



Júlio André Labrincha “*Life cycle thinking*” aplicado à micromobilidade
Calão



Júlio André Labrincha Calão “*Life cycle thinking*” aplicado à micromobilidade

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho, Professora Auxiliar com Agregação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e coorientação do Professor Doutor António Manuel Godinho Completo, Professor Associado com Agregação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Esta dissertação teve o apoio dos projetos:
UIDB/00481/2020 e UIDP/00481/2020 - FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, em particular o Research Package «Life Cycle Thinking of Active Mobility – From the Concept to the Use, under a Mechanical Technology and Automation Perspective» para o Projeto Mobilizador “Technologies for the wellbeing” do TEMA 2020-2021; CENTRO-01-0145-FEDER-022083 - Programa Operacional Regional do Centro (Centro2020), através do Portugal 2020 e do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional; DICA-VE (POCI-01-0145-FEDER-029463); Driving2Driverless (POCI-01-0145-FEDER-031923); Projeto POCI-01-0247-FEDER-033769 – “Ghisallo - Investigação e Desenvolvimento de uma nova solução de comutação urbana, assente num novo conceito de veículo elétrico de próxima geração” financiado pelo COMPETE 2020 na sua componente FEDER.

Dedico este trabalho aos meus pais.

o júri

Presidente

Doutora Isabel Maria Alexandrino Duarte
Investigadora Auxiliar, Universidade de Aveiro

Arguente

Doutora Ana Cláudia Relvas Vieira Dias
Investigador Auxiliar, Universidade de Aveiro

Orientadora

Prof. Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho
Professora Auxiliar com Agregação da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Agradeço todo o apoio dos meus pais, da Alexia e do David.

Agradeço também o apoio prestado pela Professora Margarida Coelho e pelo Professor António Completo ao longo deste ano letivo, dando orientação técnica e partilha de conhecimentos para a realização da presente dissertação.

Como agradecimento especial, fica aqui o meu obrigado ao Dr. Pierpaolo Cazzola, e ao ao International Transport Forum, pela cedência da metodologia de avaliação de ciclo de vida.

palavras-chave

Avaliação de ciclo de vida, micromobilidade, mobilidade, sustentabilidade, emissões de gases com efeito de estufa

resumo

Enquanto a produção de um automóvel tem um custo ambiental de várias toneladas de CO₂, produzir uma bicicleta e assegurar a sua manutenção consome escassos recursos. Substituir a utilização do automóvel por modos ativos de mobilidade também reduz a poluição sonora e do ar.

O objetivo principal da presente dissertação consiste em fazer a avaliação de ciclo de vida de um veículo de micromobilidade numa perspetiva *life cycle thinking*, ou seja, fazer a análise “do berço ao túmulo”, realizando desta forma um rastreio da atividade desde a extração da matéria-prima (“berço”) até ao fim de vida do produto (“túmulo”). A metodologia de avaliação de ciclo de vida é bastante aceite para apreciar o potencial de soluções ambientalmente sustentáveis. Desta forma, pode-se obter uma imagem completa das interações humanas com o meio ambiente através deste produto ou serviço.

A ferramenta de avaliação de ciclo de vida usada no presente trabalho é um modelo disponibilizada pelo International Transport Forum - *Good to Go? Assessing the Environmental Performance of New Mobility*; este será usado para modelar o cenário base e alguns cenários alternativos, para os quais se alteraram algumas variáveis de modo a avaliar a variação nos diferentes impactes ambientais. Algumas das alterações focalizaram-se nos materiais do veículo, nas fontes de energia primária para carregamento do veículo, no uso do veículo como mobilidade partilhada, entre outros fatores. O objetivo dos cenários alternativos é encontrar alternativas ao cenário base que possam ser adotadas ainda na fase de desenvolvimento, ou numa segunda geração do veículo. Há cenários com outra perspetiva, no sentido de apenas verificar e quantificar os impactes de certas variáveis que possam ser menos sustentáveis, tais como o transporte dos veículos entre o local de produção e os locais de venda através de avião.

