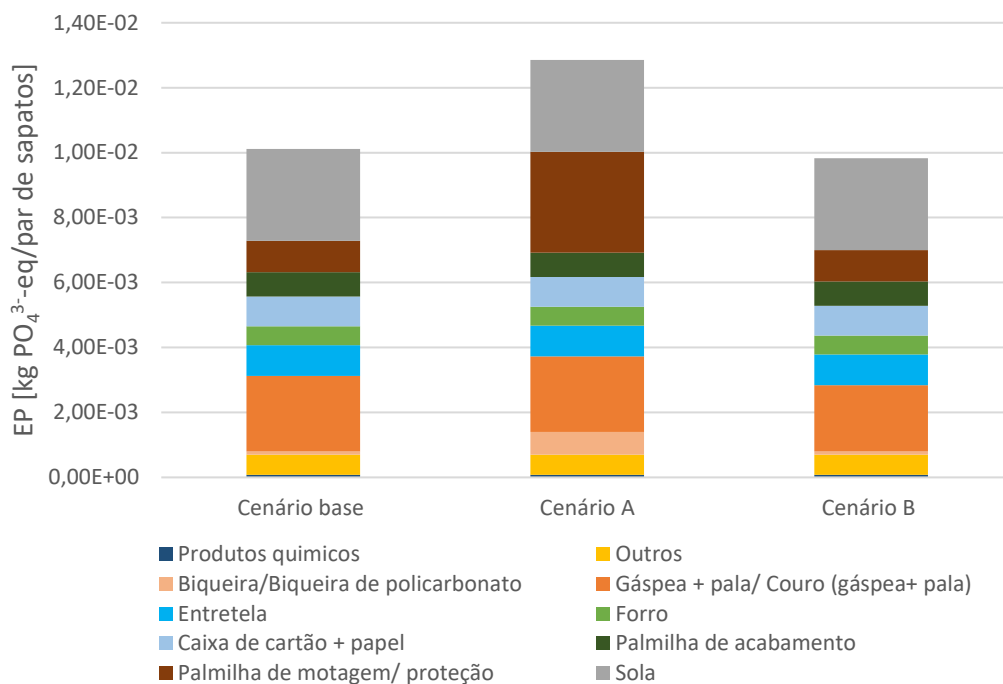


Figura 6.9 - Impacte ambiental cumulativo CML2001-EP [kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-eq] relativa à utilização de matérias-primas nos diferentes cenários

Pela análise do gráfico anterior, observa-se que os componentes que constituem a unidade funcional para o Cenário Alternativo A têm um impacte ambiental superior aos componentes utilizados no Cenário Base e Cenário Alternativo B. Esta diferença é devida, essencialmente, à utilização do componente “palmilha de proteção”.

#### 6.4.4 POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO

A comparação da avaliação de impactes ambientais para a categoria de acidificação entre os vários cenários pode ser observada na Figura 6.10 seguinte.

