



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Rui Pedro Alves Sá

**AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DE UM
COMPONENTE AUTOMÓVEL: O “*CHASSI
DASHBOARD*”**

Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, na área de
Especialização em Tecnologia e Indústria Sustentável, orientada pelo
Professor Doutor Fausto Miguel Cereja Seixas Freire e pelo investigador
Carlos Junior Arias Hernandez e apresentada ao Departamento de
Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de
Coimbra.

Setembro de 2022

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
Departamento de Engenharia Civil

Rui Pedro Alves Sá

AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DE UM COMPONENTE AUTOMÓVEL: O “CHASSI DASHBOARD”

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF AN AUTOMOTIVE COMPONENT: THE “CHASSI DASHBOARD”

Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, na área de Especialização Tecnologia e Indústria Sustentável,
orientada pelo Professor Doutor Fausto Miguel Cereja Seixas Freire e pelo Investigador Carlos Junior Arias Hernandez

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC
declina qualquer responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões que possa conter.



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

setembro de 2022

Agradecimentos

Concluída a presente dissertação que encerra um ciclo de estudos associado a muito trabalho, esforço e dedicação expresso a minha gratidão para com todos os que de forma direta ou indireta me apoiaram e contribuíram para esta caminhada.

De forma específica, uma palavra de agradecimento aos meus orientadores, Professor Doutor Fausto Freire e Carlos Hernandez, por me receberem no Centro para a Ecologia Industrial (CIE) de braços abertos e sempre com um enorme sentido de cooperação e entreajuda. Prestaram sempre um apoio excecional para me manter no caminho certo e poder obter os melhores resultados possíveis. Ao Carlos Hernandez, agradeço a enorme paciência e atenção que teve para comigo, por apesar de estar envolvido em vários projetos ter sempre um tempo para me orientar e responder a inúmeras questões, pelas horas passadas ao longo de várias etapas, a resolver os problemas que surgiam e a ponderar as melhores soluções a seguir, o que sem dúvida foi fundamental para ultrapassar cada fase deste projeto. Ao Professor Doutor Fausto Freire, agradeço o esforço com que se dedicou a auxiliar-me e a ajuda que me deu para seguir as melhores opções, desde pequenas dicas a conselhos que enriqueceram a dissertação e me permitiram adquirir conhecimentos técnicos de LCA preciosos.

Para a minha família, obrigado por todo o apoio, por estarem sempre presentes e me darem todas as condições para conseguir alcançar os meus objetivos e nunca desistir.

À minha namorada, um agradecimento especial, porque estiveste lá todos os dias, porque me acompanhaste e fizeste parte desta caminhada, porque me apoiaste e incentivaste de uma forma incansável, muito obrigado por tudo, estar-te-ei para sempre grato.

Esta dissertação foi parcialmente apoiada através do projeto BetterPlastics POCI-01-0247-FEDER-046091 co-financiado pelo FEDER (Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional) através do Compete2020 (Programa Operacional para a Competitividade e Internacionalização) e do projeto SET-LCA (CENTRO-01-0145-FEDER-030570) co-financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) e pelo FEDER.

Resumo

A indústria automóvel tem um papel fundamental na economia global e como tal existe um esforço contínuo na adaptação às circunstâncias globais quer a nível económico, social e ambiental. As empresas procuram produzir de forma cada vez mais eficiente e consciente reduzindo os seus impactos ambientais no intuito de serem competitivas a todos os níveis. A avaliação do ciclo de vida (ACV) pode ser utilizada para avaliar o desempenho ambiental dos veículos, promovendo a redução dos impactos ambientais dos veículos e dos seus componentes.

A ACV realizada nesta dissertação surge no âmbito do projeto BetterPlastics, que tem o Centro para a Ecologia Industrial da Universidade de Coimbra como parceiro, assim como a empresa KLC (Indústria de Transformação de Matérias Plásticas, Lda.), uma empresa especializada na produção e transformação de componentes poliméricos injetados para a indústria automóvel, médica e eletrónica. O objetivo da ACV foi identificar *hotspots* (pontos críticos), *trade-offs* (trocas) ambientais e oportunidades de melhoria para reduzir os impactos ambientais de ciclo de vida veículo de uma peça produzida pela KLC, o *chassi dashboard*.

Neste âmbito, foi realizada uma avaliação do desempenho ambiental para um *chassi dashboard* produzido em compósito de sulfeto de polifenileno (PPS, peso 197 g), e uma alternativa produzida em liga alumínio (AL, peso 274 g). Analisaram-se as implicações da redução de peso do *chassi dashboard* em PPS, para o consumo de energia e para os impactos ambientais de um veículo automóvel, comparando duas motorizações para um veículo automóvel: combustão interna (Toyota Corolla) e elétrica (Nissan Leaf), considerando dois mixes elétricos diferentes, o de Portugal (PT) e da Polónia (PL). Adicionalmente, efetuou-se uma análise paramétrica dos impactos de ciclo de vida em função da distância percorrida pelo veículo, calculando o ponto de indiferença (break-even point), no qual ambas as peças, AL e PPS, apresentam, para cada categoria de impacto ambiental, valores de impacto iguais, somando os impactos incorporados na peça e os associados à utilização no veículo (considerando o peso de cada peça).

A ACV da peça foi desenvolvida para duas fronteiras de sistema. A primeira, produção da peça, inclui a extração e produção de matérias-primas, manufatura da peça, tratamento de resíduos de produção e distribuição), e tem como unidade funcional “a produção de um *chassi dashboard* na KLC” com objetivo de comparar a produção das alternativas PPS e AL. A segunda fronteira, diz respeito ao ciclo de vida (excluindo o fim de vida da peça) e definiu-se como unidade funcional “um *chassi dashboard* que garante o suporte mecânico aos mostradores do automóvel ao longo da vida útil do veículo percorrendo 257494 quilómetros”. Esta segunda unidade funcional permite comparar o desempenho ambiental das duas alternativas da peça num veículo. Adicionalmente, efetuou-se uma análise paramétrica em função da distância de forma a obter o ponto de indiferença para o qual ambas as peças, AL e PPS, apresentam os mesmos impactos ambientais.

O modelo e inventário de ciclo de vida foram implementados com dados primários fornecidos pela empresa KLC para a peça em PPS e, para a alternativa AL foi implementado com dados da literatura (Liu et al., 2021).

Os resultados obtidos para o ciclo de vida, comparando ambas as alternativas do *chassi dashboard* e, utilizando a modelação *cut-off*, mostram que a peça em PPS apresenta menos impactes ambientais que a alternativa em AL, exceto nas categorias de depleção de ozono, radiação ionizante, toxicidade humana cancerígena, ecotoxicidade de água doce e uso da água.

Foi ainda realizada uma análise à produção da peça, através da utilização de abordagens metodológicas existentes nos modelos e inventário da base de dados Ecoinvent 3, nomeadamente, os modelos de sistema *APOS* e *cut-off*. Verificou-se, que utilizando a modelação *APOS*, a peça em PPS apresenta menos impactes que a alternativa em AL, e que com a modelação *cut-off*, ocorrem “*trade offs*” ambientais que se traduzem em maiores diferenças nos resultados, nomeadamente, ao nível de processos de tratamento de resíduos que esta metodologia não considera e que têm uma grande influência na metodologia *APOS* para a peça em AL.

A ACV efetuada ao ciclo de vida da peça, permitiu concluir que os impactes ambientais da peça em PPS são menores que os da peça produzida em AL. Para além disso, os impactes ambientais da peça em PPS para o veículo elétrico Nissan Leaf para o mix energético (PT ou PL) são menores que os da peça em AL. Porém, a peça em PPS ou em AL, apresentam impactes ambientais significativamente menores para o veículo Toyota Corolla (diesel) comparativamente ao veículo elétrico Nissan Leaf para o mix energético da Polónia, nas categorias acidificação, eutrofização terrestre e eutrofização marinha o que se deve à produção de energia elétrica desse país ser altamente dependente de recursos fósseis. O modo de condução autoestrada apresenta menos impactes ambientais que o modo combinado e cidade.

A análise paramétrica dos impactes de ciclo de vida em função da distância mostrou que, para a generalidade das categorias de impacto, a peça em PPS apresenta impactes menores que a alternativa em AL, exceto para depleção de ozono, radiação ionizante, toxicidade humana cancerígena, ecotoxicidade água doce, uso da terra e uso da água, em que o ponto de indiferença é alcançado, mas para uma grande distância. Como recomendação para trabalhos futuros: i) Efetuar uma análise detalhada para perceber quais as causas, da influência verificada nos resultados devido à utilização da metodologia *APOS* ou *cut-off*, nomeadamente, uma análise pormenorizada para as várias categorias de impacto detalhando os processos que influenciam cada um dos tipos de modelação; ii) Efetuar a ACV abrangendo o final de vida devido à importância dos plásticos nesta fase e, de forma a perceber a influência nos impactes de ciclo de vida da peça em PPS.

Palavras-chave:

Avaliação de Ciclo de Vida, *chassi-dashboard*, compósito de sulfeto de polifenileno, alumínio, Toyota Corolla (diesel), Nissan Leaf (elétrico).

Abstract

The automotive industry plays a key role in the global economy and it has been done a continuous adaptation effort to global circumstances, economically, socially and environmentally way. Companies aim to produce in an increasingly efficient and conscious way, reducing their environmental impacts to be competitive at all levels. Life Cycle Assessment (LCA) can be used to assess the environmental performance of vehicles promoting the reduction of the environmental impacts of vehicles and its components.

The LCA performed was carried out within the scope of the BetterPlastics project, which has the Center for Industrial Ecology of the University of Coimbra as a partner and KLC (Indústria de Transformação de Matérias Plásticas, Lda.), a company specialized in the production and transformation of injected polymeric components for the automotive, medical and electronics industries. LCA goal was identify hotspots (critical points), environmental trade-offs and improvement opportunities to reduce the environmental impacts of the vehicle life cycle of an automotive component produced by KLC, the chassi dashboard.

In this context, was realized a comparative evaluation of the environmental performance of the *dashboard* made of polyphenylene sulfide composite (PPS, weight 197 g) with an alternative made in aluminum alloy (AL, weight 274 g). The implications of lightweighting for PPS chassi dashboard were analyzed for energy consumption and environmental impacts comparing an internal combustion vehicle (Toyota Corolla) and an electric vehicle (Nissan Leaf) and considering the Portuguese electricity mix (PT) or the Poland electricity mix (PL). Additionally, a break-even point was calculated for the vehicle travelled distance, for which the two components PPS and AL have the same life cycle impacts, based on a parametric analysis of the life cycle impacts (sum of the embodied impacts plus from the vehicle use).

LCA of component alternatives was developed for two system boundaries The first, from cradle to factory gate, to address the component production, that includes extraction and production of raw materials, manufacture of the component, treatment of production and distribution waste, adopting the functional unit “production of a chassi dashboard at KLC” to compare the production of the PPS and AL alternatives. The second system boundary is the life cycle of the component, but without specifically addressing the end of life phase, for which the the functional unit adopted was a chassi dashboard that guarantees mechanical support to the car displays throughout a vehicle's useful life driving 257494 kilometers. This second functional unit permits comparing the environmental performance of the two alternatives in a vehicle. In addition, a parametric analysis to calculate the distance to obtain the break-even point, for which the AL and PPS alternative have the same impacts. The life cycle model and inventory were

implemented with primary data provided by the KLC for the PPS component and, for the AL alternative, it was implemented with data from the literature (Liu et al., 2021).

The results obtained for the life cycle, comparing both alternatives of the chassi dashboard and using *cut-off* modeling, show that the PPS component has less environmental impacts than the AL alternative, except in the categories of ozone depletion, ionizing radiation, human carcinogenic toxicity, freshwater ecotoxicity and water use.

An analysis was also carried out, to the component production, of the methodological approaches existing in the models and inventory of the Ecoinvent 3 database, the *APOS* and *cut-off* system models. It was found that using *APOS* modelling, the PPS component has less impact than the AL alternative, and that with *cut-off* modelling, environmental trade off occurs, which results into a greater difference of the results, namely, when level of waste treatment processes that this methodology does not consider and that have a great influence on the *APOS* methodology for the component in AL.

The LCA carried for the out for the second system boundary shows that the environmental impacts of the PPS component are smaller than those of the AL component. Furthermore, the environmental impacts of the PPS component for the Nissan Leaf electric vehicle for the energy mix (PT or PL) are lower than those of the AL component. However, the PPS or AL component has significantly lower environmental impacts for the Toyota Corolla (diesel) vehicle compared to the Nissan Leaf electric vehicle for the energy mix for Poland, for acidification, terrestrial eutrophication and marine eutrophication categories, which is due to the Poland electricity production highly dependent on fossil resources. The highway driving mode has less environmental impacts that combined and city modes.

The parametric analysis of life cycle impacts as a function distance showed that, for most impact categories, the PPS component has less impacts than the AL alternative, except for ozone depletion, ionizing radiation, human toxicity carcinogenic, ecotoxicity freshwater, land use and water use, where the point of indifference is reached, but for a large distance. As a recommendation for future work: i) Carry out a detailed analysis to understand the causes of the influence verified in the use of the *APOS* and *cut-off* methodology by a detailed analysis for the various impact categories would be relevant, detailing the processes that influence each of the modelling types; ii) Carry out the LCA with the end of life phase due to the importance of plastics at this stage and in order to understand the influence on the life cycle impacts of the component in PPS.

Key words: Life Cycle Assessment, chassis-dashboard, polyphenylene sulfide composite, aluminum, Toyota Corolla (diesel), Nissan Leaf (electric)

Índice

Agradecimentos	I
Resumo	II
Abstract.....	IV
Abreviaturas.....	X
1. Introdução.....	1
1.1. Contexto e motivação	1
1.2. Objetivos	3
1.3. Estrutura da dissertação	3
2. Revisão Literata	4
3. Materiais e Métodos	14
3.1. Objetivo e Âmbito	14
3.2. Modelo e Inventário de ciclo de vida.....	16
3.2.1. Inventário da fase de produção	16
3.2.2. Consumos de combustível e energia dos veículos - Fase de uso.....	17
4. Resultados e Discussão	20
4.1. Análise comparativa à produção da peça em AL e PPS e à modelação <i>APOS</i> vs <i>cut-off</i>	20
4.2. Análise de ciclo de vida do <i>chassi dashboard</i> em PPS e em AL (<i>cut-off</i>)	23
4.3. Análise paramétrica dos impactes de ciclo de vida em função da distância: cálculo do ponto de indiferença.....	28
5. Conclusões	34
6. Referências Bibliográficas	37
Apêndice A	A-1
Apêndice B	B-1
Apêndice C	C-1

Índice de Figuras

Figura 3.1- Fluxograma do ciclo de vida da peça “chassi dashboard” em PPS e AL. A fase de montagem da peça no veículo foi desconsiderada.....	16
Figura 4.1- Comparação entre os diferentes tipo de modelação para um chassi dashboard em AL e em PPS.	22
Figura 4.2- Impactes de ciclo de vida do chassi dashboard em AL e em PPS na categoria de alterações climáticas.	24
Figura 4.3- Impactes de ciclo de vida do chassi dashboard em AL e em PPS na categoria de formação fotoquímica de ozono.	25
Figura 4.4- Impactes de ciclo de vida do chassi dashboard em AL e em PPS na categoria de acidificação.	25
Figura 4.5- Impactes de ciclo de vida do chassi dashboard em AL e em PPS na categoria de eutrofização terrestre.	26
Figura 4.6- Impactes de ciclo de vida do chassi dashboard em AL e em PPS na categoria de eutrofização marinha.	26
Figura 4.7- Impactes de ciclo de vida do chassi dashboard em AL e em PPS na categoria de uso de recursos fósseis.....	27
Figura 4.8- Impactes de ciclo de vida do chassi dashboard em AL e em PPS na categoria de uso de recursos minerais e metais.....	27
Figura 4.9- Análise paramétrica dos impactes de ciclo de vida na depleção de ozono da peça em AL e em PPS do Toyota Corolla em função dos km percorridos.....	29
Figura 4.10. Análise paramétrica dos impactes de ciclo de vida na depleção de ozono da peça em AL e em PPS do Nissan Leaf PT em função dos km percorridos.	30
Figura 4.11- Análise paramétrica dos impactes de ciclo de vida na depleção de ozono da peça em AL e em PPS do Nissan Leaf PL em função dos km percorridos.	30
Figura 4.12- Análise paramétrica dos impactes de ciclo de vida nas alterações climáticas da peça em AL e em PPS do Toyota Corolla em função dos km percorridos.	31
Figura 4.13- Análise paramétrica dos impactes de ciclo de vida nas alterações climáticas da peça em AL e em PPS do Nissan Leaf PT em função dos km percorridos.....	31
Figura 4.14- Análise paramétrica dos impactes de ciclo de vida nas alterações climáticas da peça em AL e em PPS do Nissan Leaf PL em função dos km percorridos.....	32
Figura C.1- Normalização alumínio - Berço à fase de uso.....	C-1
Figura C.2- Normalização PPS - Berço à fase de uso	C-1

Índice de Tabelas

Tabela 2.1-Revisão da Literatura.....	5
Tabela 3.1-Inventário da produção do chassi dashboard em PPS e em AL.	17
Tabela 3.2- Inventário de transporte para o chassi dashboard em PPS.	17
Tabela 3.3- Inventário de consumos de combustível na fase de uso para o modo de condução cidade, autoestrada e combinado.	18
Tabela 3.4- Inventário de veículos e consumos de combustível combinados utilizados para a obtenção dos impactes ambientais para as alternativas da peça.....	19
Tabela 4.1- Categorias de impacte selecionadas com base na normalização efetuada.	23
Tabela 4.2- Identificação do ponto de indiferença (quando ambas as alternativas da peça, AL e PPS nos mesmos veículos, têm os mesmos impactos ambientais para o ciclo de vida).....	33
Tabela A.1-Parametros tabelados, Kim et al., 2015.	A-1
Tabela A.2-Resultados intermédios obtidos.....	A-1
Tabela A.3 - Resultados finais.....	A-1
Tabela B.1-Diferenças relativas AL – PPS, dos impactes ambientais do berço ao portão para a modelação APOS e cut-off.	B-1
Tabela B.2- Comparação modelação APOS vs cut-off para o Diesel.	B-1

Abreviaturas

ACV – Avaliação de Ciclo de Vida

AICV – Avaliação de Impactos de Ciclo de Vida

AL – Liga de alumínio

APOS – Alocação no ponto de substituição

BEV – Veículo com motor a bateria

Cut-off – Alocação, corte por substituição

CTUh – Unidades tóxicas de comparação para humanos

CTUe – Unidades tóxicas de comparação para ecossistemas

DGAE – Direção Geral de Atividades Económicas

Disease inc. – Incidência de doença

EPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

FRV – Valor de redução de combustível

ICEV – Veículo com motor de combustão interna

KLC – Indústria de Transformação de Matérias Plásticas, Lda

kBq U-235 eq – Quilobecquerel de urânio 235 equivalente

kg CO₂ eq – Quilograma de dióxido de carbono equivalente

kg CFC11 eq – Quilograma de clorofluorcarboneto 11 equivalente

kg NMVOC eq – Quilograma de composto orgânico volátil não metano equivalente

kg P eq – quilograma de fósforo equivalente

kg N eq – quilograma de azoto equivalente

kg Sb eq – quilograma de antimónio equivalente

KWh – Quilowatt-hora

m³ depriv. - metro-cúbico mundial utilizado

MIF – Combustível induzido pela massa

MJ - Megajoule

mol H⁺ eq – mol de hidrogénio equivalente

mol N eq – mol de azoto equivalente

PL – Polónia

PPS – Sulfeto de polifenileno

PT – Portugal

Pt – por tonelada

1. Introdução

1.1. Contexto e motivação

A indústria automóvel é uma das maiores a nível mundial, representando um papel importante na economia global. Em Portugal, a indústria automóvel tem um peso significativo constituindo-se como um dos principais setores em termos de criação riqueza, emprego e inovação tecnológica. Atualmente, o setor enfrenta importantes desafios, principalmente ao nível ambiental e regulamentar com a necessidade de uma transição energética no caminho da sustentabilidade e neutralidade carbónica. Estes desafios acabam por impor uma grande transformação das empresas do setor, em termos de competências do capital humano, dos processos produtivos ou da gestão de inventários, de forma a serem mais competitivas, DGAE, (2022).