Os resultados da ACV no cenário base são satisfatórios, do ponto de vista em que o veículo de micromobilidade estudado se encontra num intervalo de valores entre os veículos semelhantes, com valores de emissões de gases com efeito de estufa e consumo de energia, por veículo-quilómetro (vkm), na ordem dos 30 g CO₂ eq/vkm e 0,36 MJ/vkm, respetivamente.

Entre os cenários testados considerando o veículo de uso particular, conclui-se que a produção do veículo é a categoria responsável por mais emissões de GEE (42,11% do total), entre as restantes: transporte, infraestrutura e eletricidade. Conclui-se também que o transporte dos veículos do local de produção para o local de venda, quando feito de avião, tem maior impacte ao nível das emissões de GEE (resultando num aumento de 10% do valor total). Medidas que baixam o impacte ambiental do ciclo de vida do veículo são: carregar as baterias do veículo através de fontes de energias renováveis; alteração de materiais do veículo como o alumínio, substituindo por outros com menor impacte ambiental, como o aço ou aço inoxidável e utilizar maioritariamente as ciclovias em detrimento das estradas.

keywords

Life cycle assessment, micromobility, mobility, sustainability, greenhouse gases emissions

abstract

While the production of a car has an environmental cost of several tons of CO₂, producing a bicycle and ensuring its maintenance may consume few resources. Replacing the car usage for active mobility modes also reduces noise and air pollution. The main objective of this Master dissertation is to carry out a life cycle assessment of a micromobility vehicle in a life cycle thinking perspective, that is, to carry out an analysis "cradle-to-grave", performing a tracking of the activity since the extraction of the raw material ("cradle") to the end of the product's life ("grave"). The life cycle assessment methodology is widely accepted for finding environmentally sustainable solutions. In this way, a complete picture can be obtained, human interactions with the environment through this product or service.

The life cycle assessment tool used is a model provided by the International Transport Forum - Good to Go? Assessing the Environmental Performance of New Mobility; it is used to model the baseline scenario and some alternative scenarios, changing some variables to assess different environmental impacts depending on their changes. Some of the changes were focused on vehicle materials, primary energy sources for vehicle battery charging, use of the vehicle as shared mobility, among other factors. The objective of alternative scenarios is to find solutions to the baseline scenario that can be adopted yet in the development phase, or in a second generation of the vehicle. There are scenarios with other perspectives, which are focused on the impacts of certain variables that cannot be so environmentally sustainable, such as the transport of vehicles by plane between the production site and the sales locations.

The LCA results in the baseline scenario are satisfactory, from the point of view that the micromobility vehicle studied is in a range of values between similar vehicles, with greenhouse gas emissions and energy consumption values, per vehicle-kilometer, 30 g CO_{2 eq}/vkm and 0.36 MJ/vkm, respectively.

Among the tested scenarios considering the private use vehicle, it is concluded that the vehicle production is the category responsible for the majority of GHG emissions (42,11% of the total), among the others: transport, infrastructure and electricity. It is also concluded that the transport of vehicles from the production site to the sales site, when done by plane, has a greater GHG emissions impact (resulting in an increase of 10%). Measures that lower the environmental impact of the vehicle's life cycle are: charging the vehicle's batteries through renewable energy sources; changing of vehicle materials such as aluminum, by others with less environmental impact, such as steel or stainless steel, and also use mainly cycle paths in detriment of roads.