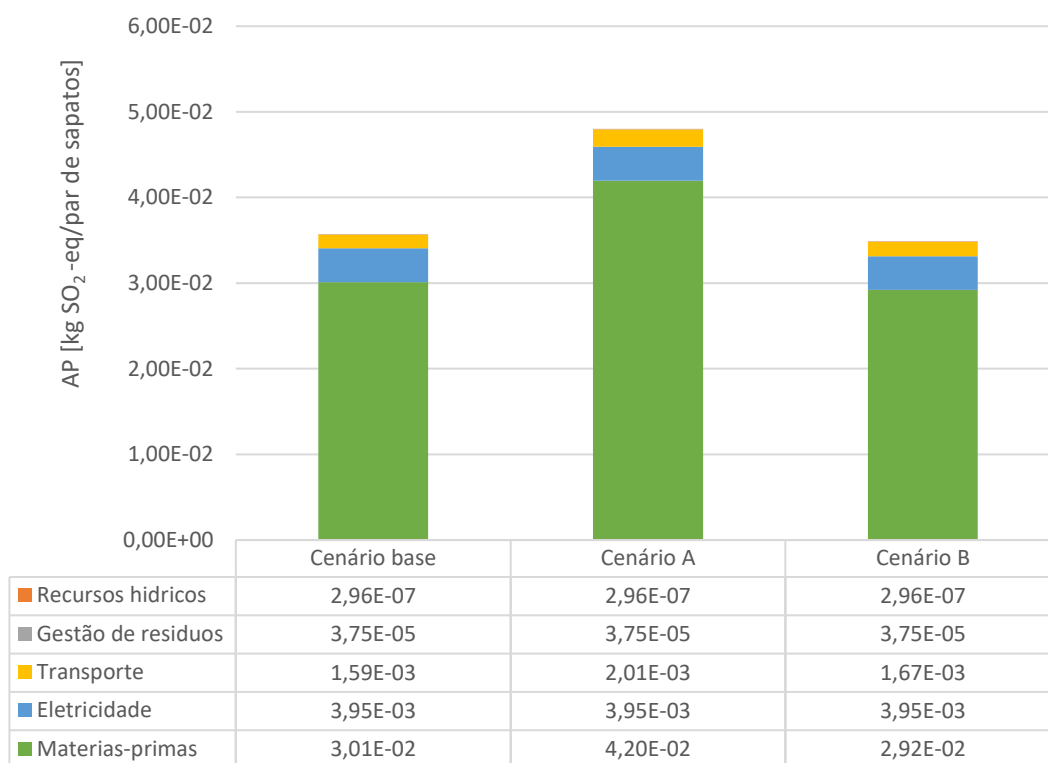


Figura 6.10 - Impacte ambiental cumulativo CML2001-AP [kg SO<sub>2</sub>-eq] de cada um dos cenários

O Cenário Alternativo A é aquele que tem maior contributo (desta vez para a categoria AP), seguido do Cenário Base e do Cenário Alternativo B. Destes resultados destaca-se ainda o facto de nos três cenários, ser as matérias-primas que mais influenciam têm no aumento desta categoria de impacte, estas têm uma contribuição de cerca 84,3% Cenário Base, 87,5% Cenário Alternativo A e 83,8% do Cenário Alternativo B.

A Figura 6.11 permite uma análise mais detalhada em relação aos componentes que têm maior contributo para a categoria de impacte relativa ao Potencial de Acidificação.

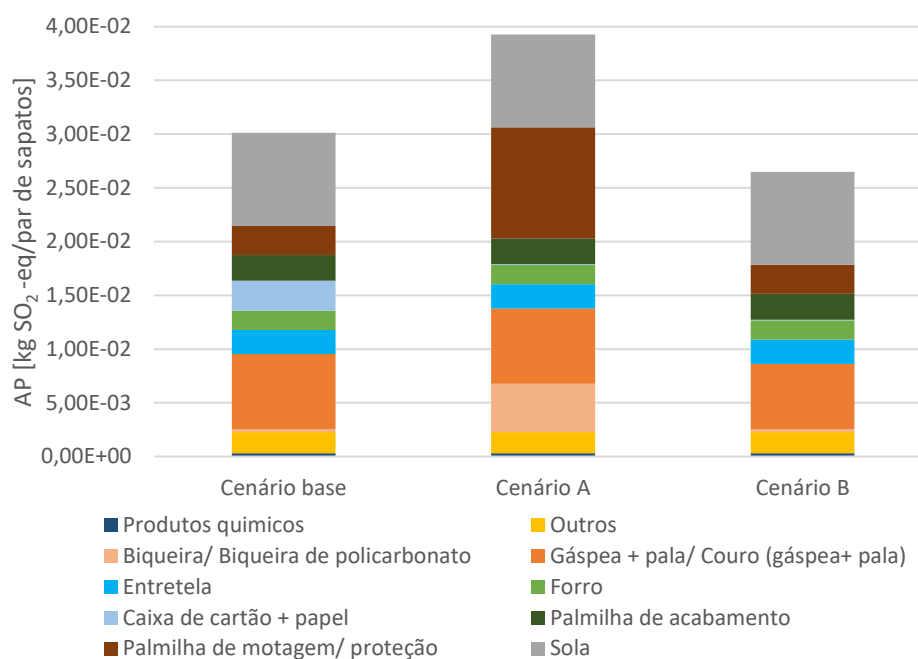


Figura 6.11 - Impacte ambiental cumulativo CML2001-AP [kg SO<sub>2</sub>-eq] relativa à utilização de matérias-primas nos diferentes cenários

Como já referido anteriormente, e analisando a Figura 6.11, é de realçar que os componentes de substituição que constituem o sistema de produto em estudo do Cenário Alternativo A têm um impacto superior aos componentes utilizados no Cenário Base e Cenário Alternativo B. Este aumento deve-se essencialmente aos componentes utilizados na “palmilha de proteção”.