A base desta indústria assenta na produção de componentes automóveis que se direciona no caminho da melhoria do desempenho ambiental. Segundo Ferreira et al., 2019, um dos pontos abordados pelo setor diz respeito ao peso dos veículos que influencia o consumo de combustível, pois cerca de um terço do consumo total depende diretamente de sua massa. Deste modo a redução de peso tem sido reconhecida pela comunidade científica como uma das principais medidas para reduzir o consumo de combustível, através da introdução de materiais mais leves substituindo os tradicionais, (Ferreira et al., 2019). Neste âmbito, a redução dos impactos dos Veículos com Motor de Combustão Interna (ICEV) e dos Veículos com Motor a Bateria (BEV) através da redução de peso pode ser analisada utilizando Avaliação de Ciclo de vida (ACV), de modo a ter uma visão global de ciclo de vida, evitando desvios ambientais assim como uma visão parcial do ciclo de vida. ACV é uma das metodologias mais utilizada para avaliar impactos ambientais e comparar soluções alternativas de design, Delogu et al., 2017.

Na análise à literatura, constata-se que apenas Spreafico C., 2021, Delogu et al., 2017, Kim, H. C., & Wallington, T. J. 2016 e Vinodh et al., 2012 efetuaram estudos de ACV que abordam o uso de componentes automóveis em veículos elétricos. Para além disso, existe a ausência de estudos sobre *chassi dashboard*, bem como a comparação do desempenho ambiental de um componente em veículos elétricos e veículos convencionais e também uma análise completa ao nível da influência da redução de peso, nos impactes de uma peça em veículos elétricos e convencionais. Assim, para o estudo de componentes automóveis é importante analisar detalhadamente os consumos dos veículos na fase de uso e a inserção de diferentes veículos e motorizações. Do ponto de vista ambiental, é muito relevante aplicar ACV

para encontrar as melhores soluções e alternativas nos materiais utilizados nas peças, para apoiar a tomada de decisão.

A presente dissertação avalia o ciclo de vida de um “*chassi dashboard*” que dá suporte mecânico aos mostradores do automóvel (conta-quilómetros, velocímetro, entre outros). A ACV realizada surge no âmbito do projeto BetterPlastics, que tem o Centro para a Ecologia Industrial da Universidade de Coimbra como parceiro, assim como a empresa KLC (Indústria de Transformação de Matérias Plásticas, Lda.), uma empresa especializada na produção e transformação de componentes poliméricos injetados para a indústria automóvel, médica e eletrónica, no intuito de identificar *hotspots* (pontos críticos), *trade-offs* (trocas) ambientais e oportunidades de melhoria para reduzir os impactes de ciclo de vida do veículo. O caso em estudo avalia e compara especificamente o desempenho ambiental da peça feita em compósito de sulfeto de polifenileno (PPS, peso 197 g) e uma alternativa em liga alumínio (AL, peso 274 g) e analisa as implicações da redução de peso para o consumo de energia e para os impactos ambientais, considerando um veículo de combustão interna (Toyota Corolla) e um veículo elétrico (Nissan Leaf) (mix energético PT ou PL), comparando as diferentes motorizações. No intuito de identificar a distância, em que ambas as alternativas da peça têm os mesmos impactes ambientais, ponto de indiferença (*break-even point*), foi efetuada uma análise paramétrica dos impactes de ciclo de vida (incorporados na peça e da utilização no veículo) em função da distância. Devido à existência de dois tipos de modelação (*APOS* e *cut-off*) na base de dados do Ecoinvent 3, efetuou-se uma comparação entre ambas de modo a perceber as diferenças que estas poderiam provocar nos resultados.

A ACV da peça foi desenvolvida para duas fronteiras de sistema. A primeira, para a produção da peça, inclui a extração e produção de matérias-primas, manufatura da peça, tratamento de resíduos de produção e distribuição), e tem como unidade funcional “a produção de um *chassi dashboard* na KLC” com objetivo de comparar a produção das alternativas PPS e AL. A segunda fronteira, diz respeito ao ciclo de vida (excluindo o final de vida) e definiu-se como unidade funcional “um *chassi dashboard* que garante o suporte mecânico aos mostradores do automóvel ao longo da vida útil do veículo”. Esta segunda unidade funcional foi definida para comparar o desempenho ambiental das alternativas da peça num veículo e ainda, efetuar uma análise paramétrica em função dos quilómetros percorridos de forma a obter o ponto no qual ambas as peças, AL e PPS, apresentam os mesmos impactes (ponto de indiferença).

1.2. Objetivos

O principal objetivo desta tese é avaliar os impactos ambientais de um componente automóvel, o “*chassi dashboard*”, através da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), no intuito de identificar *hotspots* (pontos críticos), *trade-offs* (trocas) ambientais, e oportunidades de melhoria para reduzir os impactos de ciclo de vida do veículo, com os seguintes objetivos específicos:

- Analisar e comparar os impactos ambientais de um *chassi dashboard* em compósito de sulfeto de polifenileno com uma peça semelhante em liga de alumínio;
- Comparar os impactos ambientais das alternativas para o *chassi dashboard* usando diferentes abordagens metodológicas existente nos modelos e inventário da base de dados Ecoinvent 3- modelos de sistema “Alocação no ponto de substituição” (*APOS*) e “Alocação, corte por classificação” (*cut-off*);
- Avaliar as implicações ambientais da redução de peso do componente *chassi dashboard*, comparando veículos convencionais e elétricos bem como diferentes modos de condução;
- Efetuar uma análise paramétrica dos impactos de ciclo de vida em função da distância para determinar se as duas alternativas da peça apresentam o ponto de indiferença para os impactos, a partir do qual há uma inversão na alternativa que passa a ter o melhor desempenho ambiental.

1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação está organizada em cinco capítulos, incluindo esta introdução. O Capítulo 2 analisa estudos de ACV relevantes sobre componentes automóveis, de modo a identificar e destacar os principais contributos desta tese. O Capítulo 3 descreve os materiais e métodos usados para avaliar o desempenho ambiental de um *chassi dashboard* produzido em AL ou em PPS. O Capítulo 4 apresenta e discute os resultados obtidos. Por fim, o Capítulo 5 apresenta as conclusões e limitações deste estudo, bem como sugestões para trabalhos futuros.

2. Revisão Literatura

Nesta secção são analisados os estudos de ACV existentes na literatura, resultantes da pesquisa na base de dados “*Web of Science*” no intuito de identificar estudos de ACV no setor automóvel que possam servir de suporte a este estudo, em aspetos teóricos e metodológicos. A seleção dos artigos foi feita através de filtragem na base de dados usando como palavras-chave “*automotive*”, “*components*” e “*Life Cycle Assessment*”. Obteve-se como resultado 60 artigos científicos dos quais, 41 foram excluídos por não serem relevantes dado que não abrangiam pontos como a modelação das fases de produção e uso, por não serem objetivos, claros e por apresentarem limitações relativamente a ACV em componentes automóveis, tendo apenas sido considerados 18 artigos.

Na análise à literatura, constata-se que apenas Spreafico C., 2021, Delogu et al., 2017, Kim, H. C., & Wallington, T. J. 2016 e Vinodh et al., 2012 efetuaram estudos de ACV que abordam o uso de componentes automóveis em veículos elétricos. Para além disso, existe a ausência de estudos sobre *chassi dashboard*, bem como da comparação do desempenho ambiental de um componente em veículos elétricos e veículos convencionais e também uma análise completa ao nível da influência da redução de peso, nos impactes de uma peça em veículos elétricos e convencionais.

Na Tabela 2.1 encontram-se resumidas as principais características dos estudos analisados: tipo de ACV, fronteiras do sistema, unidade funcional, materiais, fase de produção, fase de uso, método de LCIA e categorias de impacto.

Tabela 2.1-Revisão da Literatura

Referência	Notas de LCA	Fronteiras do sistema	Unidade Funcional	Materiais	Fase de Produção	Fase de Uso	Método de LCIA	Categorias de Impacto
Ghosh et al., 2021	ACV ao subquadro frente produzido em fibra de carbono reforçado	Berço ao túmulo	Chassi dianteiro de um Ford Fusion com uma vida útil assumida de 160.000 milhas percorridas	Aço	Estampagem e soldagem	Kim, H. C., & Wallington, T. J. (2013) Kim, H. C., & Wallington, T. J. (2016)	GREET e IPCC	AC e PEP
				Polímero reforçado com fibra de carbono	*composto de moldagem de chapas e processo de moldagem por compressão *peças menores de aço inoxidável (usinagem ou estampagem)			
Spreafico C., 2021	ACV de componentes automóveis -Benefícios ambientais de acordo com o peso do carro e motorização	Berço ao túmulo. (excluindo transportes de matéria-prima e produto acabado)	Distância percorrida pelo automóvel, de 100 km em condições mistas urbana/interurbana	Fibra de vidro, de base biológica		Coeficiente de redução do impacto do ciclo de vida por kg de massa reduzida	Midpoint ReCiPe	AC
				Aço, Avançado, Aço de alta resistência, Alumínio (Quadro estrutural)	Laminação e forjamento, estampagem, soldagem			
				Fibra de carbono (Quadro estrutural)	Modelagem, cura, desmoldagem, colagem e flangeamento			
				Aço e alumínio (quadro frontal)	Estampagem			
				Magnésio (quadro frontal) e Aço e alumínio (travessa)	Fusão e fundição			
				Aço (abertura da grelha reforçada)	Estampagem			
				Magnésio	Processo Pidgeon, fundição			
				Fibra de carbono	Moldagem por injeção			
				Aço, Aço Avançado de Alta Resistência, Alumínio (capota)	Moldagem			
				Alumínio (de molde com baixa pressão e com compressão) (capota)	Moldagem de baixa pressão, moldagem por compressão			
				Aço, alumínio, alumínio leve (portas)	Moldagem quente(laminado), derretimento (reforços)			
Polipropileno + fibra de vidro, Polipropileno + celulose	Moldagem por injeção e termoformagem							

Roy et al., 2020	ACV de um componente automóvel produzido a partir de biocompósito	Berço ao túmulo	441 cm ³ de componente automóvel	Polipropileno reforçado com talco e colorante	Composição e Moldagem	Kim, H. C., & Wallington, T. J. (2013)	TRACI 2.1, v. 1.01	AC, DO, A, E, N-C, C, OR
				Polipropileno reforçado com bio carbono e fibras naturais (Miscanthus)				
Ferreira et al., 2019	ACV de componentes automóveis leves à base de liga de alumínio reforçada com nano diamante	Berço ao túmulo (excluindo o processo de montagem)	Uma cabeça do cilindro e subestrutura do veículo	Aço	Onda de choque e mistura turbulenta de produtos de detonação	Não identificado	CML	AC, DO, A, E, FFO, TH;
				Alumínio reforçado com nano diamante				
Delogu et al., 2017	ACV comparativa entre soluções mais leves à base de compósitos e material híbrido para automóveis elétricos e referências semelhantes	Berço ao túmulo	Um módulo montado sobre um veículo elétrico com vida útil de 150.000 km por 10 anos	Não identificado	Não identificado	Kim, H. C., & Wallington, T. J. (2013)	CML 2001 e CED	AC, PEC, PEP, DO, E, DA, FFO;
Sun et al., 2017	ACV comparativa entre componentes automóveis de aço de alta resistência, alumínio e fibra de carbono	Berço ao túmulo	o serviço de transporte de um capô de motor utilizado em um automóvel de passeio ao longo de sua vida útil de 150.000 km	Aço	Branqueamento e estampagem, soldagem, colagem adesiva, flangeamento	Koffler & Rohde-Brandenburger 2010	CED e IPCC	AC e PEC
				Aço de alta resistência	Branqueamento e estampagem, soldagem, colagem adesiva, flangeamento			
				Alumínio	Extrusão, fundição, estampagem, colagem adesiva, flangeamento			
				Polímero reforçado com fibra de carbono	Produção de filme composto para moldagem de chapas, moldagem por compressão, colagem adesiva, flangeamento			
Boland et al., 2016	ACV dos compósitos de fibras naturais para aplicações automóveis: Efeitos das energias renováveis e da redução de peso	Berço ao túmulo	Um substrato de consola semi-estrutural com volume fixo num veículo que percorre 180000 milhas	Polipropileno reforçado com fibra de vidro	Extrusão e moldagem por injeção	Kim, H. C., & Wallington, T. J. (2013)	CED e IPCC	AC e PEC
				Polipropileno reforçado com fibra natural				
				Polipropileno reforçado com fibra de celulose				

Delogu et al., 2016	ACV comparativa entre compósito reforçado com talco e compósito com microesferas de vidro oco como reforço plástico, aplicadas no painel de um veículo	Berço ao túmulo	1 painel de bordo automóvel, suportando e abrigando toda a instrumentação para o uso do veículo, a ser montado no motor diesel Alfa Romeo Mito 955, com vida útil de 150.000 km por 10 anos	Polipropileno reforçado com talco	Termoformagem via vácuo, Moldagem, Lavagem, Moldagem	Koffler & Rohde-Brandenburger, (2010)	CML 2001	AC, DO, A, E, PEP, DA, EM TH, FFO, E-AM;
				Polipropileno com microesferas de vidro oco				
Kim, H. C., & Wallington, T. J. (2016)	ACV na redução de peso dos veículos utilizando um modelo baseado em física para estimar o consumo de combustível da fase de uso de veículos eletrificados	Berço ao portão	Uma grelha de abertura reforçada utilizada pela FORD nos modelos Fusion ICEV e HEV, C-MAX PHEV e Focus BEV	Aço	Não identificado	Kim, H. C., & Wallington, T. J. (2016)	GREET	AC
				Compósito de fibra de carbono/epóxi				
Poulidikou et al., 2016	ACV comparativa entre compósito reforçado com fibra de vidro e uma mistura termoplástica com polietileno tereftalato auto-reforçado (SrPET)	Berço ao túmulo	Dois painéis exteriores - spoilers de ar - (direito e esquerdo) para um caminhão pesado	Compósito reforçado com fibra de vidro	Moldagem por compressão	Abordagem de alocação de peso (Ecoinvent)	CED e GWP	AC e PEC
				Polícarbonato/ Polietileno tereftalato	Moldagem por injeção			
				Polietileno tereftalato autorreforçado	Compressão e moldagem por injeção combinadas (dados estimados)			
Kim et al., 2015	ACV na redução de peso dos veículos aplicando novos métodos matemáticos para estimar o	Berço ao portão	Uma grelha de abertura reforçada utilizada num veículo com uma vida útil de 257.500 km	Aço Magnésio	não identificado	Kim et al., (2015)	GREET 2014	GWP
Koffler C., 2014	ACV comparativa entre polímeros de fibra de vidro reforçada e ligas de aço	Berço ao túmulo	Fornecer rigidez que satisfaça os requerimentos da GMW ao longo de uma vida útil do veículo de 241402 km.	Aço (apoios)	Desenho profundo e revestimento Composição e moldagem por injeção Desenho profundo e revestimento	Koffler & Rohde-Brandenburger (2010)	TRACI e CML	AC, A, E, ENR
				Polímero reforçado com fibra de vidro (apoios)				
				Aço (encostos)	Composição e moldagem por injeção			
				Polímero reforçado com fibra de vidro (encostos)				
Raugei et al., 2014	ACV comparativa entre o processo de conformação de chapas alumínio conformação e têmpera in-die	Berço ao túmulo	1 Piso completo para um veículo de passageiros da classe C	Não identificado	Tratamento térmico, conformação e têmpera in-die; Conformação tradicional	Koffler & Rohde-Brandenburger, 2010	CED e CML	AC, PEC, A, TH
Vinodh et al., 2012	ACV de painel de instrumentos de um carro elétrico	Berço ao túmulo	Folha de Acrilonitrila-Butadieno-Estireno que é utilizada para fazer a montagem do painel de instrumentos	Acrilonitrila-Butadieno-Estireno	Polimerização, moldagem por injeção, desumidificação e formação de vácuo	Não identificado	CML e EI 99	AC, DO, A, E, DAF, OR, UT, E-T, IR;