Índice

| | |
|---|-----------|
| LISTA DE FIGURAS..... | 3 |
| LISTA DE TABELAS..... | 4 |
| CAPÍTULO 1 | 6 |
| Introdução | 6 |
| 1.1 Motivação..... | 6 |
| 1.2 Objetivos..... | 7 |
| 1.3 Estrutura | 8 |
| | |
| CAPÍTULO 2 | 10 |
| Estado de arte | 10 |
| 2.1 Introdução | 10 |
| 2.2 Avaliação de ciclo de vida – mobilidade e micromobilidade | 11 |
| | |
| CAPÍTULO 3 | 21 |
| Metodologia e Métodos..... | 21 |
| 3.1 Introdução | 21 |
| 3.2 Ferramenta de ACV ITF – Good to Go..... | 22 |
| 3.3 Definição de objetivos e âmbito de ACV | 25 |
| 3.4 Definição de Inventário de ciclo de vida..... | 27 |
| 3.5 Cenários Alternativos..... | 44 |
| 3.5.1 Cenário Alternativo 1: Alteração de materiais..... | 45 |
| 3.5.2 Cenário Alternativo 2: Transporte para a Madeira | 46 |
| 3.5.3 Cenário Alternativo 3: Utilização de ciclovias | 47 |
| 3.5.4 Cenário Alternativo 4: Carregamento da bateria através de energias renováveis | 47 |
| 3.5.5 Cenário Alternativo 5: Veículo como mobilidade partilhada | 48 |
| 3.5.6 Cenário alternativo 6: Conjugação dos cenários alternativos 1, 3 e 4 | 50 |
| | |
| CAPÍTULO 4 | 51 |
| Resultados | 51 |
| 4.1 Avaliação de Impacte Ambiental da Análise de Ciclo de Vida | 51 |
| 4.2 Resultados cenário base | 51 |
| 4.3 Resultados dos cenários alternativos | 54 |
| 4.4 Interpretação de resultados | 57 |
| | |
| CAPÍTULO 5 | 62 |
| Conclusão e trabalhos futuros..... | 62 |

| | |
|---------------|----|
| ANEXO 1 | 70 |
|---------------|----|

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 Estrutura da dissertação..... | 9 |
| Figura 2.1 Taxonomia e classificação de veículos de micromobilidade com propulsão (18) | 10 |
| Figura 3.1 Distribuição dos pilares da ACV no capítulo 3 e 4 | 21 |
| Figura 3.2 Representação gráfica de uma análise well-to-wheel (WTW) (42) | 24 |
| Figura 3.3 Pilares da ACV de acordo com o ITF – Good to Go? (15) | 24 |
| Figura 3.4 Protótipo do veículo Ghisallo (fotografia da autoria de Prof. António Completo)..... | 26 |
| Figura 3.5 Avaliação de ciclo de vida do cenário base | 27 |
| Figura 3.6 Principais etapas do Inventário de Ciclo de Vida (20) | 28 |
| Figura 3.7 Exemplo de inventário de ciclo de vida de um produto (20) | 29 |
| Figura 4.1 Emissões de GEE por vkm [g CO ₂ /vkm] do cenário base..... | 51 |
| Figura 4.2 Emissões de GEE por vkm da ACV do cenário base, por pilar e subcategorias | 52 |
| Figura 4.3 Consumo de energia por veículo-quilómetro [MJ/vkm] | 53 |
| Figura 4.4 Resultados de emissões de GEE e consumo de energia por veículo, ao longo do ciclo de vida | 53 |
| Figura 4.5 Emissões de GEE de material por veículo..... | 54 |
| Figura 4.6 Resultado de emissões de GEE/veículo do cenário base e cenários alternativos (excluindo o cenário 5)..... | 55 |
| Figura 4.7 Resultado de emissões de GEE por vkm do cenário alternativo 5 | 57 |
| Figura 4.8 Percentagem de emissões de GEE/vkm por pilar da ACV, de diferentes casos de estudo | 60 |
| Figura 4.9 Enquadramento do resultado obtido com os veículos de micromobilidade desenvolvidos pelos autores do ITF – Good to Go | 61 |

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 2.1 Resumo da revisão bibliográfica mais relevante | 20 |
| Tabela 3.1 Relação de massas e categorias de materiais do veículo | 30 |
| Tabela 3.2 Tabela de propriedades da bateria..... | 31 |
| Tabela 3.3 Energia necessária para produção de cada material por quilograma | 32 |
| Tabela 3.4 Emissão de GEE por categoria de material | 35 |
| Tabela 3.5 Constituição das Infraestruras | 39 |
| Tabela 3.6 Fontes de energia de eletricidade da REN, dados de 2020 (53) | 42 |
| Tabela 3.7 Intensidade energética de produção de energia..... | 42 |
| Tabela 3.8 Emissões de GEE associados à produção de eletricidade..... | 43 |
| Tabela 3.9 Tabela resumo dos cenários alternativos | 45 |
| Tabela 3.10 Distribuição do peso do veículo pelas categorias de materiais | 46 |
| Tabela 4.1 Valores de emissões de GEE e consumo de energia por vkm e por veículo dos diferentes cenários | 56 |
| Tabela 4.2 Comparação de resultados com ACV's semelhantes..... | 58 |