## 6.5 ANÁLISE DE RESULTADOS

A aplicação da ferramenta de ACV foi utilizada na identificação, avaliação e comparação dos impactos ambientais dos três cenários definidos: Cenário Base, Cenário Alternativo A, com substituição da “biqueira” e “palmilha de montagem”, e Cenário Alternativo B, com a substituição da “gáspea + pala”, pelos mesmo componentes mas com diferentes matérias-primas. Foram adotadas as metodologias CML 2001, IPCC 2013 e “*ecological footprint*”, sendo que as categorias de impacto consideradas foram acidificação, eutrofização, alterações climáticas e pegada ecológica.

De um modo global, tendo em conta a avaliação de impactos de ciclo de vida para os três cenários, observa-se que as diferenças entre os perfis ambientais são pequenas, sendo as maiores diferenças entre o Cenário Base e o Cenário Alternativo A. À semelhança da

gestão de resíduos e da eletricidade, os recursos hídricos apresentam impactes iguais entre os três cenários, pois as quantidades de entrada são as mesmas. No transporte, as diferenças entre cenários são residuais, apesar de este ter uma forte contribuição na pegada ecológica. Observa-se, no entanto, uma diferença significativa nas matérias-primas, pelo facto de ser o processo agregado onde se realizaram alterações nos componentes do calçado.

Neste estudo, foi colocada a possibilidade de se associar o impacte da infraestrutura. No entanto, devido a dificuldades encontradas nos cálculos, uma vez que a bibliografia associada a este tipo de impacte é escassa, não foi possível incluir um valor exato no estudo. Apesar disto, foi possível chegar a um valor aproximado, correspondendo a 5% do impacte total do produto.

Comparando os resultados obtidos no presente estudo com outros estudos efetuados ao longo dos anos e descritos anteriormente, nomeadamente no estudo (Gül et al. 2015), é possível observar que o modelo em estudo, obteve um impacte ambiental ligeiramente inferior.

Em resumo, o impacte ambiental associado aos diferentes cenários elaborados, conclui-se que o Cenário Alternativo B é aquele que apresenta um impacto ambiental menor, seguido do Cenário Base e, por fim, o Cenário Alternativo A.

## 7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Dada a importância do setor do calçado em Portugal e da afirmação de qualidade internacional que lhe é reconhecida, torna-se cada vez mais necessário avaliar quais as consequências ambientais inerentes a este setor. Neste sentido, o principal objetivo deste trabalho centrou-se na avaliação dos impactos ambientais de um sistema de produto na área do calçado através da metodologia da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV).

### 7.1 CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi caracterizado, avaliado e comparado o ciclo de vida de um modelo de sapatos de segurança em três cenários distintos, designados por: Cenário Base, Cenário Alternativo A e Cenário Alternativo B. Os cenários alternativos diferem do Cenário Base, no caso do Cenário alternativo A ao nível dos materiais que constituem a biqueira e a palmilha, já que neste cenário foram considerados os materiais tradicionalmente mais usados (policaprolactona e fibra de aramida); e no caso do Cenário Alternativo B ao nível da gáspea, já que neste caso o material considerado foi o couro. O âmbito do estudo foi definido como *“from Cradle to gate”*, ou seja, desde a extração das matérias-primas até à distribuição, excluindo o uso e a disposição final, tendo sido selecionado um grupo de quatro indicadores de impacto ambiental considerando relevantes, excluindo as fases de normalização, agregação e ponderação, não obrigatórias.

A metodologia aplicada permitiu concluir que a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta de análise adequada para o estudo de desempenho ambiental do sistema de produto referente a um par de sapatos, permitindo fazer uma análise de todas as fases do processo de produção, desde a extração de matérias-primas até à distribuição no mercado.