Witik et al., 2011	ACV comparativa de compósitos poliméricos leves com magnésio e aço para um componente representativo	Berço ao túmulo	Uma antepara de veículo durante uma vida útil de 200.000 quilômetros	Aço	Estampagem	Abordagem de alocação de peso (Ecoinvent)	Impact 2002+	AC, TH, R, E
				Magnésio	Fundição sob pressão			
				Poliamida	Moldagem por prensa			
				Compostos para moldagem de chapas	Moldagem por prensa			
				Polímero reforçado com fibra de vidro	Moldagem por injeção reativa			
				Polímero reforçado com fibra de carbono	Moldagem por injeção reativa			
Alves et al., 2010	Ecodesign de componentes automóveis fazendo uso de compósitos de fibra de juta natural	Berço ao túmulo	A tampa do motor de 0,35 m ² que atinge o desempenho mecânico e estrutural exigido	Polímero reforçado com fibra de vidro)	Aclaramento/secagem e injeção	Modelo obtido na literatura	Eco-Indicator 99	AC, DO, A, E, OR, UT, ECO, IR
				Composito de fibra de juta				
Luz et al., 2010	ACV comparativa da substituição de talco por bagaço de cana-de-açúcar como reforço de compósitos de polipropileno	Berço ao túmulo	Área de superfície fabricada em m ²	Polipropileno+talco	Extrusão e Moldagem por Injeção	Modelo que fornece informações sobre consumo de combustível hipotético em função da redução do peso nos veículos	CML 2001	AC, DO, A, E, DA, FFO
				Compósitos à base de bagaço de cana-de-açúcar				
Munõz et al., 2006	ACV Comparativa de painel de porta de plástico e protótipo de painel projetado para reciclagem	Berço ao túmulo	1 painel	Polipropileno estrutura principal (painel atual e protótipo)	Moldagem por injeção, montagem de painéis, calandragem, extrusão de folhas, produção de fibras, galvanoplastia, aparafusamento, fundição de zamak	Modelo obtido na literatura	Abordagem midpoint (Udo de Haes et al. 1999)	AC, A, E, DA, TH, DAF, FFO
				Policloreto de vinila (painel atual)				
				Olefinas termoplásticas (protótipo)				
				Polietersulfona/ Poliuretano (painel atual)				
				Polióxido de Metileno (painel atual)				

Categorias de impacte: Alterações climáticas, AC; Depleção de ozono, DO; Toxicidade humana, TH; Formação fotoquímica de ozono, FFO; Eutrofização, E; Radiação ionizante, RI; Ecotoxicidade terrestre, ET; Partículas, P; Ecotoxicidade água doce, EAD; Acidificação, A; Uso da terra, UT; Depleção abiótica, DA; Elementos de depleção abiótica, EDA; Depleção abiótica fóssil, DAF; Consumo de água doce, CAD; Depleção de metal, DM; Eutrofização terrestre, E-T; Eutrofização aquática marinha, E-AM; Ecotoxicidade marinha, EM; Ecossistema, Eco; Recursos, R; Procura de energia primária, PEP; Procura de energia cumulativa, PEC; Carcinogénicos, C; Não-carcinogénicos, N-C; Orgânicos respiratórios, OR; Inorgânicos respiratórios, IR; Ecotoxicidade aquática, E-A; Energia não renovável, ENR.

A tabela 2.1, está organizada por ordem decrescente de ano de publicação e sintetiza os aspetos principais de artigos direcionados para ACV de componentes automóveis e a sua análise dividiu-se em três grandes grupos. De um ponto de vista global, esta análise seccionada, assenta na identificação de artigos de aplicação de comparações de polímeros reforçados com fibras de carbono e de vidro, aço, alumínio, magnésio, entre outros materiais, artigos de comparação entre polímeros com cargas minerais/fibras naturais e artigos focados no consumo de combustível na fase de uso. A separação efetuada pretende por um lado, apoiar a presente dissertação ao nível dos materiais e processos de produção efetuados na manufatura dos componentes automóveis utilizados e, por outro lado, perceber a modelação da fase de uso dos componentes dos veículos bem como a sua aplicabilidade.

O primeiro grupo abrange artigos de aplicação de comparações de polímeros reforçados com fibras de carbono e de vidro, aço, alumínio, magnésio, entre outros.

Segundo Ghosh et al., 2021, o subquadro de polímero reforçado de fibra de carbono (PRFC) tem 9% mais emissões de gases de efeito estufa no ciclo de vida e 17 % mais consumo de energia primária do que o subquadro convencional e, relativamente a esta alternativa, a fase de produção apresenta benefícios nas categorias de impacto procura de energia primária e aquecimento global. Spreafico C., 2021 apresenta uma abordagem que combina diferentes alternativas de materiais para veículos de diferentes motorizações de forma a perceber as soluções mais vantajosas, redução de peso e de volume dos veículos, e assim melhorar o desempenho ambiental. De um modo genérico constatou-se uma redução nos impactos gerais do veículo nas alterações climáticas, entre 7 % e 14 % resultante da combinação das melhores alternativas para cada componente analisado, tendo se verificado que a maior vantagem foi garantida para os veículos de combustão interna o que se deve ao facto das alternativas mais leves, como a fibra de carbono, levar a uma maior redução no consumo de combustível comparativamente a outras motorizações, enquanto em termos de tamanho, o veículo pequeno foi o que mais beneficiou devido à redução de impactes nas alterações climáticas em 51% induzida pela melhoria da estrutura do veículo. No que diz respeito aos materiais utilizados, o alumínio apresenta os melhores resultados na redução de peso comparativamente à fibra de carbono e magnésio, cujos maiores impactos na extração de materiais, fabricação e fim de vida comprometem a diminuição de impactes verificada na fase de uso.

Ferreira et al., 2019, compararam componentes de automóveis de aço e de uma alternativa de alumínio concluindo que na fase de produção, o alumínio apresenta maiores impactos que o aço para ambos os componentes, o que pode ser atribuído às grandes quantidades de energia e materiais necessários para produzir alumínio primário. Delogu et al., 2017 após a realização de ACV comparativa entre soluções mais leves à base de compósitos e material híbrido para automóveis elétricos e referências semelhantes foi possível perceber que a utilização dos

materiais inovadores permite uma redução de peso entre 16% e 55%. No entanto, a combinação dos novos materiais com soluções de base metálica revelou-se pouco sustentável devido ao grande impacto gerado pela etapa de produção dos novos materiais, que supera as vantagens observadas na etapa de uso. A depleção abiótica tem na generalidade uma tendência diferente comparativamente a categorias de impacto como aquecimento global e procura de energia primária devido ao processamento de resinas na fase de produção. Sun et al., 2017 comparou componentes automóveis de aço de alta resistência, alumínio e fibra de carbono e concluiu que o aço de alta resistência tem menores impactos nas categorias de impacto alterações climáticas e procura de energia primária. Esta diferença deve-se sobretudo a um maior consumo de energia e produção de emissões de gases de efeito de estufa pela fibra de carbono e o alumínio na fase de produção.

Raugei et al., 2014 focaram-se no processo de conformação de chapas aluminios comparativamente à conformação e têmpera in-die tendo verificado, na aplicação dos processos, que a grande diferença está inerente à energia adicional necessária para o processo têmpera in-die a qual é compensada pelos benefícios resultantes em termos de reciclabilidade aprimorada no final da vida útil. Witik et al., 2011 compararam uma vasta gama de materiais efetuando uma ACV comparativa de compósitos poliméricos leves (poliamida, compostos para moldagem de chapas, polímero reforçado com fibra de vidro e polímero reforçado com fibra de carbono) com magnésio e aço para um componente representativo tendo sido possível concluir que materiais com muitos impactos ambientais, como compostos de moldagem de chapas, apresentaram menores impactos ambientais, apesar de não serem reciclados, comparativamente a outros materiais mais leves. Munõz et al., 2006 procedeu à elaboração da ACV comparando um painel de porta de plástico e um protótipo de painel projetado para reciclagem tendo concluído que a redução geral do impacto varia de 18% nos indicadores de toxicidade a 80% no uso de aterros sanitários, a recuperação de energia em fornos de cimento aparece como uma boa alternativa à reciclagem em alguns indicadores e os benefícios da reciclagem são reduzidos se a substituição total não for alcançada.

O segundo grande grupo abrange artigos de comparação entre polímeros com cargas minerais/fibras naturais.

Roy et al., 2020 efetuaram um estudo de ACV no qual inclui uma componente biológica nas alternativas a componentes automóveis e, concluiu da comparação entre polipropileno reforçado com talco e colorante com polipropileno reforçado com bio carbono e fibras naturais (*Miscanthus*), compósito usual e biocompósito, respetivamente, que este último, tem impactos ambientais ligeiramente maiores devido aos materiais que o compõe e aos impactos associados aos mesmos. No entanto, na fase uso verifica-se que os impactos ambientais do ciclo de vida do polipropileno reforçado com bio carbono e fibras naturais (*Miscanthus*), foram menores em

comparação com o compósito usual, devido à redução de peso. Boland et al., 2016, abordam soluções inovadoras aplicando uma ACV para determinar os impactos no ciclo de vida dos compósitos de fibras naturais para aplicações automóveis tendo em conta os efeitos das energias renováveis e da redução de peso. Deste artigo a principal conclusão é que veículos com um maior valor de consumo de combustível induzido pela massa (MIF) sofrem um efeito maior na poupança no consumo de energia e redução de emissões de gases de efeito de estufa com a redução do peso.

Delogu et al., 2016, faz uma ACV de materiais pouco convencionais, comparando um compósito de polipropileno reforçado com talco com um compósito de polipropileno reforçado com microesferas de vidro oco, aplicadas no painel de um veículo. Da análise efetuada ao artigo evidencia-se a nível dos resultados que, em geral, o polipropileno reforçado com microesferas de vidro oco apresenta uma redução de impactos entre 2 a 16 %, nas categorias de aquecimento global, depleção de ozono, acidificação, eutrofização, procura de energia primária, depleção abiótica, ecotoxicidade marinha, toxicidade humana, formação fotoquímica de ozono e eutrofização aquática marinha. Por outro lado, na fase de produção, o polipropileno reforçado com microesferas de vidro oco é responsável por maiores impactos nas categorias depleção abiótica, eutrofização marinha, ecotoxicidade marinha e depleção de ozono, o que se deve às matérias-primas necessárias, em particular a sílica, que produz um esgotamento de recursos duas vezes maior do que o processamento de talco. Relativamente à fase de uso, efetuou-se uma análise paramétrica em função dos quilómetros percorridos de forma a obter o ponto no qual ambos compósitos, apresentam os mesmos impactes (ponto de indiferença) e concluiu-se que esse ponto se atinge aos 41500 km, a partir do qual, o polipropileno com microesferas de vidro oco, apresenta menores impactes ambientais na categoria de alterações climáticas. Poulikidou et al., 2016 efetuou um estudo a dois painéis laterais dos spoilers de ar de um camião no intuito de comparar os materiais utilizados na produção, policarbonato ou polietileno tereftalato, compósito reforçado com fibra de vidro e uma mistura termoplástica com polietileno tereftalato auto-reforçado. Este último, após a realização da ACV, apresentou um impacto ambiental 25% menor nas categorias de procura de energia cumulativa e alterações climáticas, comparativamente ao compósito reforçado com fibra de vidro que apresenta o maior impacto entre as três alternativas.

Vinodh et al., 2012, realizou um estudo focado nos veículos elétricos, avaliando um painel de instrumentos de um carro elétrico fabricado em Acrilonitrila-Butadieno-Estireno (ABS) tendo-se concluído que existem impactes ambientais significativos na fase de produção de matérias-primas (processo de moldagem por injeção) na categoria de alterações climáticas. Além disso, verificou-se que o processo de desumidificação produz quantidades máximas de CFCs e NOx. Alves et al., 2010 aplicaram ACV ao ecodesign de componentes automóveis fazendo uso de

compósitos de fibra de juta natural e de polímero reforçado com fibra de vidro, tendo concluído que as tampas produzidas em polímero reforçado com fibra de vidro apresentam, em todo o ciclo de vida, maiores impactes ambientais (média de 9%) nas categorias alterações climáticas, depleção de ozono, acidificação, eutrofização, orgânicos respiratórios, uso da terra, ecossistema e inorgânicos respiratórios, em comparação com a tampa de compósito de fibra de juta, o que se deve ao seu maior peso e consumo de combustível na fase de uso. Luz et al., 2010 efetuou ACV comparativa à substituição de talco por bagaço de cana-de-açúcar como reforço de compósitos de polipropileno e concluiu que para todo o ciclo de vida, o propileno reforçado com a fibra natural apresenta menos impactes que a alternativa de reforço com talco na categoria de alterações climáticas. Isto deve-se ao facto de na fase de cultivo, a cana-de-açúcar absorve carbono pelo processo de fotossíntese durante o crescimento, reduzindo o impacto do aquecimento global dos materiais utilizados; o processo de produção ser mais limpo; os compósitos reforçados com bagaço de cana-de-açúcar são mais leves para desempenho equivalente, o que reduz a quantidade de polipropileno utilizada; e o reaproveitamento económico proposto para o composto bagaço de cana-de-açúcar foi a melhor alternativa para minimizar os impactos ambientais.

O terceiro e último grupo aborda artigos focados no consumo de combustível na fase de uso e aplicação de metodologias para o seu cálculo.

Koffler C., 2014 efetuou ACV comparando polímeros de fibra de vidro reforçada e ligas de aço. Previsivelmente, a substituição da liga de aço por polímero de fibra de vidro leva, em geral, a uma melhoria ambiental se for assumido que a redução do peso total do veículo permite uma adaptação do trem de força (redução da cilindrada do motor ou alongamento da relação de transmissão) preservando o desempenho do veículo. A metodologia adotada, Koffler & Rohde-Brandenburger, 2010, foi analisada detalhadamente visto que poderia servir para analisar o consumo de combustível dos veículos na presente dissertação, tendo-se vindo a constatar, que a mesma generaliza o tipo de veículo, marca, modelo entre outros aspetos o que à partida poderia ser aplicável aos veículos selecionados, mas sempre com um maior grau de incerteza associado. No entanto, esta metodologia é apenas aplicável a veículos de combustão interna o que fez com que a hipótese de utilização da mesma fosse excluída.

Kim et al., 2015 apresentam um estudo onde concluem, que o consumo de combustível da fase de uso pode ser estimado em ACVs de redução de peso dos veículos a partir de perspetivas totais do veículo e dos componentes do veículo com e sem redimensionamento do trem de força. Kim & Wallington, 2016, propõe uma abordagem metodológica focada em estimar os consumos de combustível para vários tipos de veículos seguindo estudos passados efetuados

pelos mesmos autores, Kim et al., 2015, fazendo uma atualização da metodologia para incluir veículos eletrificados.

A metodologia de Kim & Wallington, 2016, foi a escolhida para elaboração da presente dissertação devido à inclusão de todos os tipos de veículos e à particularidade de permitir obter os consumos de combustível para um veículo de marca e modelo específico afastando a generalização feita por pela metodologia de Koffler C., 2014. De forma mais concreta o estudo Kim & Wallington, 2016 propõe um método para estimar o consumo de combustível induzido pela massa e os valores de redução de combustível para modelos específicos de veículos com motor de combustão interna e veículos elétricos. O consumo de combustível induzido pela massa é definido como a soma do consumo de combustível atribuído ao trabalho dependente da massa e a parcela de massa das perdas por atrito do motor correspondente ao consumo de combustível da linha de base, enquanto o FRV é definido como a taxa de mudança do consumo de combustível do veículo após a redução de peso.

Da análise do artigo e aplicação da metodologia que os autores propõem, pôde aferir-se que o modelo de consumo de combustível de fase de uso para veículos com motor a combustão interna pode ser aplicado a veículos elétricos incorporando a recuperação de energia por travagem regenerativa e a eficiência de conversão de energia do sistema híbrido. Os veículos elétricos apresentam os menores impactos embora nestes a redução de peso não tenha um efeito tão significativo como em veículos de combustão interna, Kim & Wallington, 2016.

Sintetizando a informação acima descrita, pode-se notar que:

- Apenas 4 estudos de ACV abordam veículos elétricos (Spreafico C., 2021; Delogu et al., 2017; Kim, H. C., & Wallington, T. J. 2016 e Vinodh et al., 2012);
- As alterações climáticas (AC) são a categoria de impacto mais comum nos estudos, seguida por PEP/PEC, DO, A, E, DA, EM, TH, FFO, E-AM, ET.

A revisão da literatura vem confirmar as lacunas existentes na mesma quanto à ausência de estudos sobre *chassi dashboard*, bem como da comparação do desempenho ambiental de componentes automóveis em veículos elétricos e convencionais e também a inexistência de uma análise completa ao nível dos impactos da redução de peso.

3. Materiais e Métodos

Neste capítulo é apresentado o modelo de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) desenvolvido para diferentes alternativas para o *chassi dashboard* produzido pela KLC. Todas as considerações e processos relevantes do ciclo de vida encontram-se aqui descritos. A secção 3.1 diz respeito ao objetivo e âmbito. A secção 3.2 apresenta o modelo e inventário de ciclo de vida.

3.1. Objetivo e Âmbito

A KLC (Indústria de Transformação de Matérias Plásticas, Lda.) é uma empresa especializada na produção e transformação de componentes poliméricos injetados para a indústria automóvel, médica e eletrónica. A peça selecionada pela KLC para o estudo de ACV é o “*chassi dashboard*” que dá suporte mecânico aos mostradores do automóvel (contaquilómetros, velocímetro, entre outros) e é produzida através da tecnologia de injeção e usando como matéria-prima um compósito de sulfeto de polifenileno (PPS) com adição de negro de fumo, fibra de vidro e cargas minerais.

O objetivo da Avaliação de Ciclo de Vida é analisar e comparar o desempenho ambiental de diferentes alternativas para o *chassi dashboard*. O caso de estudo consiste na comparação da peça de compósito de sulfeto de polifenileno (PPS), atualmente em produção na KLC, com uma peça semelhante em liga de alumínio (AL), produzida habitualmente por empresas concorrentes.