Lista de siglas e abreviaturas

GEE – Gases com efeito de estufa
CO_{2eq} – Dióxido de carbono equivalente
Gt – giga toneladas
ENMAC – Estratégia Nacional para a Mobilidade Ativa Ciclável
ACV – Avaliação de ciclo de vida
ITF – International Transport Forum
e-bike – bicicleta elétrica (*aka* pedelec)
e-skate – skate elétrico
e-scooters – trotinete elétrica
e-mopeds – categoria de scooter elétrica (motociclo elétrico)
e-cargo bike – bicicleta de carga elétrica
e-van – carrinha comercial elétrica
SAE – *Society of Automotive Engineers*
ISO – *International Organization for Standardization*
LCT – *Life Cycle Thinking*
MIT – *Massachusetts Institute of Technology*
pkm – passageiro-quilómetro
vkm – veículo-quilómetro
LAB – Baterias de Cúmulo Ácido
Pb-Sb-Cd – Chumbo-antimónio-cádmio
Pb-Sn-Ca – Chumbo-estanho-cálcio
LIB – Baterias de Lítio-íão
NCM – Lítio-níquel-cobalto-manganês
LFP – Lítio-ferro-fosfato
GWP – *Global Warming Potential*
PMFP – *Particulate Matter Formation Potential*
POFP – *Photochemical Oxidant Formation Potential*
NCHTP – *Human Toxicity Potential-Noncancer*
TETP – *Terrestrial Ecotoxicity*
NMC – *Nickel Manganese cobalto* (battery)
FDP – *Fossil Depletion Potential*
MDP – *Metal Depletion Potential*
IRP – *Ionizing Radiation*
MEP – *Marine Eutrophication*
TAP – *Terrestrial Acidification*
BSS – *Bike Sharing System*
TNEI – *Total Normalized Environmental Impacts*
LDV – *Light Duty vehicles*
TID – *Traditional Intermodal Distribution*
DET – *Distribution by Electric Tricycle*
BEV – *Battery Electric Vehicle*
AID – *Alternative Intermodal Distribution*
GREET – *Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy use in Transportation*
PM10 – *Particulate Matter* (partículas com diâmetro inferior a 10 micrómetros)
PM12 – *Particulate Matter* (partículas com diâmetro inferior a 12 micrómetros)
MCI – Motor de combustão Interna
REN – Rede Energética Nacional
WTT – *Well to Tank*
TTW – *Tank to wheels*
ICV – Inventário de Ciclo de Vida
AIACV – Avaliação de Impacte Ambiental de Ciclo de Vida

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

O mundo está a viver a maior taxa de crescimento populacional em ambientes urbanos na história. Atualmente, mais de metade da população mundial vive em cidades e é expectável que a percentagem de habitantes em ambientes urbanos aumente até aos 70% em 2050. Este crescimento tem o potencial de criar fatores positivos para os cidadãos das zonas urbanas, tais como emprego e bem-estar, assim como o crescimento económico. No entanto, um crescimento rápido também faz multiplicar o número, tamanho e complexidade dos desafios encontrados nas cidades, tais como o aumento de procura de recursos, elevados requisitos de infraestruturas básicas, serviços públicos, assim como desigualdades sociais (1).

Com o rápido crescimento da população urbana, as cidades em todo o mundo enfrentam graves problemas de mobilidade. O rápido aumento do uso de veículos gerou sérios problemas no transporte urbano, com o congestionamento de tráfego, poluição do ar e emissões de gases de efeito estufa (GEE) (2–4).