Com base no trabalho realizado e resultados obtidos, estes permitem concluir que, no geral, o Cenário Alternativo A acarreta um impacto para o meio ambiente superior quando comparado com o Cenário Base e o Cenário Alternativo B. Este aumento no valor do impacto ambiental deve-se a dois aspetos: os componentes substituídos (biqueira e palmilha) apresentam maior massa e pesa ainda o facto de as materiais primas e processos usados na produção destes dois componentes apresentarem impactos ambientais associados mais significativos. Conclui-se ainda que, em todos os cenários estudados, as matérias-primas (extração e o fabrico de componentes para calçado) são a componente que mais contribui para o aumento da carga ambiental. Os resultados de impacto ambiental

obtidos para o modelo em estudo encontram-se em consonância com os descritos na literatura.

No que diz respeito ao ICV do couro, não tendo informação disponível em base dados e depois de alguma pesquisa na literatura da especialidade, optou-se por estabelecer um processo com base no estudo de (Notarnicola et al., 2011), dos mais completos em termos de informação, e curiosamente um dos estudos que determina menores impactos ambientais. Este estudo permitiu concluir que para 1kg de couro curtido ao crómio e no que diz respeito à categoria de impacto Alterações Climáticas, foi obtido um valor na ordem dos 8,5 kg CO<sub>2</sub>-eq que compara favoravelmente com o valor do referido estudo, para um âmbito de estudo sensivelmente idêntico, isto é sem incluir a produção e o abate animal.

Desta forma, o Cenário Alternativo B é aquele que apresenta um impacto ambiental associado inferior, com exceção apenas na categoria de impacto Pegada Ecológica (EF), onde se apresenta como sendo o cenário com maior impacto, cerca de 0,154 m<sup>2</sup>a. Nas restantes categorias, este é o cenário mais favorável em termos de impacto ambiental.

Fazendo uma análise comparativa entre os três cenários considerados relativamente à categoria de impacto Alterações Climáticas, observou-se um aumento de 40% entre o Cenário Base e o Cenário Alternativo A. Por sua vez, verificou-se uma descida de cerca de 3,5% entre o Cenário Base e o Cenário Alternativo B, para a mesma categoria de impacto.

Comparando a categoria de impacto Pegada Ecológica, os Cenários Alternativos A e B tiveram um aumento de cerca 20% e 28% respetivamente, relativamente ao Cenário Base.

Relativamente às categorias de impacto CML2001-EP e CML2001-AP, no Cenário Alternativo A observa-se um aumento de cerca de 25% e 37% respetivamente, em comparação com o Cenário Base. Já o Cenário Alternativo B, relativamente à categoria de impacto CML2001-EP, teve uma descida de aproximadamente 3%. Em relação à categoria CML2001-AP, verifica-se uma descida de aproximadamente 1% no Cenário Alternativo B comparativamente ao Cenário Base.

A grande dificuldade encontrada durante o estudo prendeu-se na escassez de informação e estudos publicados relativamente a ACV que incluam informação de inventário de forma completa quer sobre o couro quer sobre componentes para calçado, essenciais para a elaboração de AICV coerentes e actualizadas de sistemas de produto de calçado.

## 7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para um próximo estudo, sugere-se que seja alargada a fronteira do sistema em estudo (par de sapatos) de forma a incluir a manutenção ao longo do tempo de vida e o seu destino final.

Para solucionar/minimizar alguns dos impactes, é proposto a implementação do *ecodesign*. O *ecodesign* faz uso intensivo de AICV e apresenta-se como uma ferramenta com capacidade para gerir sistemas de produto envolvendo materiais, uso de energia, processos de fabrico e sistema de distribuição mais amigáveis para o meio ambiente, agregando aos produtos uma maior consciência socio ambiental.

A partir dos métodos e ferramentas desenvolvidas neste trabalho, propõe-se tornar corrente a Declaração Ambiental de Produto (DAP) aplicada ao desenvolvimento e fabrico quer de novos produtos quer mesmo dos produtos atualmente produzidos e comercializados, permitindo assim uma maior consciência ambiental relativamente a este importante produto dos nosso dia-a-dia.