A ACV da peça foi desenvolvida para duas fronteiras de sistema, como esquematizado na figura 3.1. A primeira, produção da peça, inclui a extração e produção de matérias-primas, manufatura da peça, tratamento de resíduos de produção e distribuição), e tem como unidade funcional “a produção de um *chassi dashboard* na KLC” com objetivo de comparar a produção das alternativas PPS e AL. A segunda fronteira, diz respeito ao ciclo de vida (excluindo o fim de vida da peça) e definiu-se como unidade funcional “um *chassi dashboard* que garante o suporte mecânico aos mostradores do automóvel ao longo da vida útil do veículo, considerando 257494 km percorridos”. Esta segunda unidade funcional foi definida para comparar o desempenho ambiental das alternativas da peça num veículo. Adicionalmente, foi efetuada uma análise paramétrica em função dos quilómetros percorridos, de forma a obter o ponto de indiferença, para o qual ambas as peças, AL e PPS, apresentam os mesmos impactes.

Esta ACV pretende ainda:

- Comparar dois tipos de abordagens metodológicas existente nos modelos e inventário da base de dados Ecoinvent 3- modelo de sistema “Alocação no ponto de substituição” (*APOS*) o qual “segue uma abordagem atribucional em que a responsabilidade sobre os resíduos (ônus) é compartilhada entre produtores e usuários subsequentes beneficiando-se dos processos de tratamento utilizando produtos valiosos gerados nestes”, Ecoinvent (2022), e modelo de sistema “Alocação, corte por classificação” (*cut-off*) “baseado na abordagem de conteúdo reciclado, ou corte, em que os resíduos são da responsabilidade do produtor (“poluidor-pagador”), e há o incentivo ao uso de produtos recicláveis, que são disponibilizados sem encargos (*cut-off*)”, Ecoinvent (2022), com o objetivo de analisar a influência desta escolha no resultados e conclusões da ACV;
- Impactos ambientais associados à fase de uso para veículo a combustão interna e veículo elétrico, incorporando os modos de condução (cidade, autoestrada e combinado), de forma perceber qual o desempenho ambiental e o grau de influência da redução de peso em ambos;
- Avaliar o desempenho ambiental das alternativas da peça num veículo elétrico considerando dois mixes energéticos distintos – i) mix energético português (PT) em que a produção de energia elétrica apresenta uma elevada contribuição de energias renováveis; ii) mix energético polaco (PL) em que a produção de energia elétrica apresenta uma elevada contribuição de recursos fósseis.

A figura 3.1, apresenta o fluxograma do ciclo de vida da peça *chassi dashboard*, PPS e AL. A produção da peça em AL é realizada por fundição sob pressão para componentes estruturais. Este processo gera um significativo volume de resíduos, totalizando aproximadamente 75% do material processado, que são reciclados internamente e reintroduzidos novamente no processo (Liu et al., 2021). No caso do PPS, a injeção do *chassi dashboard* gera um significativo volume de resíduos (denominado de gitos) devido aos cortes na peça e a perdas no arranque da máquina que são enviadas para aterro sanitário.

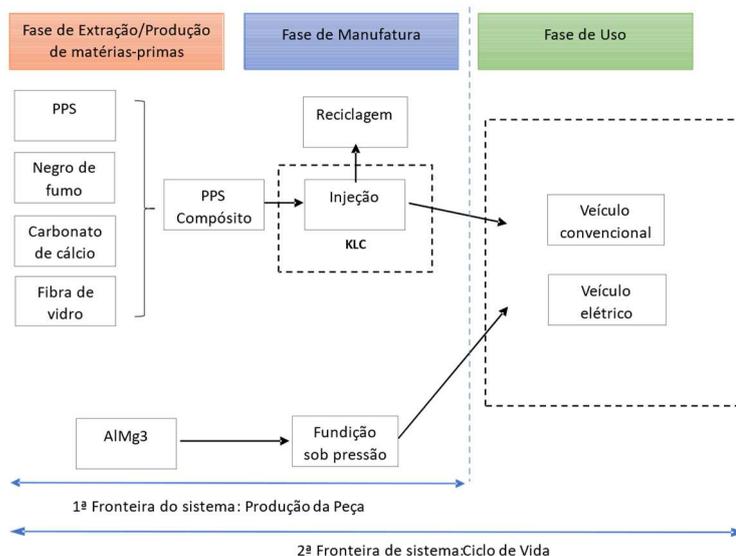


Figura 3.1- Fluxograma do ciclo de vida da peça “chassi dashboard” em PPS e AL. A fase de montagem da peça no veículo foi desconsiderada.

3.2. Modelo e Inventário de ciclo de vida

3.2.1. Inventário da fase de produção

A tabela 3.1 apresenta o inventário da produção do *chassi dashboard* para as alternativas PPS e AL. O inventário do compósito de PPS foi obtido através de dados primários fornecidos pela empresa, nomeadamente, (para os processos de *foreground*), dados específicos ao nível de processo como medições do consumo por peça no processo de injeção. Para a alternativa AL, foram implementados da literatura para fundição sob pressão para componentes estruturais (Liu et al., 2021), os quais são apresentados na Tabela 3.1 de forma agregada. O consumo energia está associado com as etapas presentes na fundição sob pressão: fusão, fundição, tratamento térmico e acabamento.

Tabela 3.1- Inventário da produção do *chassi dashboard* em PPS e em AL.

	Unidade	PPS	AL ^a
Entrada			
PPS compósito	g	218.9	
Alumínio	g		274
Molde de aço	p	1E-06	
Energia			
Eletricidade	kWh	0.21	0.49
Gás natural	kWh		1.44
Saída			
Peça			
<i>Chassi dashboard</i>	g	197	274
Perdas			
Resíduos de PPS compósito	g	21.9	
Resíduos alumínio	g		0.0
Emissões			
Dióxido de carbono	g		235.1

^a Referência (Liu et al., 2021) – (i) Os consumos de energia foram calculados para uma massa de 1115.9 kg; (ii) todos os resíduos de alumínio são reciclados internamente e reintroduzidos novamente no processo;

A fase de produção inclui também o transporte de materiais, a distribuição do *chassi dashboard* e a gestão dos resíduos para a alternativa PPS. A tabela 3.2, apresenta o inventário desenvolvido usando os seguintes dados primários: tipo de transporte, distância, local de recolha/entrega e carga transportada. Os vários tipos de transporte foram modelados usando os processos da base de dados Ecoinvent v3.6.

Tabela 3.2- Inventário de transporte para o *chassi dashboard* em PPS.

	Tipo de transporte	Distância [km]	Local
Entrada materiais			Partida
Compósito de PPS	Camião >32t	2086	Itália (Bollate)
Saída KLC			Entrega
Distribuição	Camião 3.5-7.5t	242	Portugal (Braga)
Aterro Sanitário	Camião 7.5-16t	17	Portugal (Leiria)

3.2.2. Consumos de combustível e energia dos veículos - Fase de uso

O consumo de combustível dos veículos na fase de uso foi calculado através da metodologia de Kim & Wallington, 2016. Esta metodologia permite obter os consumos de combustível consoante o modo de condução (cidade, autoestrada e combinado). Para os

consumos de combustível induzidos pela massa do veículo/componente (MIF) e a taxa de variação do consumo de combustível sobre a variação da massa (FRV). De seguida apresentam-se as fórmulas principais associadas ao modelo:

$$MIF = \left(\frac{F_w}{F_w + F_x} \right) \left(\frac{F_c}{M} \right) \quad (1)$$

$$FRV = \left(\frac{F_w}{F_w + F_x + F_f} \right) \left(\frac{F_c}{M} \right) \quad (2)$$

Nas fórmulas acima apresentadas o parâmetro F_c corresponde à taxa de consumo de combustível em unidades de L/km medida no teste de economia de combustível, ou seja, $F_c = F/d$ onde $d = \int v dt$ ou distância percorrida; F_w corresponde ao consumo de combustível pela carga induzida pela massa; F_x corresponde ao consumo de combustível de cargas aerodinâmicas e acessórias; F_f corresponde à energia perdida pelo atrito do motor. O parâmetro M , representa a massa de cada veículo de marca e modelo específico. A derivação e aplicação de modelação completa podem ser consultadas no Apêndice A. Após a obtenção destes parâmetros, através das seguintes fórmulas calculam-se os consumos de combustível base, f , e com redução de peso, f_L , respetivamente. O parâmetro m_1 corresponde à massa do componente base, e m_2 à massa do componente com redução de peso. Na presente dissertação, m_1 diz respeito à massa do componente em AL e m_2 à massa do componente em PPS, d , representa a distância percorrida pelo veículo sendo assumida a mesma distância que a utilizada pelos autores, 257494 km.

$$f = MIF \times m_1 \times d \quad (3)$$

$$f_L = f - FRV \times (m_1 - m_2) \times d \quad (4)$$

Na tabela 3.3, estão representados os parâmetros pertinentes obtidos da aplicação das equações 3 e 4. As equações 1 e 2, incorporaram a parte inicial dos cálculos, consultar apêndice A.

Tabela 3.3- Inventário de consumos de combustível na fase de uso para o modo de condução cidade, autoestrada e combinado.

Marca	Modelo	Tipo de veículo	Massa dos componentes (kg)		Distância (km)	Consumo fase de uso (Baseline – L ou Le/km)			Consumo fase de uso (Redução de peso - LouLe/km)		
			Massa AL	Massa PPS		f cidade	f autoestrada	f combinado	fL cidade	fL autoestrada	fL combinado
Toyota	Corolla	ICEV	0,197	0,2184	257494	1,52	1,00	1,35	1,19	0,82	1,10
Nissan	Leaf	BEV				0,35	0,27	0,32	0,28	0,21	0,25

A unidade de litro equivalente (L_e), permite relacionar veículos elétricos e de combustão interna, tendo sido posteriormente aplicado o fator de conversão de 8,9 na conversão de 1L de Diesel para kWh.

Na tabela 3.4, estão representados os consumos de combustível combinados, relativos a cada veículo, os quais foram utilizados para obter os impactes ambientais do *chassi dashboard* em PPS e AL. Os parâmetros *f* e *fL* são representados em litros de diesel(L) para veículos de combustão interna sendo no caso dos veículos elétricos representados em quilowatt-hora (kWh) de eletricidade consumida. Todo o processo de cálculo e parâmetros intermédios obtidos podem ser consultados no apêndice A, tabelas A.1, A.2 e A.3.

Tabela 3.4- Inventário de veículos e consumos de combustível combinados utilizados para a obtenção dos impactes ambientais para as alternativas da peça.

	Unidade	PPS	AL ^b
Fase de uso			
Toyota Corolla	L	1.10 ^a	1.35 ^a
Nissan Leaf	KWh	2.25 ^b	2.83 ^b

^a Referência (Kim et al., 2015) - Consumos de combustível combinados, relativos ao veículo de combustão interna Toyota Corolla obtidos através da metodologia proposta pelo autor;

^b Referência (Kim et al., 2016) - Consumos de combustível combinados, relativos ao veículo elétrico Nissan Leaf obtidos através da metodologia proposta pelo autor que utiliza a unidade de litro equivalente (L_e) para poder relacionar veículos elétricos e de combustão interna, tendo sido posteriormente aplicado o fator de conversão de 8,9 na conversão de 1L de Diesel para kWh.

4. Resultados e Discussão

O presente capítulo apresenta e discute os resultados obtidos nesta dissertação. Primeiramente, na secção 4.1, os impactos ambientais da peça em alumínio (AL) e da peça em compósito de sulfeto de polifenileno (PPS) são analisados e comparados para a primeira fronteira de sistema, produção da peça, onde se inclui a extração e produção de matérias-primas, manufatura, tratamento de resíduos de produção e distribuição). Esta análise foi realizada comparando a modelação *APOS* e *cut-off* no intuito de perceber quais as diferenças resultantes da escolha das duas abordagens metodológicas existentes nos modelos e inventário da base de dados Ecoinvent 3. Na secção 4.2, apresenta-se uma ACV comparativa das peças em AL e PPS fazendo uso da modelação *cut-off*, para o ciclo de vida. Na secção 4.3, foi efetuada uma análise paramétrica dos impactes de ciclo de vida (incorporados na peça e da utilização no veículo) em função da distância para identificar o ponto de indiferença (break-even point) no qual ambas as alternativas da peça têm os mesmos impactes ambientais. De realçar que dada a diversidade de considerações efetuadas, diferentes fronteiras de sistema e unidades funcionais, e dos resultados verificados para as várias secções foi feita uma discussão particular para cada uma.

4.1. Análise comparativa à produção da peça em AL e PPS e à modelação *APOS* vs *cut-off*

Os resultados obtidos na comparação entre a produção de um *chassi dashboard* na KLC, em AL e em PPS, estão apresentados na figura 4.1. A modelação efetuada no Simapro 9.1.1 comparou dois tipos de abordagens metodológicas existente nos modelos e inventário da base de dados Ecoinvent 3, metodologia *APOS* ou *cut-off*. Os resultados são apresentados para 16 categorias de impacte ambiental do método *Environmental footprint* baseado nas recomendações da Comissão Europeia 2021/2279, EUR-Lex (2021).

Analisando a figura 4.1, a peça em AL, com modelação *APOS*, apresenta impactes ambientais sempre superiores comparativamente à modelação *cut-off*, exceto na categoria de impacte de partículas. Verifica-se também, que a peça em AL, na modelação *APOS*, tem impactes superiores à peça em PPS, exceto na categoria de impacte, ecotoxicidade água doce. Na modelação *cut-off*, a peça de PPS comporta-se pior que a peça de AL nas categorias de

impacte, depleção de ozono, radiação ionizante, toxicidade humana, ecotoxicidade água doce, e uso da terra, o que se deve a um aumento de impactes significativo na fase de extração e produção de matérias-primas da peça AL para esta metodologia comparativamente à metodologia *cut-off*. Globalmente a diferença entre a modelação *APOS* e *cut-off* para a peça em AL assenta no tratamento de resíduos (produção de calor em forno industrial a carvão), apresenta impactos ambientais significativamente mais elevados utilizando a modelação *APOS* e (fundição de liga de alumínio, tratamento pós-consumo e preparação para reciclagem), é um processo que não é considerado pela modelação *cut-off* e que explica, em grande parte, o menor impacto ambiental verificado, utilizando esta modelação. A peça em PPS comporta-se de forma igual nos dois tipos de modelação para a maioria das categorias de impacte, exceto, radiação ionizante e uso da água, em que as diferenças são notórias, apresentando um valor superior na modelação *APOS*, devido a impactes provocados pela fase de manufatura da peça, para esta metodologia.

Os resultados obtidos bem como as diferenças relativas para os impactes ambientais entre a peça em AL e PPS podem ser consultados na tabela B.1 do apêndice B. Estas diferenças relativas refletem as diferenças dos resultados dependendo da escolha da modelação e, como a modelação *cut-off* pode trazer resultados e conclusões mais interessantes no decorrer do estudo. Para avaliar na totalidade as causas das diferenças verificadas, seria pertinente uma análise futura pormenorizada para as várias categorias de impacte detalhando os processos que influenciam cada um dos tipos de modelação.

As diferenças verificadas, pela utilização da modelação *cut-off*, nos resultados obtidos para a produção da peça, levaram ao alargamento desta análise pormenorizada, à fase de uso, nomeadamente, à modelação dos processos de diesel e dos mixes de eletricidade utilizados na obtenção dos impactes ambientais do veículo diesel, Toyota Corolla e do veículo elétrico, Nissan Leaf usado em Portugal (PT) e na Polónia (PL).

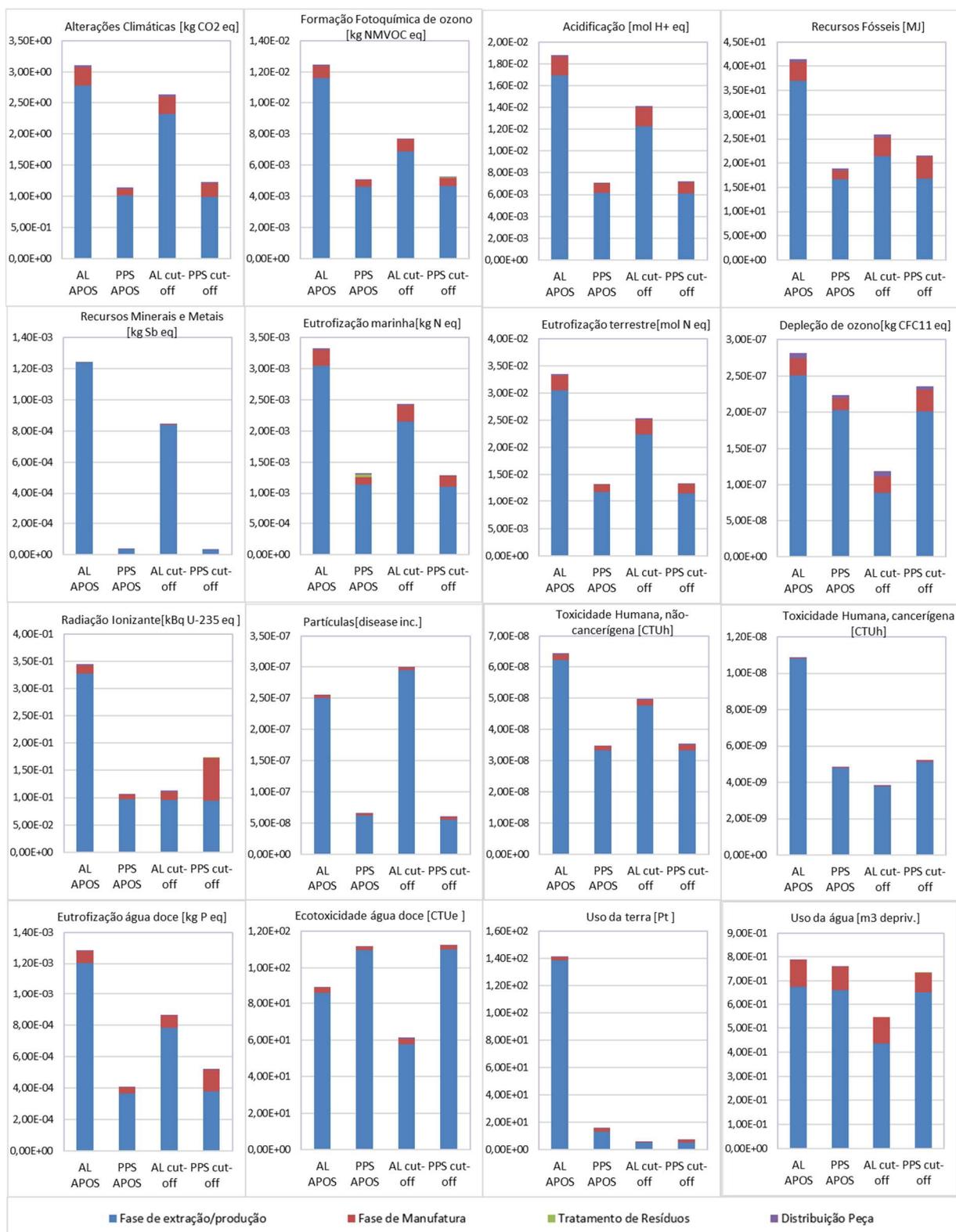


Figura 4.1- Comparação entre os diferentes tipo de modelação e entre um *chassi dashboard* em AL e em PPS para a produção da peça.