O aumento das emissões de dióxido de carbono (CO₂), consumo de energia, má qualidade do ar e poluição sonora são alguns dos maiores problemas causados pela mobilidade, especialmente em áreas urbanas. Em todo o mundo, o transporte foi responsável por um quarto das emissões totais de CO₂ em 2016. O transporte rodoviário foi responsável por 71% das emissões de GEE dos transportes da UE em 2018 (5–7).

Os meios de transporte têm globalmente um impacto ambiental considerável. Contribuem com mais de 22% das emissões totais de GEE, consomem 27% da energia final e consomem mais da metade do petróleo disponível (8,9).

Por estas razões, governos, legisladores e fabricantes estão a trabalhar ativamente no problema, introduzindo um conjunto muito amplo e heterogéneo de intervenções que visam aumentar a sustentabilidade dos meios de transporte através da melhoria de eficiência de motores, atualização tecnológica e estrutural, uso de energias alternativas e combustíveis, redução de emissões, planeamento de rotas e introdução de limitações e incentivos à compra. No entanto, a avaliação da sustentabilidade dos meios de transporte é um conceito vago e por vezes poderá ser ambíguo, requer definições e metodologias de análise precisas que não se podem limitar apenas ao consumo de recursos, mas também devem considerar outros aspetos relacionados com questões económicas, sociais, bem-estar, saúde humana e integridade ecológica, para que as intervenções de melhoria possam ser verdadeiramente focadas e úteis (9,10).

Os países e as cidades devem ser capazes de resolver os problemas económicos, sociais e ambientais simultaneamente com o objetivo de melhorar o bem-estar e a qualidade de vida de seus habitantes. Na procura por modelos de cidade sustentáveis, equitativos, conectados e inovadores, os líderes em todo o mundo olham para as experiências de outras cidades para obter ideias e estudar as melhores práticas. Embora não haja uma solução *standard*, existem diferentes práticas já desenvolvidas ou em curso com o objetivo de ajudar os gestores nos seus esforços para criar áreas urbanas que sejam ambientalmente, economicamente e socialmente sustentáveis (1).

Neste sentido, “o programa do Governo português destacou a sustentabilidade ambiental, a liderança na transição energética e a valorização territorial como objetivos cimeiros no desenho de políticas para tornar a sociedade e a economia portuguesas mais preparadas relativamente ao grande desafio das próximas décadas: reduzir as emissões de gases com efeito de estufa e atingir a neutralidade carbónica nos próximos 30 anos, até 2050” (11).

O setor dos transportes desempenha um papel crucial neste caminho, sobretudo num país onde a maioria da população ainda usa carro próprio para grande parte dos seus percursos (12); em Portugal o parque de veículos rodoviários motorizados em circulação atingiu os sete milhões de veículos em 2019, o que representou um crescimento de 4,8% face a 2018.

“A ação governamental assenta, por isso, em três grandes pressupostos: a promoção do transporte público, a eletrificação dos veículos e a transferência de utilizadores para modos de deslocação mais sustentáveis e ativos”, como os modos ativos ou micromobilidade. Em particular, relativamente à bicicleta, foi elaborada a Estratégia Nacional para a Mobilidade Ativa Ciclável 2020 -2030 (ENMAC 2020 -2030), um compromisso para a presente década e independente de ciclos políticos, que assegurará a promoção do uso da bicicleta, a conseqüente adoção de hábitos de vida mais saudáveis e o investimento na construção de ciclovias. “A concretização desta estratégia privilegia um trabalho temático e transversal, capaz de garantir os compromissos nacionais e internacionais assumidos por Portugal no domínio da sustentabilidade, dos quais se destaca o Acordo de Paris sobre as alterações climáticas e os objetivos de desenvolvimento sustentável adotados no contexto da Organização das Nações Unidas, prevendo 51 medidas de promoção da mobilidade ativa ciclável” (11).