Outras propostas no sentido de minimizar os impactes ambientais associados ao desenvolvimento de produtos de calçado são: a seleção rigorosa dos materiais, melhoria da eficiência energética dos processos, aplicação de *design* para uma produção e uso mais limpos, aumento da durabilidade, otimização do funcionamento, reutilização e reciclagem, evitando substâncias e materiais potencialmente perigosos e a seleção de operações de gestão de fim de vida. No que toca ao transporte é sugerida a substituição de transportes movidos a combustíveis fósseis, deixando uma sugestão para estudos futuros a viabilidade na substituição por transportes movidos a energia limpa (Plentz and Tocchetto 2014).

Este trabalho pode servir de guia para futuras análises de ciclo de vida com o auxílio do *software* OpenLCA e os conhecimentos e experiências descritas poderão ser usados como um ponto de partida para outros estudos realizados no setor do calçado.

Ao longo deste estudo foi surgindo o interesse na análise e substituição de outras matérias-primas no processo produtivo, para análise e comparação do impacte das mesmas, e também a necessidade de estudar outros tipos de processos produtivos utilizados na produção do calçado.





## Referências bibliográficas

- Acero, Aitor P., Cristina Rodriguez, Andreas Ciroth, Cristina Rodríguez, and Andreas Ciroth. 2016. "LCIA Methods-Impact Assessment Methods in Life Cycle Assessment and Their Impact Categories." *Greendelta* 23(February):1–23.
- AKU. 2017. "Environmental Product Declaration - Bellamont Plus." 20. Retrieved (<https://www.environdec.com/News-archive/aku-italia-registers-first-epd-for-footwear/>).
- Albers, Kyle, Peter Canepa, and Jennifer Miller. 2008. "Analyzing the Environmental Impacts of Simple Shoes: A Life Cycle Assessment of the Supply Chain and Evaluation of End- of-Life Management Options." 108.
- Almeida, Marisa, A. C. Dias, Baio Dias, and L. M. Arroja. 2011. "A Declaração Ambiental Do Produto Para Materiais de Construção." 1–21.
- AMF. 2019. "AMF Safety Shoes." Retrieved January 20, 2019 (<http://www.amfshoes.com/>).
- APICCAPS. 2018. *WORLD FOOTWEAR YEARBOOK- Intelligence to Drive Your Business*.
- APICCAPS. n.d. "Organismo Certificador." Retrieved April 30, 2019 (<https://cemarking.apiccaps.com/cemarking.html?idp=OA==&op=1>).
- Avenida, Curtumes. 2019. "Processo Produtivo Da Indústria de Curtumes." Retrieved May 27, 2019 (<http://www.aveneda.com/index.php/pt/>).
- Cheah, Lynette, Natalia Duque Ciceri, Elsa Olivetti, Seiko Matsumura, Dai Forterre, Richard Roth, and Randolph Kirchain. 2013. "Manufacturing-Focused Emissions Reductions in Footwear Production." *Journal of Cleaner Production* 44:18–29.
- Consequential-LCA. 2015. "The ISO 14040 Standards for Consequential LCA." Retrieved May 14, 2019 (<https://www.consequential-lca.org>).
- CTB. 2019. "Borracha." Retrieved April 16, 2019 (<https://www.ctborracha.com>).
- CTCP. 2019. "Centro Tecnológico Do Calçado de Portugal." Retrieved December 3, 2018 (<https://www.ctcp.pt/>).
- CTIC. 2018. "Centro Tecnológico Daa Industrias Do Couro." Retrieved December 19, 2018 (<http://www.ctic.pt/>).
- Daddi, Tiberio, Benedetta Nucci, and Fabio Iraldo. 2017. "Using Life Cycle Assessment (LCA) to Measure the Environmental Benefits of Industrial Symbiosis in an Industrial Cluster of SMEs." *Journal of Cleaner Production* 147:157–64.
- Daddi, Tiberio, Benedetta Nucci, Fabio Iraldo, and Francesco Testa. 2015. "Enhancing the Adoption of Life Cycle Assessment by Small and Medium Enterprises Grouped in an Industrial Cluster." 20(5).
- DANI. 2012. "Product Environmental Declaration: Leather for Clothing, Upholstery, Footwear, Leather Goods, Accessories and Interior Design." 0–11.
- DGEA. 2017. "Indústria Do Couro e Do Calçado-Sinopse." *Direção Geral Das Atividades Económicas* 2–22.
- Ecoinvent. 2019. "Introduction to Ecoinvent Version 3 – Ecoinvent." Retrieved March 12, 2019 (<https://www.ecoinvent.org/database/introduction-to-ecoinvent-3/introduction-to-ecoinvent-version-3.html>).
- Finnveden, Göran, Michael Z. Hauschild, Tomas Ekvall, Jeroen Guinée, Reinout Heijungs,