4.2. Análise de ciclo de vida do *chassi dashboard* em PPS e em AL (*cut-off*)

Nesta secção, foi efetuada uma avaliação do ciclo de vida do “*chassi dashboard* que garante o suporte mecânico aos mostradores do automóvel ao longo da vida útil do veículo” para as alternativas, em AL e em PPS, utilizando a metodologia *cut-off*.

Embora a análise às modelações efetuada na secção 4.1, se tenha estendido ao diesel e esta tenha revelado resultados semelhantes para os dois tipos de modelação (*APOS* e *cut-off*), diferindo ligeiramente para as categorias de impacte, uso da terra, uso de água e recursos minerais e metais, (consultar tabela B.2 do apêndice B) e a análise dos mixes energéticos, permita constatar que para ambos os tipos de modelação os impactes ambientais são idênticos para o mix energético de Portugal e da Polónia, para a maioria das categorias de impacte, exceto uso da terra, em que a modelação *APOS* para o mix energético da Polónia apresenta os maiores impactos, consultar a tabela B.3 no apêndice B, a modelação *cut-off* apresentou diferenças significativas nos impactes ambientais das alternativas da peça para várias categorias ao contrário da modelação *APOS*, tendo assim sido adotada para continuação do estudo.

De forma a concentrar a análise num menor número categorias, a seleção das categorias de impacte mais relevantes foi baseada nas recomendações europeias apresentadas no Environmental Footprint e procedimento para identificar as categorias de impacte mais relevantes EUR-Lex (2021), tal como apresentado nas figuras C.1 e C.2 no apêndice C. Na tabela 4.1, estão listadas as 7 categorias de impacte selecionadas.

Tabela 4.1- Categorias de impacte selecionadas com base na normalização efetuada.

Categorias de impacte	Unidade
Alterações climáticas	kg CO ₂ eq
Formação fotoquímica de ozono	kg NMVOC eq
Acidificação	mol H ⁺ eq
Eutrofização marinha	Kg N eq
Eutrofização terrestre	Mol N eq
Uso de recursos fósseis	MJ
Uso de recursos minerais e metais	kg Sb eq

Os resultados obtidos para o ciclo de vida do “chassi dashboard”, apresentam-se nas figuras 4.2 - 4.8. Os parâmetros utilizados bem como o cálculo dos consumos de combustível dos veículos podem ser consultados no apêndice A. De realçar, que os modos de condução, autoestrada ou cidade estão representados pelas barras de erro dos gráficos, situação mais favorável (menores impactes, menor erro com barra em sentido descendente) ou menos favorável (maiores impactes, maior erro com barra em sentido ascendente), respetivamente. Os valores obtidos para a fase de uso, representados nas colunas das diversas figuras, são valores obtidos através de consumos de combustível combinados.

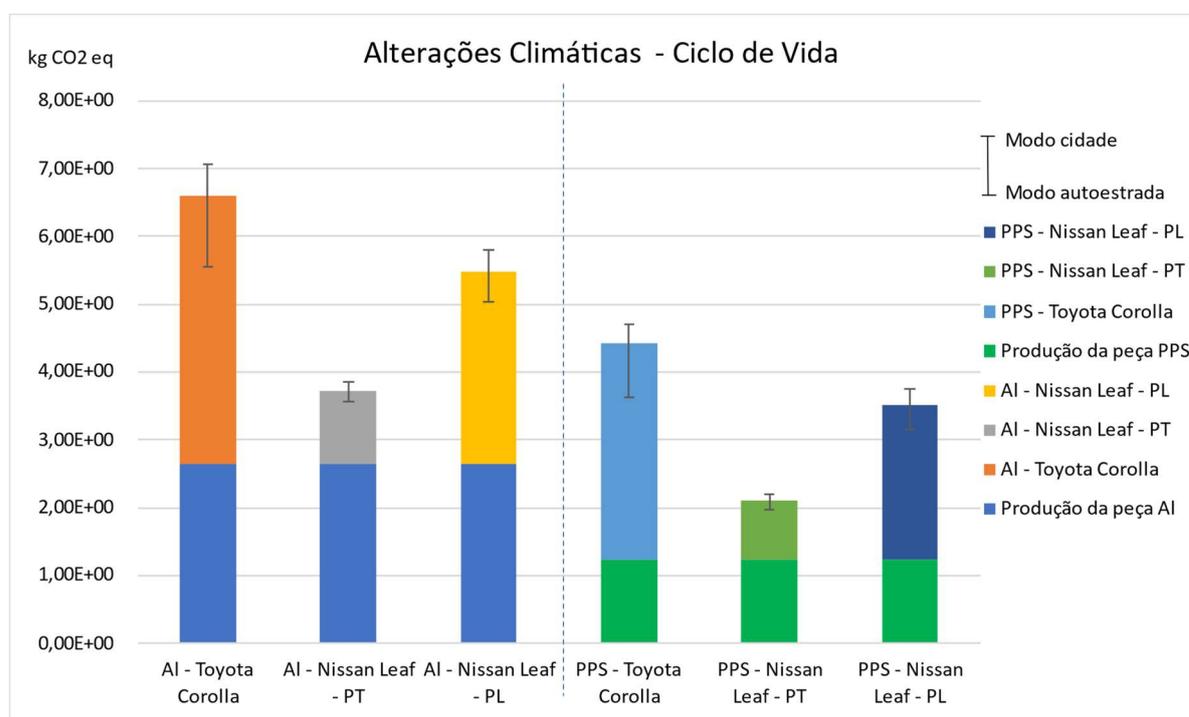


Figura 4.2- Impactes de ciclo de vida do *chassi dashboard* em AL e em PPS na categoria de alterações climáticas.

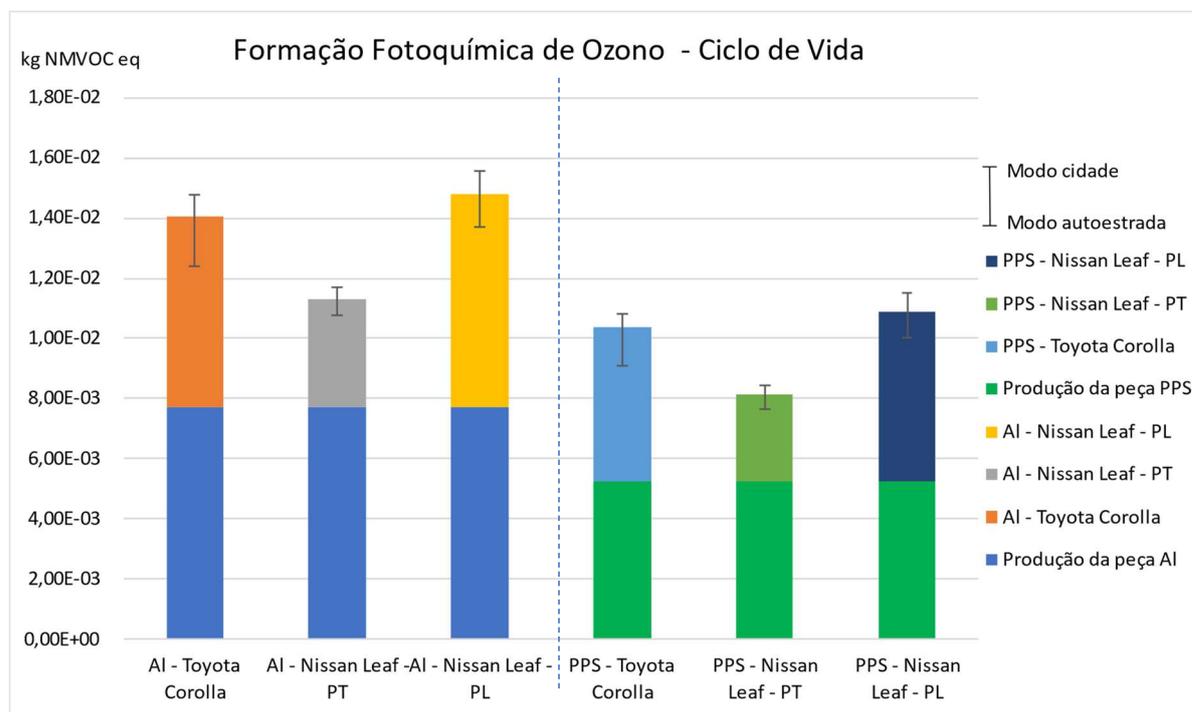


Figura 4.3- Impactes de ciclo de vida do *chassi dashboard* em AL e em PPS na categoria de formação fotoquímica de ozono.

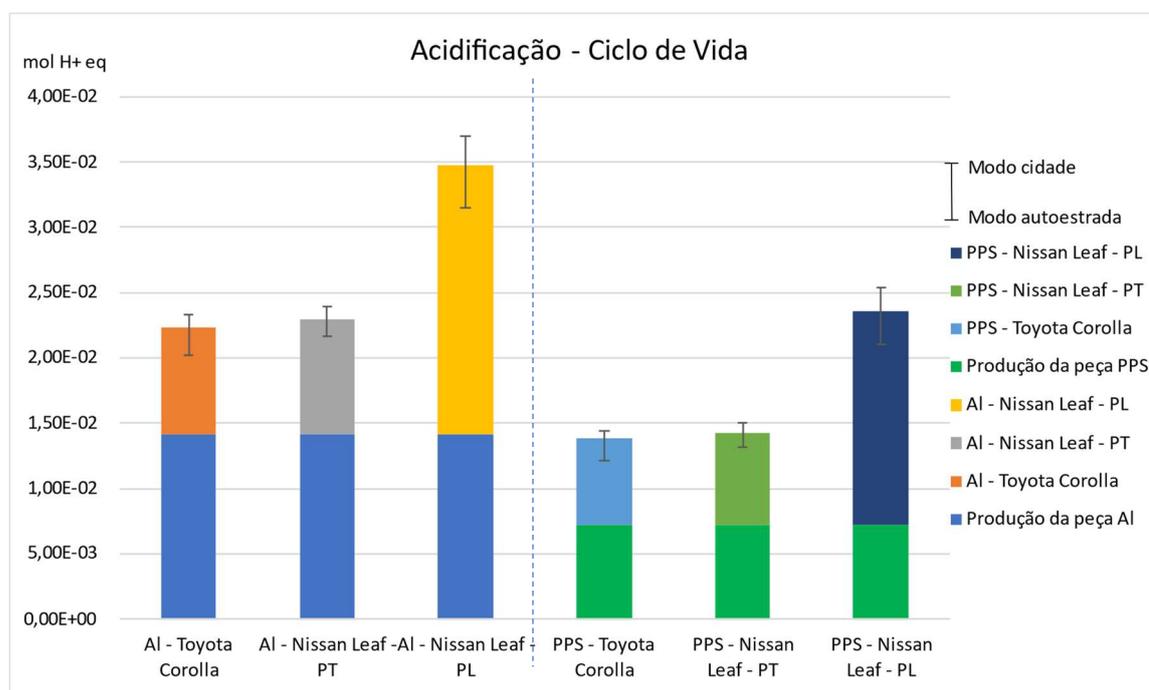


Figura 4.4- Impactes de ciclo de vida do *chassi dashboard* em AL e em PPS na categoria de acidificação.

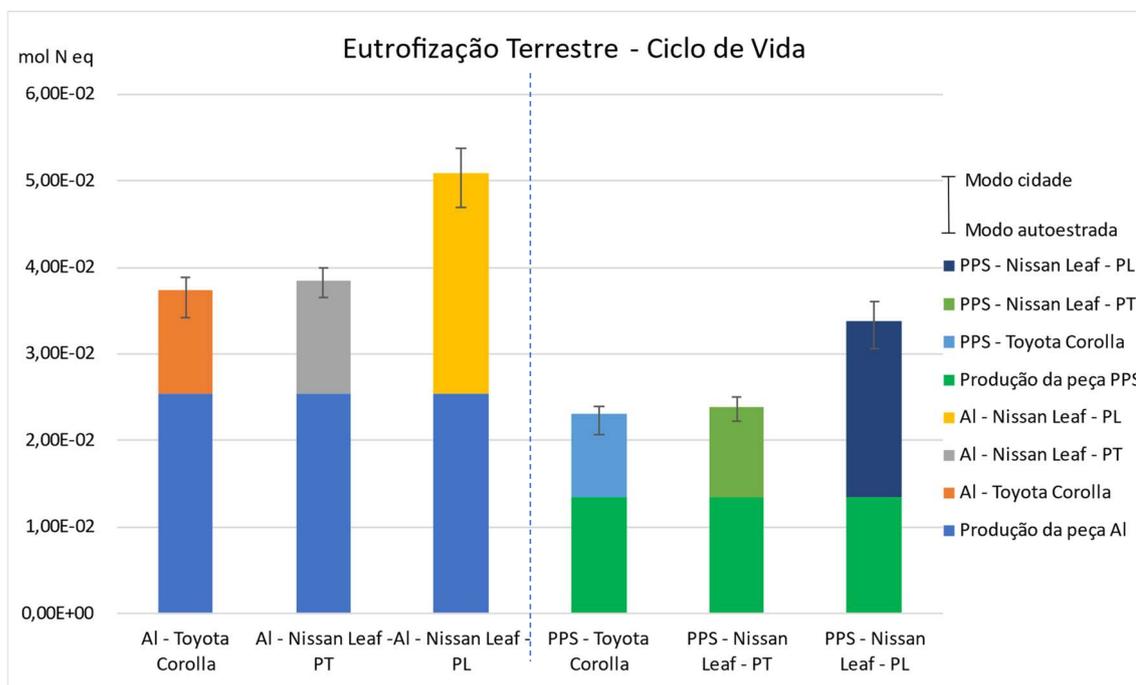


Figura 4.5- Impactes de ciclo de vida do *chassi dashboard* em AL e em PPS na categoria de eutrofização terrestre.

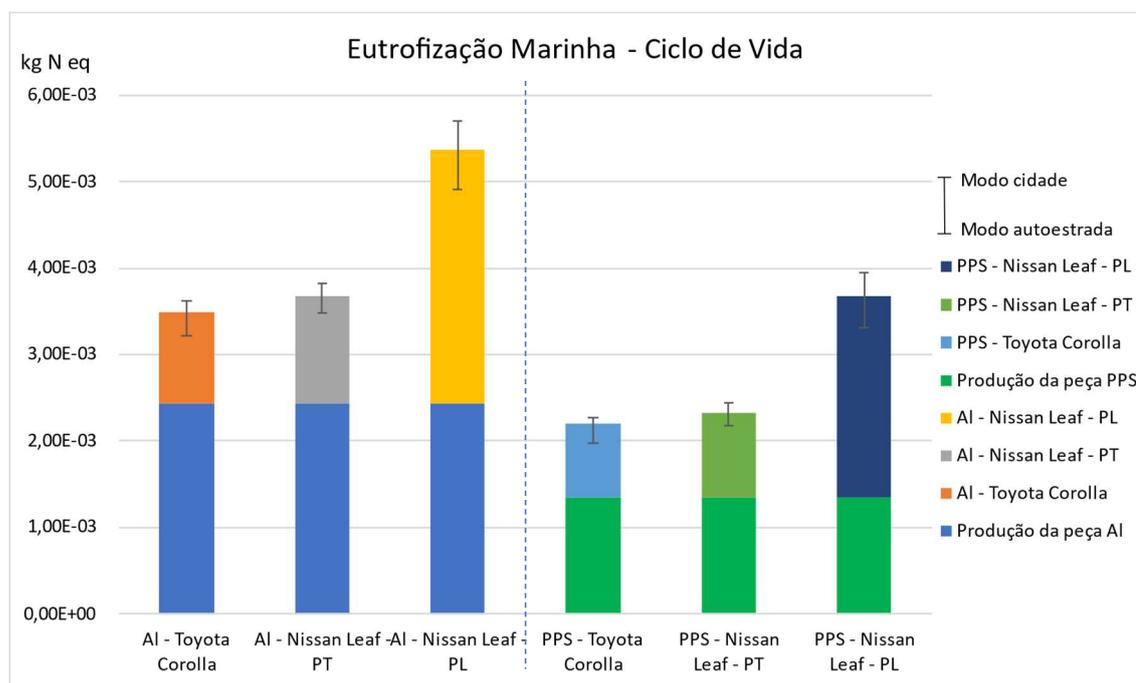


Figura 4.6- Impactes de ciclo de vida do *chassi dashboard* em AL e em PPS na categoria de eutrofização marinha.