“Os compromissos nacionais decorrentes do Acordo de Paris, no sentido de garantir a neutralidade carbónica em 2050, implicam uma progressiva descarbonização da economia, na qual os transportes têm uma parte decisiva, importando alterar profundamente os padrões de deslocação, para tornar o setor sustentável em termos ambientais. O Roteiro para a Neutralidade Carbónica e o Plano Nacional de Energia e Clima estabelecem que, até 2030, as emissões de gases com efeito de estufa terão de ser reduzidas entre 45% e 55%, e que 45% a 47% do consumo de energia terá de ser de origem renovável. Neste contexto, as deslocações realizadas a pé ou com bicicleta constituem opções racionais do ponto de vista energético, em particular em relação ao automóvel individual, ao consumirem muito menos recursos energéticos, tornando o transporte de pessoas e bens mais eficiente” (11).

Enquanto a produção de um automóvel tem um custo ambiental de várias toneladas de CO₂, produzir uma bicicleta e assegurar a sua manutenção consome escassos recursos. Substituir a utilização do automóvel por modos ativos também reduz a poluição sonora e as emissões poluentes produzidas pelo setor dos transportes (partículas, gases de escape, poeiras de pneus e travões) (11).

Citando um excerto de Pedro Ribeiro da Silva no livro Do Fim do Mundo ao princípio da Rua: “Todo o plano é simultaneamente processo. Plano, porque enquadra medidas estratégicas e releva ações estruturantes de forma a tornar eficientes as intervenções. Processo, porque envolve as populações, associações e entidades de modo a inserir dinâmicas municipais capazes de manter este desígnio cívico na agenda de trabalho de toda a comunidade”; e é exatamente nesta temática que se enquadra este trabalho académico, dando o seu contributo no meio académico, técnico, e de certo modo social no âmbito da mobilidade urbana, com uma avaliação de ciclo de vida de um veículo de micromobilidade (13).

Pretende-se com este trabalho demonstrar que a mobilidade já não é vista exclusivamente como a soma da propriedade individual de automóvel e respetiva apropriação da cidade e da vila, mas enquanto elemento integrador de múltiplas formas de deslocação. Face às alternativas mais ecológicas, económicas e práticas ao dispor, bem como as alterações culturais do cidadão face à cidade, consubstanciando na valorização do regresso aos centros urbanos, do comércio tradicional, das dinâmicas de rua, da proximidade casa-trabalho-escola e a tudo o resto que a cidade oferece aos seus habitantes e utilizadores. Urge pensar num novo modelo para a mobilidade que interaja de perto com as funções urbanas (13). Procurando uma solução sustentável para a mobilidade nas cidades, é necessário adequar veículos às necessidades dos diferentes requisitos dos residentes nessas zonas urbanas.

1.2 Objetivos

O objetivo principal do presente trabalho consiste em realizar a avaliação de ciclo de vida (ACV) de um veículo de micromobilidade, recorrendo à metodologia de avaliação do impacto ambiental associado ao produto durante o seu ciclo de vida, desde a extração das matérias-primas, sua produção e utilização, até ao destino final. Como objetivo secundário, será verificar o enquadramento da ACV obtida entre os veículos de micromobilidade existentes, avaliando assim a conformidade do mesmo ou disparidade em relação aos restantes ACV's existentes em veículos semelhantes.

O veículo em análise recai no trabalho realizado no âmbito do Projeto Ghisallo na Universidade de Aveiro, da autoria de Sara Brandão (2018), sobre desenvolvimento do quadro-suspensão-direção do veículo, onde esta apresenta como descrição de uso do veículo: um transporte multimodal que permita ao condutor uma condução suave, confortável, estável, segura, limitada a poucos esforços e que ao mesmo tempo seja fácil de adaptar e transportar em transportes públicos como o metro, o comboio e até o autocarro. Uma vez que o veículo já se encontra desenvolvido, dimensionado, com grande maioria das peças selecionadas, o presente trabalho consistirá no estudo de análise do seu ciclo de vida, de modo a ter indicadores ambientais que sustentem decisões futuras com base na sustentabilidade ambiental do produto (14).

A ACV será modelada de acordo com a metodologia *Good to Go? Assessing the Environmental Performance of New Mobility*, desenvolvida por Pierpaolo Cazzola e Philippe Crist do International Transport Forum (15).