- Stefanie Hellweg, Annette Koehler, David Pennington, and Sangwon Suh. 2009. "Recent Developments in Life Cycle Assessment." *Journal of Environmental Management* 91(1):1–21.
- Gatelli, Elisia, Carlos Mário Dal Col Zeve, and Claudio Bastos Sikilero. 2010. "Impacto Ambiental Da Cadeia Produtiva Do Setor Calçadista Do Vale Do Rio Dos Sinos." *Xxx Encontro Nacional De Engenharia De Produção* 11.
- Greendelta. 2018. "OpenLCA Nexus Database." Retrieved December 4, 2018 (<https://nexus.openlca.org/>).
- Guinée, Jeroen, R. Kleijn, Wegener Sleeswijk A, S. Suh, and M. A. J. Huijbregts. 2002. "Handbook on Life Cycle Assessment Operational Guide to the ISO Standards." *International Journal of Life Cycle Assessment* 7(5):311–13.
- Gül, Sarah, Michael Spielmann, Annekatriin Lehmann, Diana Eggers, Vanessa Bach, and Matthias Finkbeiner. 2015. "Benchmarking and Environmental Performance Classes in Life Cycle Assessment—development of a Procedure for Non-Leather Shoes in the Context of the Product Environmental Footprint." *International Journal of Life Cycle Assessment* 20(12):1640–48.
- Habitat. n.d. "Os Benefícios Duma Declaração Ambiental de Produto ( DAP ) Para o Mercado de Produtos e Serviços de Construção! Desenvolvimento de Regras Para a Categoria de Produto (RCP)."
- Harvey, A. J. 1982. "Footwear Materials and Process Technology." *New Zealand Leather and Shoe Research Association* 259 páginas.
- Heijungs, R., J. B. Guinée, G. Huppes, R. M. Lankreijer, and A. Sleeswijk. 1992. "Environmental Life Cycle Assessment of Products."
- Herva, Marta, Antonio Álvarez, and Enrique Roca. 2011. "Sustainable and Safe Design of Footwear Integrating Ecological Footprint and Risk Criteria." *Journal of Hazardous Materials* 192(3):1876–81.
- Huijbregts, M. 1999. "Life Cycle Impact Assessment of Acidifying and Eutrophying Air Pollutants, Calculation of Equivalency Factors with RAINS-LCA."
- Huijbregts, Mark A. J., Stefanie Hellweg, Rolf Frischknecht, Konrad Hungerbühler, and A. Jan Hendriks. 2008. "Ecological Footprint Accounting in the Life Cycle Assessment of Products." *Ecological Economics* 64(4):798–807.
- INESCOP. 2016. "CO2Shoe - Footwear Carbon Footprint."
- IPCC. 2006. "IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, National Greenhouse Inventories Programme."
- IPQ. 2019. "EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL - EPI." *Instituto Portugues Da Qualidade*. Retrieved April 30, 2019 (<http://www1.ipq.pt/PT/AssuntosEuropeus/MarcacaoCE/ListaDasDirectivas/Pages/PorDiretiva/EPI.aspx>).
- ISO. 2006. "International Organization for Standardization, 'ISO 14044: 2006 - Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines,'" *International Organization for Standardization. Geneve, Switzerland*.
- ISO. 2008. "International Organization for Standardization, 'ISO 14040: 2008 - Gestão Ambiental - Avaliação Do Ciclo de Vida - Princípios e Enquadramento,'" *International Organization for Standardization. Geneve, Switzerland*. 1–28. Retrieved (10.1136/bmj.332.7550.1107.).