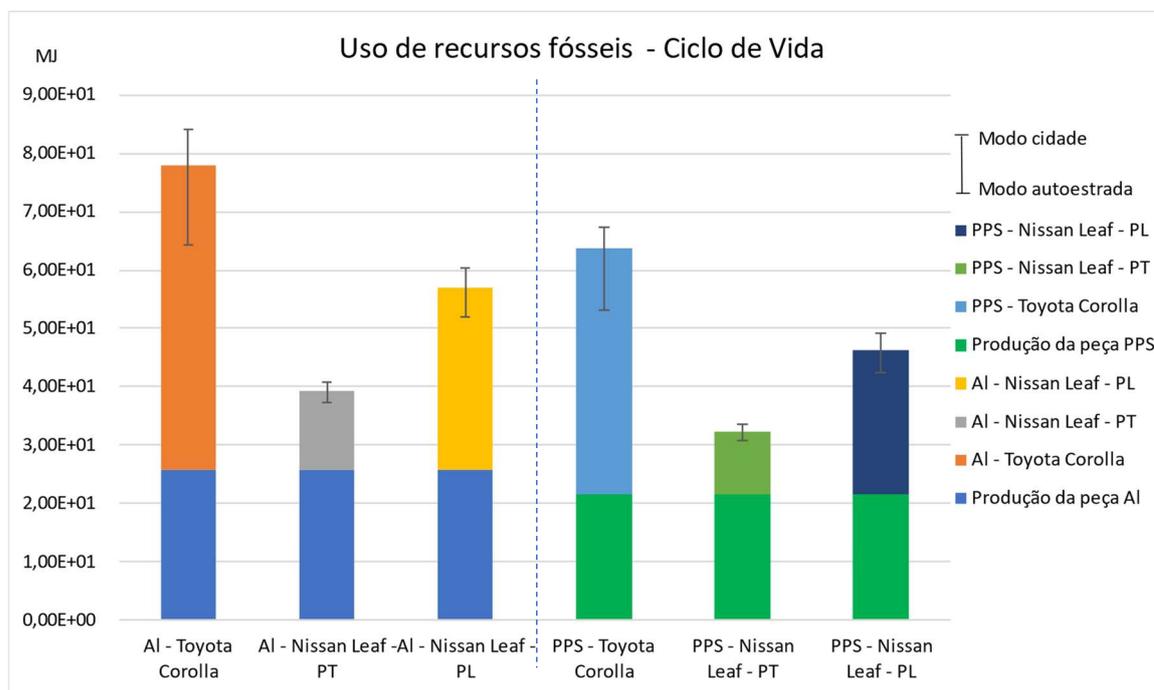


Figura 4.7- Impactes de ciclo de vida do *chassi dashboard* em AL e em PPS na categoria de uso de recursos fósseis.

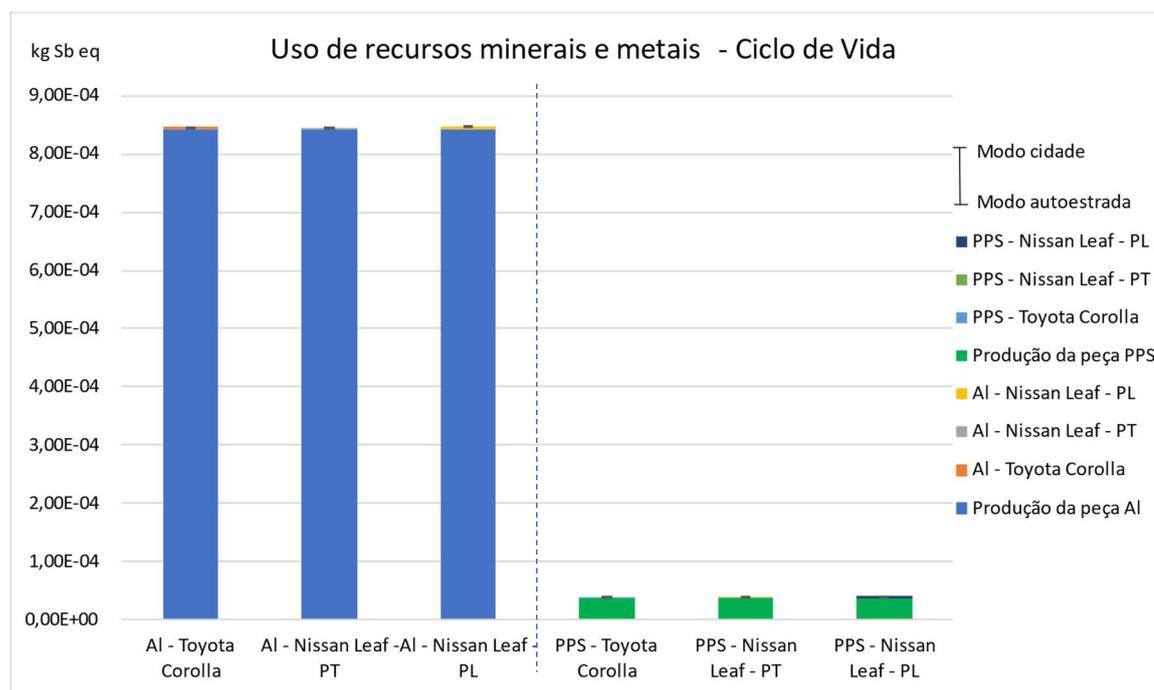


Figura 4.8- Impactes de ciclo de vida do *chassi dashboard* em AL e em PPS na categoria de uso de recursos minerais e metais.

Globalmente, os impactes ambientais da peça em PPS são menores que os da peça produzida em AL. Destaca-se que os impactes ambientais da peça em PPS para o veículo elétrico Nissan

Leaf para o mix energético (PT ou PL) são menores que os da peça em AL. Porém, a peça em PPS para o veículo Toyota Corolla (diesel), apresenta menos impactes ambientais que a mesma peça para o veículo elétrico Nissan Leaf para o mix energético PT ou PL, nas categorias acidificação, eutrofização terrestre e eutrofização marinha. Quanto aos modos de condução, verificou-se que o modo de condução em autoestrada apresentou menores impactes ambientais para ambas as alternativas da peça e de veículos e, no sentido oposto, o modo de condução em cidade apresentou maiores impactes. Estes resultados devem-se ao facto, de para a vida útil dos veículos, em modo de condução autoestrada, os consumos de combustível serem mais constantes ao invés de, em modo de condução cidade, as diversas travagens e acelerações, provocarem um aumento do consumo de combustível e por conseguinte mais impactes ambientais.

Na figura 4.2, 4.3 e 4.7, as alterações climáticas, formação fotoquímica de ozono e uso de recursos fósseis, respetivamente, apresentam para a peça em AL mais impactos no ciclo de vida e, a fase de uso da peça em PPS no Nissan Leaf considerando o mix energético PT representa a situação mais favorável do ponto de vista ambiental. Na figura 4.4, 4.5 e 4.6, categoria de acidificação, eutrofização terrestre e eutrofização marinha, respetivamente, os impactes da peça em AL são ainda mais notórios em comparação com a peça em PPS, embora, os impactes de ambas as alternativas da peça, para o Nissan Leaf PT e Toyota Corolla (diesel) sejam semelhantes. Na figura 4.8, verifica-se que a produção da peça em ambas as alternativas, representa a totalidade dos impactes ambientais comparando com a fase de uso que não tem expressividade na categoria de uso de recursos minerais e metais.

4.3. Análise paramétrica dos impactes de ciclo de vida em função da distância: cálculo do ponto de indiferença

Nesta secção efetuou-se uma análise paramétrica dos impactes de ciclo de vida, utilizando a modelação *cut-off*, pela diferença dos resultados apresentadas em 4.1 para este tipo de modelação. A análise paramétrica é de extrema importância dado que a peça que tem maiores impactes não é a mesma em todas as categorias de impacte e consiste numa análise de sensibilidade à distância de uma forma paramétrica que a análise de ciclo de vida não faz. Deste modo a análise efetuou-se para 16 categorias de impacte, para um *chassi dashboard* em AL e em PPS que garante o suporte mecânico aos mostradores do automóvel para um veículo em função dos quilómetros percorridos, no intuito de identificar o ponto de indiferença, (ponto no qual ambas as alternativas da peça têm os mesmos impactes ambientais), nos veículos Toyota Corolla e Nissan Leaf (mix PT ou PL).

Em geral, para a maioria das categorias, a peça em PPS apresenta menos impactes ambientais que a peça em AL exceto, nas categorias de depleção de ozono, radiação ionizante, toxicidade humana cancerígena, ecotoxicidade água doce, uso da terra e uso da água, em que o ponto de indiferença é alcançado, na maioria destas categorias, para uma grande distância.

Na figura 4.9, está representado um exemplo gráfico em que existe interseção das retas obtendo-se o ponto de indiferença para as alternativas da peça aos 188843 km, no veículo Toyota Corolla na categoria de impacte depleção de ozono. Os pontos situados no eixo vertical, para cada reta, são os impactes incorporados, ou seja, desde o berço até à fase de uso.

Nas figuras 4.10 e 4.11, representou-se a partir de que distância percorrida o *chassi dashboard* em AL terá menos impactos que o *chassi dashboard* em PPS no veículo Nissan Leaf PT e PL, respetivamente. Porém, o ponto de indiferença, em ambos os gráficos, apenas se verifica para uma distância superior a mais de 2000000 km como mostram as linhas de tendência a partir dos 500000 km.

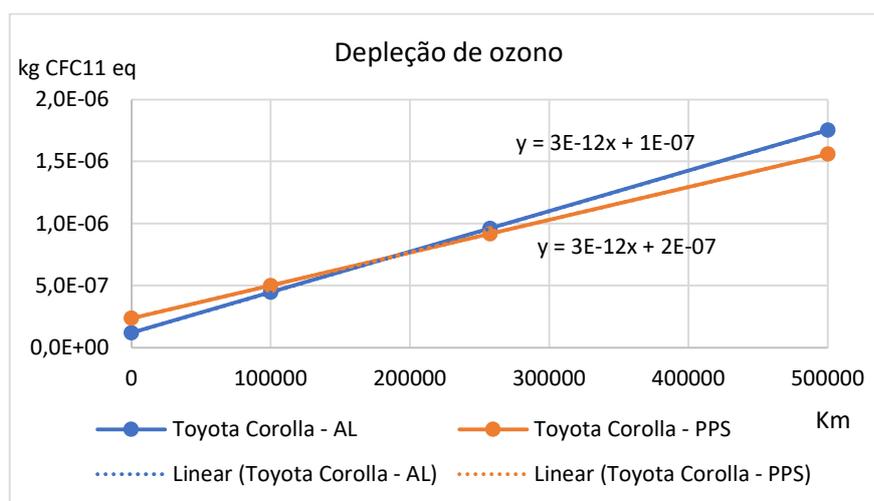


Figura 4.9- Análise paramétrica dos impactes de ciclo de vida na depleção de ozono da peça em AL e em PPS do Toyota Corolla em função dos km percorridos.

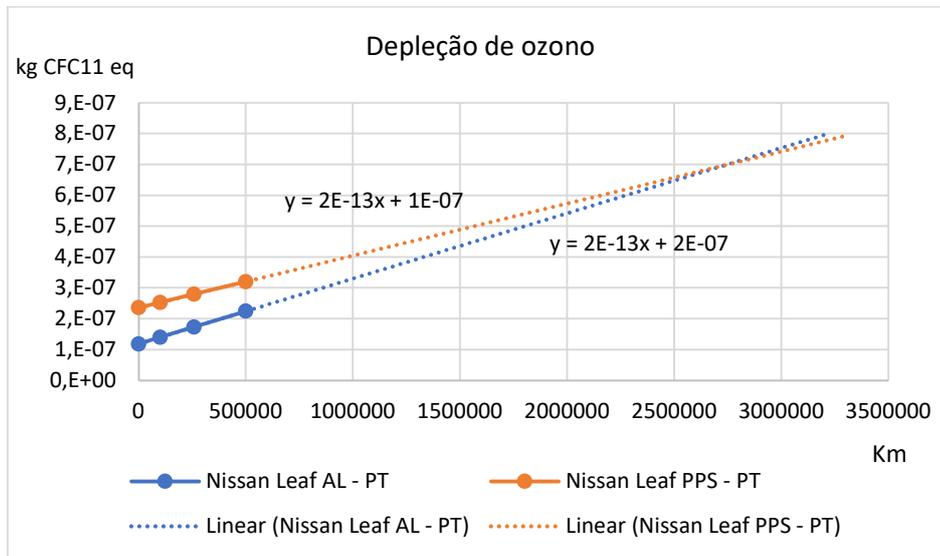


Figura 4.10. Análise paramétrica dos impactes de ciclo de vida na depleção de ozono da peça em AL e em PPS do Nissan Leaf PT em função dos km percorridos.

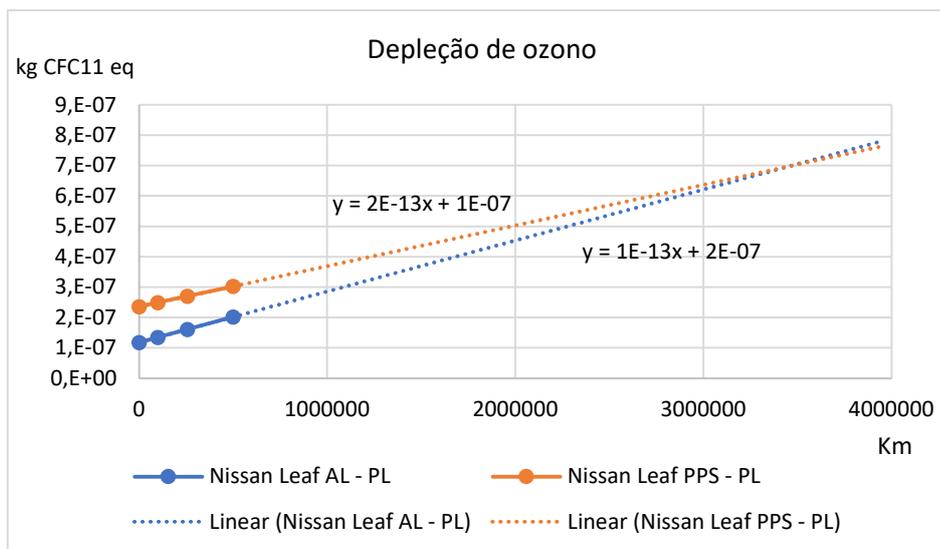


Figura 4.11- Análise paramétrica dos impactes de ciclo de vida na depleção de ozono da peça em AL e em PPS do Nissan Leaf PL em função dos km percorridos.

Nas figuras 4.12, 4.13 e 4.14, está representado um exemplo gráfico em que as retas não se interseam, pois, a peça em PPS, apresenta menos impactos que a peça em AL logo na origem (impactes incorporados), nos veículos Toyota Corolla e Nissan Leaf (mix PT ou PL), na categoria de alterações climáticas.

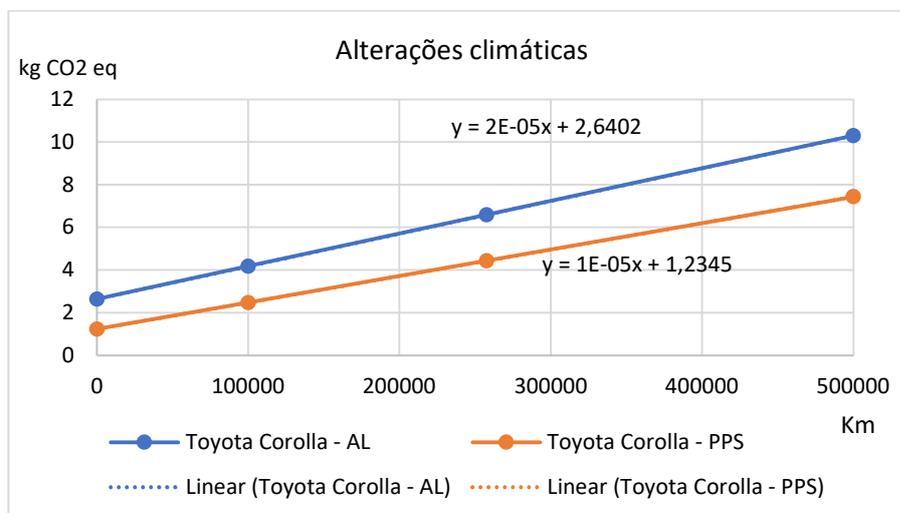


Figura 4.12- Análise paramétrica dos impactes de ciclo de vida nas alterações climáticas da peça em AL e em PPS do Toyota Corolla em função dos km percorridos.

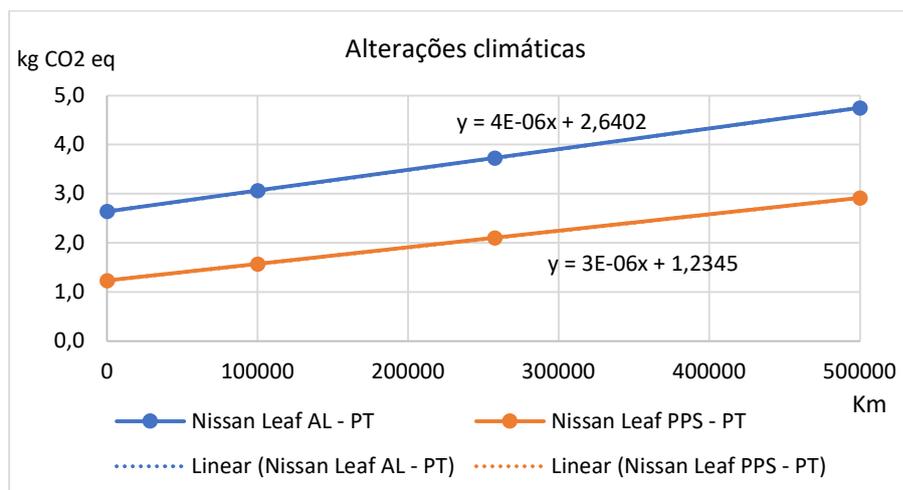


Figura 4.13- Análise paramétrica dos impactes de ciclo de vida nas alterações climáticas da peça em AL e em PPS do Nissan Leaf PT em função dos km percorridos.