Será elaborado o cenário base e respetiva interpretação dos resultados: energia necessária para a produção do veículo, consumo de energia, impactes emissões de CO₂; também será analisado o impacto de diferentes cenários, tais como: a influência do carregamento de baterias através de energias renováveis em vez da rede de energia nacional, uso predominante de ciclovias em relação à estrada, meios de distribuição do veículo, alteração do material da bicicleta, entre outros(15).

1.3 Estrutura

O documento está dividido em 5 capítulos. O presente capítulo pretende-se introdutório no sentido de permitir fazer um breve enunciado do problema, relevância técnica, e a partir daí, apontar os objetivos que respondam a tais desafios. A descrição da organização do documento, também se encontra graficamente estruturada na Figura 1.1.

O capítulo dois, na caixa azul da Figura 1.1, é relativo ao estado da arte, onde se faz um enquadramento da mobilidade e micromobilidade enquanto estudo no âmbito da avaliação de ciclo de vida. Este capítulo aborda a necessidade e relevância da ACV no sector dos transportes, principalmente na micromobilidade e no meio de transporte alternativo aos veículos de combustão interna e o seu impacte ambiental.

No capítulo três, na área limitada a tracejado azul na figura em baixo, é onde se vai centrar grande parte do trabalho da dissertação. Este capítulo aborda a metodologia e métodos adotados pelo autor para a realização do presente trabalho, permite ao leitor conhecer todo o processo prático realizado, quais as razões que levaram a escolher e arbitrar determinadas variáveis, as condições-fronteira do estudo, pressupostos adotados e enquadramento teórico de acordo com a metodologia adotada.

Segue-se o capítulo quatro, onde se apresentam os resultados obtidos assim como a sua interpretação.

Por fim, no capítulo cinco, as conclusões obtidas com o trabalho feito na presente dissertação assim como algumas propostas de trabalhos futuros que podem complementar todo o trabalho já elaborado.