- Joseph, Kurian and N. Nithya. 2009. "Material Flows in the Life Cycle of Leather." *Journal of Cleaner Production* 17(7):676–82.
- Kılıç, Eylem, Rita Puig, Gökhan Zengin, Candaş Adıgüzel Zengin, and Pere Fullana-i-Palmer. 2018. "Corporate Carbon Footprint for Country Climate Change Mitigation: A Case Study of a Tannery in Turkey." *Science of the Total Environment* 635:60–69.
- Laurenti, Rafael, Michael Redwood, Rita Puig, and Björn Frostell. 2017. "Measuring the Environmental Footprint of Leather Processing Technologies." *Journal of Industrial Ecology* 21(5):1180–87.
- Leather-dictionary. n.d. "Preservation by Drying, Salting or Freezing." Retrieved May 17, 2019 ([https://www.leather-dictionary.com/index.php/Preservation\\_by\\_drying,\\_salting\\_or\\_freezing](https://www.leather-dictionary.com/index.php/Preservation_by_drying,_salting_or_freezing)).
- LNEG/UPCS. 2011. "Manual de Ecodesign InEDIC." 1–159.
- Lopes, Miguel and Sónia Martins. 2015. *Manual de Boas Práticas Ambientais Na Indústria Do Calçado*. edited by CIICESI.
- Luximon, Ameersing and Asimananda Khandual. 2017. *Footwear*.
- Marcos. 2018. "Diferentes Tipos de Borrachas Sintéticas." Retrieved (<http://ibcborrachas.com.br/pt/diferentes-tipos-borrachas-sinteticas/>).
- Matos, Manuel Arlindo. 2009. "Estudo Da Pegada de Carbono de Óleo Vegetal Alimentar." *Departamento de Ambiente e Ordenamento - Universidade de Aveiro*.
- Mendes, Leila. 2019. "Aplicação Da ACV No Processo de Desenvolvimento de Produto Application of LCA in the Product Development Process."
- Milà i Canals, Llorenç, Xavier Domènech, Joan Rieradevall, Rita Puig, and Pere Fullana. 2002. "Use of Life Cycle Assessment in the Procedure for the Establishment of Environmental Criteria in the Catalan Eco-Label of Leather." *International Journal of Life Cycle Assessment* 7(1):39–46.
- Neves, Anabela, Flora Bastos, Maria José Ferreira, and Sara Resende. 2012. "Guia de Boas Práticas Ambientais Para a Fileira Do Calçado." *Centro Tecnológico Do Calçado Portugal*.
- Notarnicola, Bruno, Rita Puig, Andrea Raggi, Pere Fullana, Giuseppe Tassielli, Camillo De Camillis, and Antoni Rius. 2011. "Life Cycle Assessment of Italian and Spanish Bovine Leather Production Systems." *Afinidad* 68(553):167–80.
- Parente, Ricardo Alves. 2006. "Elementos Estruturais de Plásticos Recicláveis."
- Pensamento Verde. 2014. "A Importância Da Reciclagem Da Borracha." Retrieved April 2, 2019 (<https://www.pensamentoverde.com.br/reciclagem/importancia-da-reciclagem-da-borracha/>).
- Plentz, Natália Debeluck and Marta Lopes Tocchetto. 2014. "O Ecodesign Na Indústria De Calçados: Proposta Para Um Mercado Em Transformação." *Revista Eletrônica Em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental* 18(3):1022–36.
- Pouzada, A. S. and C. A. Bernardo. 1983. *Introdução à Engenharia Dos Polímeros*.
- Resinorte. 2019. "Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos." Retrieved (<http://www.resinorte.pt/pages/paginas/305>).
- Shoepassion. 2019. "Shoemaking." Retrieved (<http://www.shoepassion.eu/shoe-encyclopaedia/shoemaking?redirected=yes>).
- SimaPro. 2019. "LCA Software for Fact-Based Sustainability." Retrieved

(<https://simapro.com/about/>).

Staikos, T. and S. Rahimifard. 2007. "An End-of-Life Decision Support Tool for Product Recovery Considerations in the Footwear Industry." *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 20(6):602–15.

Staikos, Theodoros, Richard Heath, Barry Haworth, and Shahin Rahimifard. 2006. "End-of-Life Management of Shoes and the Role of Biodegradable Materials", in Proceedings of 13th ClrP International Conference on Life Cycle Engineering." (January).

STAN. 2019. "Material Flow Analysis." Retrieved (<http://www.stan2web.net/>).

Vicente, José, Rodrigues Ferreira, . 2004. "Análise De Ciclo De Vida Dos Produtos." Instituto Politécnico de Viseu.