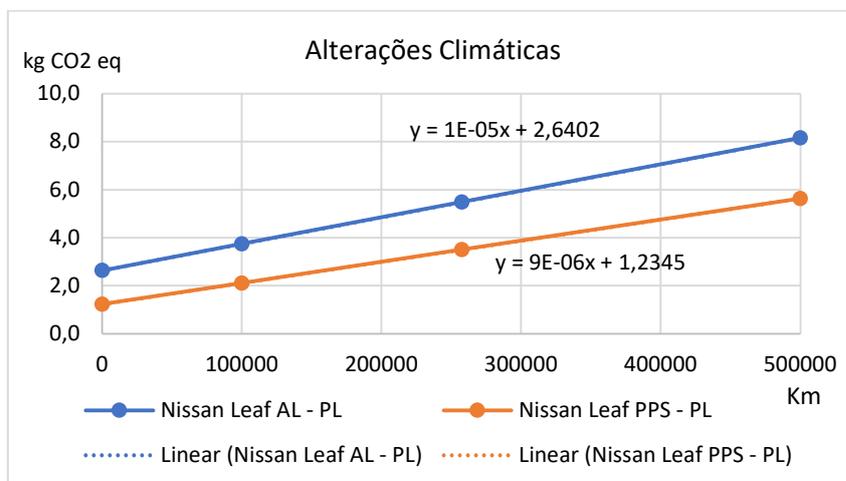


Figura 4.14- Análise paramétrica dos impactes de ciclo de vida nas alterações climáticas da peça em AL e em PPS do Nissan Leaf PL em função dos km percorridos.

Na tabela 4.2, estão representados os pontos de indiferença para as categorias de impacto em que a peça em AL e em PPS têm os mesmos impactes ambientais no ciclo de vida (berço à fase de uso), bem como, as categorias em que não existe ponto de indiferença, representado com NA. Os valores apresentados para o ponto de indiferença são maioritariamente elevados, ultrapassando um milhão de quilómetros, o que vem reforçar o pior desempenho ambiental do *chassi dashboard* em AL para os veículos em função dos quilómetros percorridos.

Tabela 4.2- Identificação do ponto de indiferença (quando ambas as alternativas da peça, AL e PPS nos mesmos veículos, têm os mesmos impactos ambientais para o ciclo de vida).

Categoria de impacte	Ponto de Indiferença Km		
	Toyota Corolla	Nissan Leaf - PT	Nissan Leaf - PL
Alterações climáticas	NA	NA	NA
Formação fotoquímica de ozono	NA	NA	NA
Acidificação	NA	NA	NA
Eutrofização marinha	NA	NA	NA
Eutrofização terrestre	NA	NA	NA
Uso de recursos fósseis	NA	NA	NA
Uso de recursos minerais e metais	NA	NA	NA
Depleção de ozono	188843	2733045	3452738
Radiação ionizante	353280	1112783	1057827
Partículas	NA	NA	NA
Toxicidade humana, não-cancerígena	NA	NA	NA
Toxicidade humana, cancerígena	3804475	6855935	1734694
Eutrofização, água doce	NA	NA	NA
Ecotoxicidade, água doce	2398056	4006007	1749686
Uso da terra	210793	414204	170761
Uso da água	21206995	418077	628473

5. Conclusões

A presente dissertação efetuou a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) ao componente automóvel, “*chassi dashboard*” no intuito de identificar *hotspots* (pontos críticos), *trade-offs* (trocas) ambientais e, oportunidades de melhoria para reduzir os impactes de ciclo de vida do veículo.

A ACV de um *chassi dashboard* produzido em compósito de sulfeto de polifenileno (PPS, peso 197 g) e uma alternativa em liga de alumínio (AL, peso 274 g) foi efetuada para duas fronteiras de sistema, uma “*cradle to factory gate*” focada na produção da peça, e tendo como unidade funcional “a produção de um *chassi dashboard* na KLC”, para comparar a produção das alternativas PPS e AL. A segunda fronteira, abrange o ciclo de vida da peça (mas se considerar especificamente o final de vida), e tendo como unidade funcional “um *chassi dashboard* que garante o suporte mecânico aos mostradores do automóvel ao longo da vida útil do veículo, considerando 257494 km percorridos” e que permite comparar o desempenho ambiental das duas alternativas da peça incorporadas num veículo, nomeadamente, duas motorizações de veículos, um veículo de combustão interna (Toyota Corolla) e um veículo elétrico (Nissan Leaf) (mix energético Portugal (PT) ou Polónia (PL), tendo-se analisado as implicações da redução de peso da peça no consumo de energia e nos impactes ambientais bem como, efetuado uma análise paramétrica do impactes de ciclo de vida em função da distância de forma a obter o ponto de indiferença, para o qual ambas as peças, AL e PPS, apresentam os mesmos impactes ambientais,.

Foi realizada uma comparação, para a produção da peça, entre dois tipos de abordagens metodológicas existentes nos modelos e inventário da base de dados Ecoinvent 3, (*APOS* e *cut-off*), a qual permitiu verificar que, utilizando a modelação *APOS*, a peça em PPS apresenta menos impactes do que a alternativa em AL. Por outro lado, para a modelação *cut-off*, a peça de PPS comporta-se pior que a peça de AL nas categorias de impacte, depleção de ozono, radiação ionizante, toxicidade humana, ecotoxicidade água doce, e uso da terra, o que se deve a uma diminuição de impactes significativa, na fase de extração e produção de matérias-primas da peça AL para esta metodologia comparativamente à metodologia *APOS*. As diferenças identificadas nos resultados obtidos para a peça em AL, para os dois tipos de modelação, estão relacionadas com o tratamento de resíduos (produção de calor em forno industrial a carvão) e (fundição de liga de alumínio, tratamento pós-consumo e preparação para reciclagem). Estes processos apresentam impactes ambientais significativamente mais elevados utilizando a modelação *APOS* e não são considerados pela modelação *cut-off*.

Realizou-se uma comparação, ao ciclo de vida da peça em PPS e em AL, para o veículo de combustão interna (Toyota Corolla) e o veículo elétrico (Nissan Leaf), considerando dois mix elétricos (PT e PL), e comparando ainda diferentes modos de condução (cidade e autoestrada). Conclui-se, que os impactes ambientais da peça em PPS são menores que os da peça produzida em alumínio nas categorias de alterações climáticas, formação fotoquímica de ozono, acidificação, eutrofização marinha, eutrofização terrestre, uso de recursos fósseis e uso de recursos minerais e metais. Isto deve-se a impactes maiores da peça AL verificados na fase de extração/produção. Para além disso, os impactes ambientais da peça em PPS para o veículo elétrico Nissan Leaf para o mix energético (PT ou PL) são menores que os da peça em alumínio que, embora não tenha diferenças tão significativas nos impactes da fase de uso, apresenta maiores impactes na fase de extração e produção. Ambas as alternativas da peça, apresentam impactes ambientais semelhantes para o veículo Toyota Corolla (diesel) e para o veículo elétrico Nissan Leaf para o mix energético (PT), nas categorias acidificação, eutrofização terrestre e eutrofização marinha. Para além disso, a peça em PPS ou em AL, apresentam impactes ambientais significativamente menores para o veículo Toyota Corolla (diesel) comparativamente ao veículo elétrico Nissan Leaf para o mix energético (PL), nas categorias acidificação, eutrofização terrestre e eutrofização marinha o que se deve à produção de energia elétrica do país ser altamente dependente de recursos fósseis.

Quanto aos modos de condução, verificou-se que o modo de condução em autoestrada apresentou menores impactes ambientais para ambas as alternativas da peça e de veículos e, no sentido oposto, o modo de condução em cidade apresentou maiores impactes. Estes resultados devem-se ao facto, de para a vida útil dos veículos, em modo de condução autoestrada, os consumos de combustível serem mais constantes ao invés de, em modo de condução cidade, as diversas travagens e acelerações, provocarem um aumento do consumo de combustível e por conseguinte mais impactes ambientais.

No intuito de identificar a distância, em que ambas as alternativas da peça têm os mesmos impactes ambientais, ponto de indiferença (*break-even point*), foi efetuada uma análise paramétrica dos impactes de ciclo de vida (incorporados na peça e da utilização no veículo) em função da distância. Concluiu-se, para a generalidade das categorias de impacto, que a peça em PPS apresenta menos impactes ambientais que a alternativa em AL, exceto para depleção de ozono, radiação ionizante, toxicidade humana cancerígena, ecotoxicidade água doce, uso da terra e uso da água, em que o ponto de indiferença é alcançado, na maioria das categorias, mas para uma grande distância.

Na presente dissertação foram identificadas algumas limitações. A análise às abordagens metodológicas, nos modelos e inventário da base de dados Ecoinvent 3, modelo de sistema APOS e *cut-off*, revelou-se complexa, quer a nível técnico quer de interpretação de resultados pormenorizados. A avaliação de impactes da fase de uso, revelou a falta de métodos

para calcular o consumo de combustível e a dificuldade inerente aos métodos existentes. A exclusão do final de vida da peça na ACV pode influenciar os resultados devido à importância dos plásticos nesta fase.

Por fim, apresentam-se ainda tópicos para investigação futura:

- Efetuar uma análise detalhada para perceber quais as causas, da influência verificada nos resultados devido à utilização da metodologia *APOS* ou *cut-off*, nomeadamente, uma análise pormenorizada para as várias categorias de impacto detalhando os processos que influenciam cada um dos tipos de modelação;
- Realizar a ACV abrangendo o final de vida da peça devido à importância dos plásticos nesta fase e, de forma a perceber a influência nos impactos de ciclo de vida da peça em PPS.

6. Referências Bibliográficas

- Alves, C., Ferrão, P. M. C., Silva, A. J., Reis, L. G., Freitas, M., Rodrigues, L. B., & Alves, D. E. (2010). Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites. *Journal of Cleaner Production*, 18(4), 313–327. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.10.022>
- Boland, C. S., de Kleine, R., Keoleian, G. A., Lee, E. C., Kim, H. C., & Wallington, T. J. (2016). Life Cycle Impacts of Natural Fiber Composites for Automotive Applications: Effects of Renewable Energy Content and Lightweighting. *Journal of Industrial Ecology*, 20(1), 179–189. <https://doi.org/10.1111/jieec.12286>
- Delogu, M., Zanchi, L., Dattilo, C. A., & Pierini, M. (2017). Innovative composites and hybrid materials for electric vehicles lightweight design in a sustainability perspective. *Materials Today Communications*, 13, 192–209. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2017.09.012>
- Delogu, M., Zanchi, L., Maltese, S., Bonoli, A., & Pierini, M. (2016). Environmental and economic life cycle assessment of a lightweight solution for an automotive component: A comparison between talc-filled and hollow glass microspheres-reinforced polymer composites. *Journal of Cleaner Production*, 139, 548–560. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.079>
- DGAE (2022). <https://www.dgae.gov.pt/servicos/politica-empresarial/setores-industriais/industria-automovel.aspx>. Direção-Geral das Atividades Económicas (página internet oficial).
- Ecoinvent (2022). <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/system-models/>. Modelos de sistema -Banco de dados ecoinvent (página internet oficial).
- EUR-Lex (2021). <http://data.europa.eu/eli/reco/2021/2279/oj>. Jornal oficial da União Europeia (página internet oficial).
- Fazio, S., Castellani, V., Sala, S., Schau, E. M., Secchi, M., Zampori, L., & Diaconu, E. (2018). Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment methods. In European Commission.
- Ferreira, V., Egizabal, P., Popov, V., García de Cortázar, M., Irazustabarrena, A., López-Sabirón, A. M., & Ferreira, G. (2019). Lightweight automotive components based on nanodiamond-reinforced aluminium alloy: A technical and environmental evaluation. *Diamond and Related Materials*, 92, 174–186. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2018.12.015>
- Ghosh, T., Kim, H. C., de Kleine, R., Wallington, T. J., & Bakshi, B. R. (2021). Life cycle energy and greenhouse gas emissions implications of using carbon fiber reinforced polymers in automotive components: Front subframe case study. *Sustainable Materials and Technologies*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00263>

- Kim, H. C., & Wallington, T. J. (2016). Life Cycle Assessment of Vehicle Lightweighting: A Physics-Based Model to Estimate Use-Phase Fuel Consumption of Electrified Vehicles. *Environmental Science and Technology*, 50(20), 11226–11233. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02059>
- Kim, H. C., Wallington, T. J., Sullivan, J. L., & Keoleian, G. A. (2015). Life Cycle Assessment of Vehicle Lightweighting: Novel Mathematical Methods to Estimate Use-Phase Fuel Consumption. *Environmental Science and Technology*, 49(16), 10209–10216. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01655>
- Kim, H. C., & Wallington, T. J. (2013). Life cycle assessment of vehicle lightweighting: A physics-based model of mass-induced fuel consumption. *E*
- Koffler, C. (2014). Life cycle assessment of automotive lightweighting through polymers under US boundary conditions. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(3), 538–545. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0652-7>
- Koffler, C., & Rohde-Brandenburger, K. (2010). On the calculation of fuel savings through lightweight design in automotive life cycle assessments. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(1), 128–135. <https://doi.org/10.1007/s11367-009-0127-z>
- Luz, S. M., Caldeira-Pires, A., & Ferrão, P. M. C. (2010). Environmental benefits of substituting talc by sugarcane bagasse fibers as reinforcement in polypropylene composites: Ecodesign and LCA as strategy for automotive components. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1135–1144. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.03.009>
- Muñoz, I., Rieradevall, J., Domènech, X., & Gazulla, C. (2006). Using LCA to assess eco-design in the automotive sector: Case study of a polyolefinic door panel. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(5), 323–334. <https://doi.org/10.1065/lca2005.05.207>
- Poulikidou, S., Jerpdal, L., Björklund, A., & Åkermo, M. (2016). Environmental performance of self-reinforced composites in automotive applications - Case study on a heavy truck component. *Materials and Design*, 103, 321–329. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.04.090>
- Raugei, M., el Fakir, O., Wang, L., Lin, J., & Morrey, D. (2014). Life cycle assessment of the potential environmental benefits of a novel hot forming process in automotive manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 83, 80–86. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.037>
- Roy, P., Defersha, F., Rodriguez-Urbe, A., Misra, M., & Mohanty, A. K. (2020). Evaluation of the life cycle of an automotive component produced from biocomposite. *Journal of Cleaner Production*, 273. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123051>
- Spreafico, C. (2021). Can modified components make cars greener? A life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 307. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127190>

- Sun, X., Liu, J., Lu, B., Zhang, P., & Zhao, M. (2017). Life cycle assessment-based selection of a sustainable lightweight automotive engine hood design. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(9), 1373–1383. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1254-y>
- Vinodh, S., Jayakrishna, K., & Joy, D. (2012). Environmental impact assessment of an automotive component using eco-indicator and CML methodologies. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 14(2), 333–344. <https://doi.org/10.1007/s10098-011-0405-x>
- Witik, R. A., Payet, J., Michaud, V., Ludwig, C., & Månson, J. A. E. (2011). Assessing the life cycle costs and environmental performance of lightweight materials in automobile applications. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42(11), 1694–1709. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2011.07.024>

Apêndice A

Cálculos consumo de combustível da Fase de Uso

Nissan Leaf BEV

Ciclo UDDS

Cidade

$$\eta_c = \frac{1}{\frac{\theta}{\eta_e} + \frac{1-\theta}{\eta_i}} = \frac{1}{\frac{0,35}{0,85} + \frac{1-0,35}{0,41}} = 0,501$$

$$\eta_c = 0,85$$

$$F_{w,C}^B = \frac{1}{H_f \eta_c \eta_t} \int (Av + Bv^2 + (1 - \phi\mu)avM) dt = \frac{1}{32,3 \times 10^6 \times 0,85 \times 0,88} \times [133,31 \times 11990 + 0,71 \times 164025 + (1 - 0,73 \times 0,8) \times 1644 \times 2098] = 0,130 L_e$$

Autoestrada

$$\eta_c = 0,85$$

$$F_{w,H}^B = \frac{1}{H_f \eta_c \eta_t} \int (Av + Bv^2 + (1 - \phi\mu)avM) dt = \frac{1}{32,3 \times 10^6 \times 0,85 \times 0,88} \times [133,31 \times 16507 + 0,71 \times 371739 + (1 - 0,38 \times 0,8) \times 1644 \times 1165] = 0,156 L_e$$

Ciclo Cidade-Autoestrada Combinado

$$F_w^B = 0,55 \times F_{w,C}^B + 0,45 \times F_{w,H}^B = 0,55 \times 0,130 + 0,45 \times 0,156 = 0,142 L_e$$

Ciclo FTP

Cidade

$$F_{x,C}^B = \frac{1}{H_f \eta_c} \int \left(\frac{Cv^3}{\eta_t} + \alpha \right) dt = \frac{1}{32,3 \times 10^6 \times 0,85} \times \left[\frac{0,49}{0,88} \times 2630301 + 750 \times 1369 \right] = 0,091 L_e$$

Autoestrada

$$F_{x,H}^B = \frac{1}{H_f \eta_c} \int \left(\frac{Cv^3}{\eta_t} + \alpha \right) dt = \frac{1}{32,3 \times 10^6 \times 0,85} \times \left[\frac{0,49}{0,88} \times 8540124 + 750 \times 765 \right] = 0,194 L_e$$

Combinado

$$F_x^B = 0,55 \times F_{x,C}^B + 0,45 \times F_{x,H}^B = 0,55 \times 0,091 + 0,45 \times 0,194 = 0,138 L_e$$

Economia de combustível combinada Nissan Leaf $F_c = 0,014 L_e/km$

$$MIF_C = \left(\frac{F_{w,C}^B}{F_{w,C}^B + F_{x,C}^B} \right) \left(\frac{F_C}{M} \right) = \left(\frac{0,130}{0,130 + 0,091} \right) \left(\frac{0,014}{1644} \right) = 0,050 L_{e/100km100kg}$$

$$MIF_H = \left(\frac{F_{w,H}^B}{F_{w,H}^B + F_{x,H}^B} \right) \left(\frac{F_C}{M} \right) = \left(\frac{0,156}{0,156 + 0,194} \right) \left(\frac{0,014}{1644} \right) = 0,038 L_{e/100km100kg}$$

$$MIF_{comb} = 0,045 L_{e/100km100kg}$$

$$MIF_s = FRV$$

$$f = MIF \times m_1 \times d$$

$$f_L = f - FRV \times (m_1 - m_2) \times d$$

$$m_1 = \text{massa alumínio} = 1,1159 \text{ Kg} \quad m_2 = \text{massa PPS} = 0,2184 \text{ Kg} \quad d = 257494 \text{ km}$$

Cidade

$$f = 0,05 \times 1,1159 \times 257494 = 0,35 L_e$$

$$f_L = 0,35 - 0,050 \times (1,1159 - 0,2184) \times 257494 = 0,28 L_e$$

Autoestrada

$$f = 0,038 \times 1,1159 \times 257494 = 0,27 L_e$$

$$f_L = 0,27 - 0,038 \times (1,1159 - 0,2184) \times 257494 = 0,21 L_e$$

Combinado

$$f = 0,045 \times 1,1159 \times 257494 = 0,32 L_e$$

$$f_L = 0,32 - 0,045 \times (1,1159 - 0,2184) \times 257494 = 0,25 L_e$$

Toyota Corolla ICEV

Cidade

$$F_{w,C} = \frac{1}{H_f \eta_i \eta_t} \int (Av + Bv^2 + avM) dt = \frac{1}{32,3 \times 10^6 \times 0,41 \times 0,88} \times [126,25 \times 17769 - 0,46 \times 263621 + 1417 \times 3091] = 0,558 L$$

Autoestrada

$$F_{w,H} = \frac{1}{H_f \eta_i \eta_t} \int (Av + Bv^2 + avM) dt = \frac{1}{32,3 \times 10^6 \times 0,41 \times 0,88} \times [126,25 \times 16507 - 0,46 \times 371739 + 1417 \times 3091] = 0,306 L$$

Ciclo FTP - Cidade

$$F_{x,C} = \frac{1}{H_f \eta_i} \int \left(\frac{Cv^3}{\eta_t} + \alpha \right) dt = \frac{1}{32,3 \times 10^6 \times 0,41} \times \left[\frac{0,449}{0,88} \times 4549907 + 750 \times 1874 \right] = 0,300 \text{ L}$$

Ciclo - Autoestrada

$$F_{x,H} = \frac{1}{H_f \eta_i} \int \left(\frac{Cv^3}{\eta_t} + \alpha \right) dt = \frac{1}{32,3 \times 10^6 \times 0,41} \times \left[\frac{0,449}{0,88} \times 8540124 + 750 \times 765 \right] = 0,409 \text{ L}$$

Como tabelado $F_w = 0,44 \text{ L}$ $F_x = 0,32 \text{ L}$ $FF = 0,29$

Economia de combustível combinada do Toyota Corolla $F_c = 0,0469 \text{ L/km}$

$$MIF_C = \left(\frac{F_{w,C}}{F_{w,C} + F_{x,C}} \right) \left(\frac{F_C}{M} \right) = \left(\frac{0,558}{0,558 + 0,300} \right) \left(\frac{0,0469}{1417} \right) = 0,215 \text{ L}_{/100km100kg}$$

$$MIF_H = \left(\frac{F_{w,H}}{F_{w,H} + F_{x,H}} \right) \left(\frac{F_C}{M} \right) = \left(\frac{0,306}{0,306 + 0,409} \right) \left(\frac{0,0469}{1417} \right) = 0,142 \text{ L}_{/100km100kg}$$

$$MIF_{Comb} = \left(\frac{F_w}{F_w + F_x} \right) \left(\frac{F_C}{M} \right) = \left(\frac{0,44}{0,44 + 0,32} \right) \left(\frac{0,0469}{1417} \right) = 0,192 \text{ L}_{/100km100kg}$$

$$FRV = \left(\frac{\partial F}{\partial M} \right) \left(\frac{1}{\int v dt} \right) = \left(\frac{F_w}{M} \right) \left(\frac{1}{\int v dt} \right) = \left(\frac{F_w}{F} \right) \left(\frac{F_C}{M} \right) = \left(\frac{F_w}{F_w + F_x + F_F} \right) \left(\frac{F_C}{M} \right)$$

$$F = F_C \int v dt = 0,0469 \times 17,201 = 0,808 \text{ L}_{/100km100kg}$$

Para a cidade substituindo os parâmetros obtém-se:

$$FRV_C = \left(\frac{F_{w,C}}{F} \right) \left(\frac{F_C}{M} \right) = \left(\frac{0,558}{0,808} \right) \left(\frac{0,0469}{1417} \right) = 0,299 \text{ L}_{/100km100kg}$$

Para a autoestrada substituindo os parâmetros obtém-se:

$$FRV_H = \left(\frac{F_{w,H}}{F} \right) \left(\frac{F_C}{M} \right) = \left(\frac{0,306}{0,808} \right) \left(\frac{0,0469}{1417} \right) = 0,126 \text{ L}_{/100km100kg}$$

Para cidade-autoestrada combinado substituindo os parâmetros obtém-se:

$$FRV_{Comb} = \left(\frac{F_w}{F} \right) \left(\frac{F_C}{M} \right) = \left(\frac{0,440}{0,808} \right) \left(\frac{0,0469}{1417} \right) = 0,180 \text{ L}_{/100km100kg}$$

$$f = MIF \times m_1 \times d$$

$$f_L = f - FRV \times (m_1 - m_2) \times d$$

$$m_1 = \text{massa alumínio} = 1,1159 \text{ Kg} \quad m_2 = \text{massa PPS} = 0,2184 \text{ Kg} \quad d = 257494 \text{ km}$$

Cidade

$$f = 0,215 \times 1,1159 \times 257494 = 1,52 \text{ L}$$

$$f_L = 1,52 - 0,299 \times (1,1159 - 0,2184) \times 257494 = 1,19 \text{ L}$$

Autoestrada

$$f = 0,142 \times 1,1159 \times 257494 = 1 \text{ L}$$

$$f_L = 1 - 0,126 \times (1,1159 - 0,2184) \times 257494 = 0,82 \text{ L}$$

Combinado

$$f = 0,192 \times 1,1159 \times 257494 = 1,35 \text{ L}$$

$$f_L = 1,35 - 0,180 \times (1,1159 - 0,2184) \times 257494 = 1,10 \text{ L}$$

Tabela A.1-Parametros tabelados, Kim et al., 2015.

Parâmetros para o cálculo													
Modelo	Tipo de veículo	ETW (kg)	Consumo de combustível (Le/100 km) [FU]	Coast-down coefficient (Target)			Φ		q		Fw	Fx	FF
				A (N)	B [N/(m/s)]	C [N/(m/s)²]	Cidade (UDDS)	Autoestrada	Cidade (UDDS)	Autoestrada			
Corolla	ICEV	1417	4,7	126,25	-0,46	0,449	-	-	-	-	0,44	0,32	0,29
Leaf	BEV	1644	1,4	133,31	0,71	0,49	0,73	0,38	1	1			

Φ- rácio entre travagem e energia cinética; q- fração de trabalho de tração do motor elétrico; Fw- consumo de combustível pela carga induzida pela massa; FF- Energia perdida pelo atrito do motor; Fx- consumo de combustível de cargas aerodinâmicas e acessórios

Tabela A.2-Resultados intermédios obtidos.

Modelo	Tipo de veículo	Le				Le/100 km 100 kg			Le/100 km 100 kg		
		Fw,cidade	Fw,autoestrada	Fx,cidade	Fx,autoestrada	MIF cidade	MIF autoestrada	MIF combinado	FRV cidade	FRV autoestrada	FRV combinado
Corolla	ICEV					0,215	0,142	0,192	0,229	0,126	0,18
Leaf	BEV	0,13	0,156	0,091	0,194	0,05	0,038	0,045	0,05	0,038	0,045

Tabela A.3 - Resultados finais.

Marca	Modelo	Tipo de veículo	Massa dos componentes (kg)		Distância (km)	Consumo fase de uso (Baseline - L/Le)			Consumo fase de uso (Redução de peso- L/Le)		
			Massa AL	Massa PPS		f cidade	f autoestrada	f combinado	fL cidade	fL autoestrada	fL combinado
Toyota	Corolla	ICEV	0,274	0,2184	257494	1,52	1,00	1,35	1,19	0,82	1,10
Nissan	Leaf	BEV				0,35	0,27	0,32	0,28	0,21	0,25

Apêndice B

Tabela B.1-Diferenças relativas AL – PPS, dos impactes ambientais do berço ao portão para a modelação APOS e cut-off.

Categoria de impacte	Unidade	Berço ao portão				Diferença relativa AL - PPS APOS	Diferença relativa AL - PPS cut-off
		AL APOS	PPS APOS	AL cut-off	PPS cut-off		
Alterações climáticas	kg CO2 eq	3,10E+00	1,15E+00	2,64E+00	1,23E+00	63%	53%
Formação fotoquímica de ozono	kg NMVOC eq	1,24E-02	5,10E-03	7,72E-03	5,26E-03	59%	32%
Acidificação	mol H+ eq	1,88E-02	7,11E-03	1,41E-02	7,19E-03	62%	49%
Eutrofização marinha	kg N eq	3,33E-03	1,32E-03	2,43E-03	1,34E-03	60%	45%
Eutrofização terrestre	mol N eq	3,35E-02	1,33E-02	2,54E-02	1,34E-02	60%	47%
Uso de recursos fósseis	MJ	4,15E+01	1,89E+01	2,59E+01	2,16E+01	54%	16%
Uso de recursos minerais e metais	kg Sb eq	1,24E-03	3,77E-05	8,42E-04	3,64E-05	97%	96%
Depleção de ozono	kg CFC11 eq	2,81E-07	2,24E-07	1,19E-07	2,36E-07	20%	-99%
Radiação ionizante	kBq U-235 eq	3,45E-01	1,07E-01	1,13E-01	1,75E-01	69%	-55%
Partículas	disease inc.	2,56E-07	6,66E-08	3,01E-07	6,02E-08	74%	80%
Toxicidade humana, não-cancerígena	CTUh	6,44E-08	3,49E-08	4,99E-08	3,54E-08	46%	29%
Toxicidade humana, cancerígena	CTUh	1,09E-08	4,85E-09	3,83E-09	5,20E-09	55%	-36%
Eutrofização, água doce	kg P eq	1,29E-03	4,05E-04	8,67E-04	5,20E-04	69%	40%
Ecotoxicidade, água doce	CTUe	8,94E+01	1,12E+02	6,13E+01	1,13E+02	-25%	-84%
Uso da terra	Pt	1,41E+02	1,59E+01	5,99E+00	7,43E+00	89%	-24%
Uso da água	m3 depriv.	7,89E-01	7,60E-01	5,49E-01	7,36E-01	4%	-34%

Tabela B.2- Comparação modelação *APOS* vs *cut-off* para o Diesel.

Categoria de impacte	Unidade	Diesel <i>APOS</i>	Diesel <i>cut-off</i>
Alterações climáticas	kg CO2 eq	3,726	3,725
Depleção de ozono	kg CFC11 eq	0,000	0,000
Radiação ionizante	kBq U-235 eq	0,241	0,241
Formação fotoquímica de ozono	kg NMVOC eq	0,016	0,016
Partículas	disease inc.	0,000	0,000
Toxicidade humana, não-cancerígena	CTUh	0,000	0,000
Toxicidade humana, cancerígena	CTUh	0,000	0,000
Acidificação	mol H+ eq	0,016	0,016
Eutrofização, água doce	kg P eq	0,000	0,000
Eutrofização marinha	kg N eq	0,006	0,006
Eutrofização terrestre	mol N eq	0,061	0,061
Ecotoxicidade, água doce	CTUe	27,917	27,884
Uso da terra	Pt	8,274	6,541
Uso da água	m3 depriv.	0,010	0,008
Uso de recursos fósseis	MJ	53,152	53,156
Uso de recursos minerais e metais	kg Sb eq	0,000	0,000

Tabela B.3- Comparação modelação *APOS* vs *cut-off* para os mix energéticos de Portugal (PT) e Polónia (PL)

Categoria de impacte	Unidade	Mix PL <i>APOS</i>	Mix PL <i>cut-off</i>	Mix PT <i>APOS</i>	Mix PT <i>cut-off</i>
Alterações climáticas	kg CO2 eq	0,981	1,002	0,379	0,379
Depleção de ozono	kg CFC11 eq	0,000	0,000	0,000	0,000
Radiação ionizante	kBq U-235 eq	0,026	0,026	0,025	0,025
Formação fotoquímica de ozono	kg NMVOC eq	0,002	0,002	0,001	0,001
Partículas	disease inc.	0,000	0,000	0,000	0,000
Toxicidade humana, não-cancerígena	CTUh	0,000	0,000	0,000	0,000
Toxicidade humana, cancerígena	CTUh	0,000	0,000	0,000	0,000
Acidificação	mol H+ eq	0,007	0,007	0,003	0,003
Eutrofização, água doce	kg P eq	0,001	0,001	0,000	0,000
Eutrofização marinha	kg N eq	0,001	0,001	0,000	0,000
Eutrofização terrestre	mol N eq	0,009	0,009	0,005	0,005
Ecotoxicidade, água doce	CTUe	13,364	12,938	5,530	5,509
Uso da terra	Pt	11,262	3,771	4,492	1,544
Uso da água	m3 depriv.	0,147	0,134	0,201	0,200
Uso de recursos fósseis	MJ	10,900	10,943	4,733	4,732
Uso de recursos minerais e metais	kg Sb eq	0,000	0,000	0,000	0,000

Apêndice C

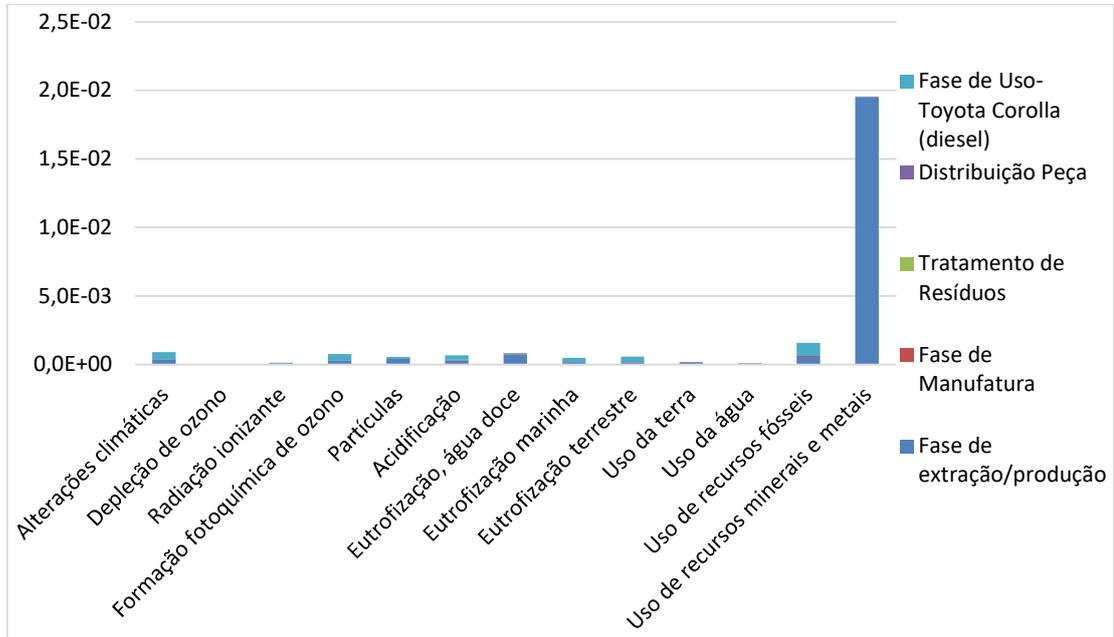


Figura C.1- Normalização alumínio - Berço à fase de uso.

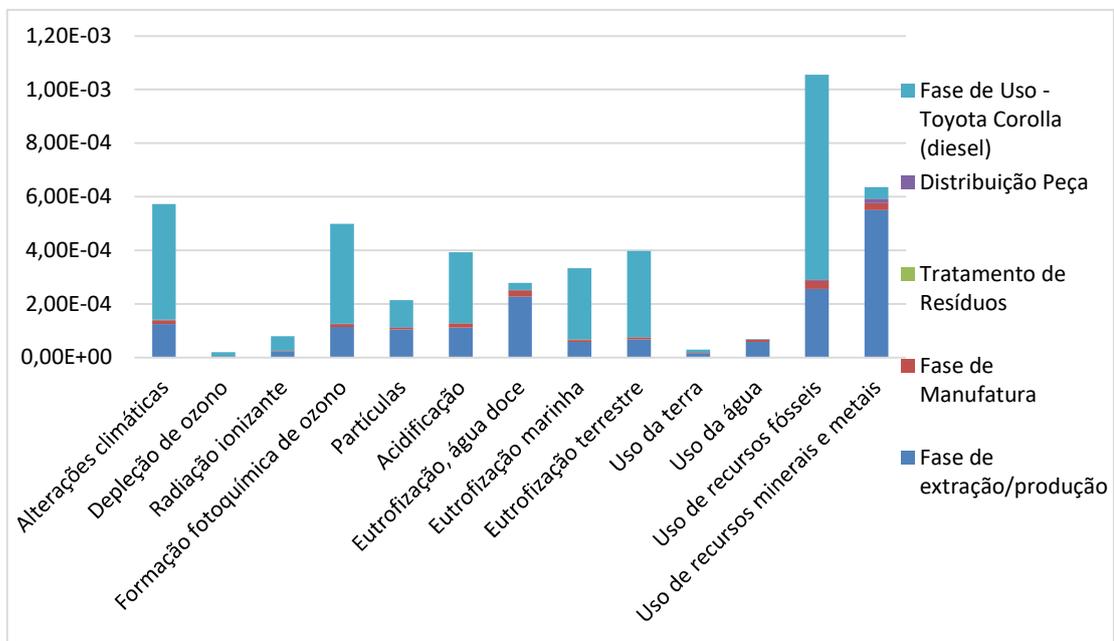


Figura C.2- Normalização PPS - Berço à fase de uso