Wenzel, Henrik., Michael. Hauschild, and Leo Alting. 1997. *Environmental Assessment of Products*. Chapman & Hall.

## Anexo A – Fluxo de materiais no fabrico de um par de sapatos para o modelo em estudo

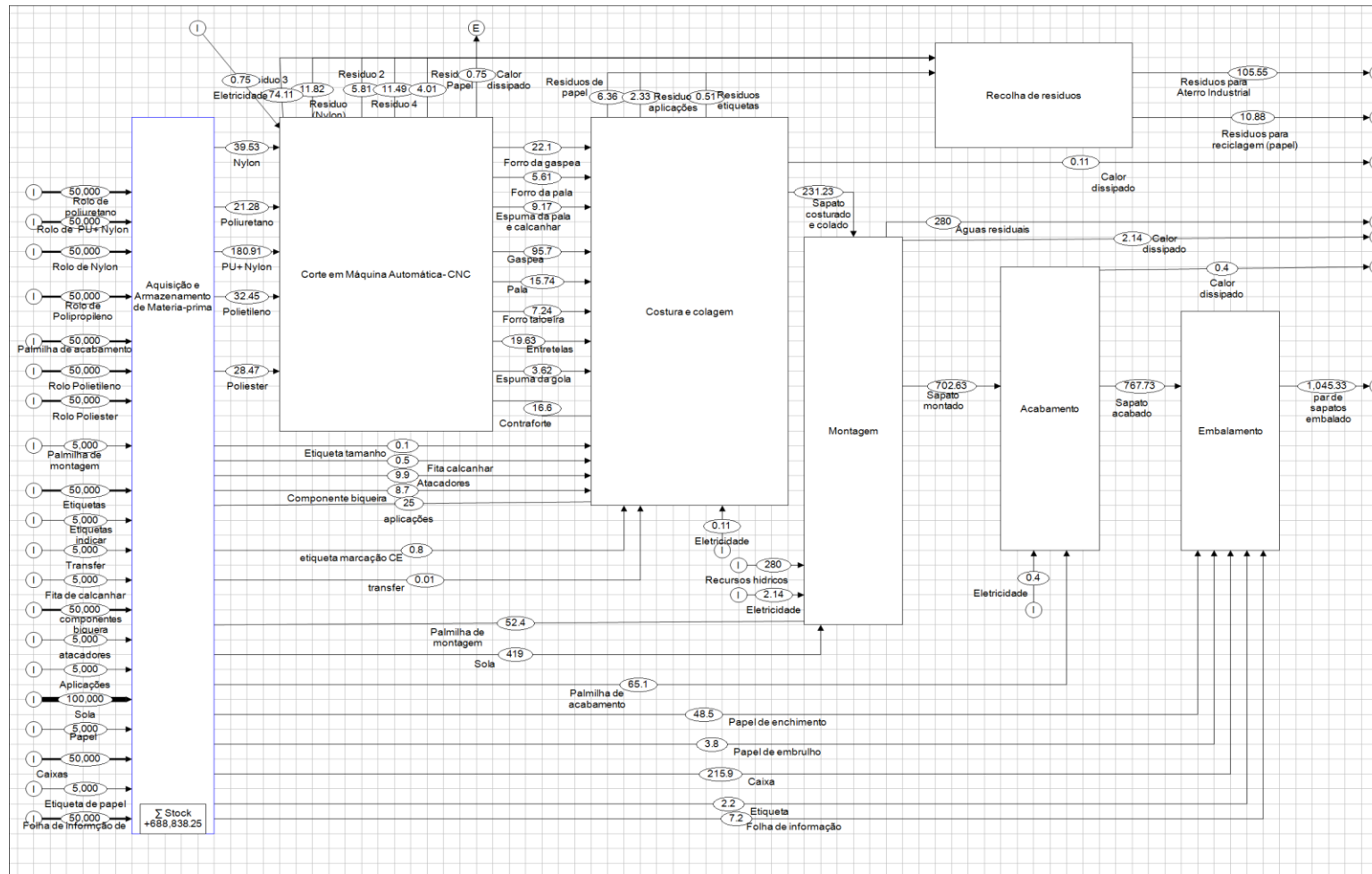


Figura A.7.1 – Análise de fluxos de materiais em STAN