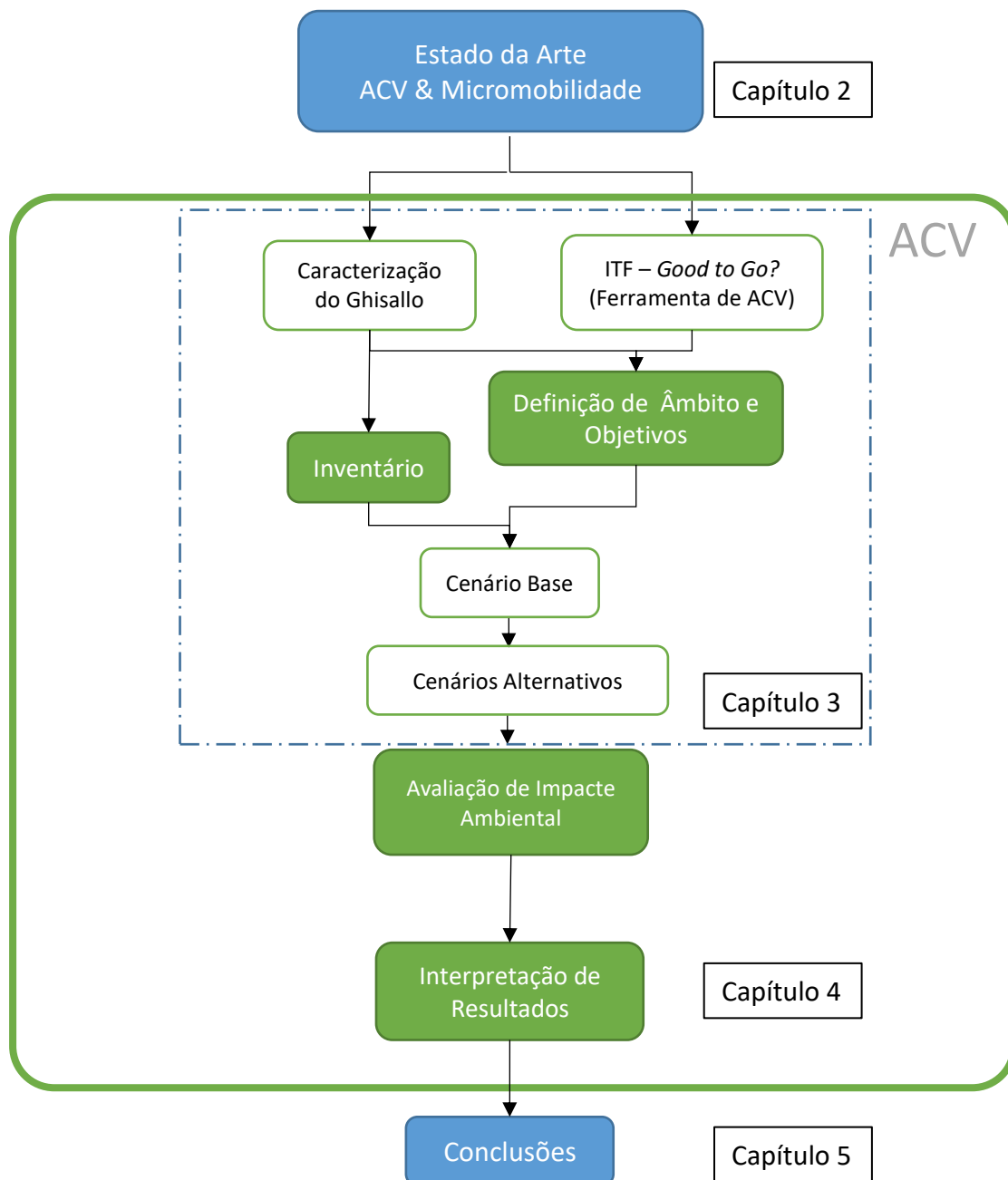


Figura 1.1 Estrutura da dissertação

Capítulo 2

Estado de arte

2.1 Introdução

Por definição, de acordo com Dr. Jean-Paul Rodrigue em The Geography of Transport Systems, a mobilidade é a facilidade, conforto, conveniência de movimento de um passageiro ou de uma unidade de carga. Está relacionado tanto com custos de transporte quanto aos atributos do que está sendo transportado (fragilidade, perecível, preço). Fatores políticos também podem influenciar a mobilidade, como leis, regulamentos, fronteiras e tarifas. Quando a mobilidade é alta, as atividades são menos limitadas pela distância (16).

A mobilidade é fundamental para o desenvolvimento social e económico das cidades: proporciona acesso a empregos e escolas, facilita o contato das pessoas com serviços e informações, entrega produtos, facilita negócios, mantém a segurança, permite a socialização, melhora o acesso aos serviços de saúde e dá sentido de liberdade pessoal para indivíduos em todo o mundo. Em outras palavras, a mobilidade urbana tem um grande impacto na habitabilidade e funcionamento das cidades. Portanto, quanto melhores e mais eficientes forem a conectividade e a acessibilidade nas cidades, maior será o bem-estar das pessoas (1).

Entre os anos 2010-2020, década em que a inovação desafiava continuamente o *status quo* da mobilidade, surge a micromobilidade, com origem nas ruas americanas que começaram a ser inundadas por pequenos veículos, como e-bikes e e-skates. Os utilizadores de tais veículos elogiam a sua capacidade de proporcionar passeios convenientes e rápidos, mas, mais importante, pela sua capacidade de tornar a viagem agradável. Agora, uma década depois do seu surgimento, a micromobilidade finalmente estabeleceu-se e a norma da mobilidade urbana foi redefinida. Mas atualmente, é razão para inúmeros debates a questão de saber se a micromobilidade como a conhecemos é um vislumbre de nosso futuro de mobilidade ou uma moda passageira (17).

No mês de novembro de 2019 é publicado o standard da SAE: *Taxonomy and Classification of Powered Micromobility Vehicles* (18), onde a Sociedade Internacional Automóvel procede à taxonomia e padroniza termos, definições e classificação de veículos de micromobilidade motorizados (18).

Segundo a norma, é considerado um veículo de micromobilidade com propulsão motora, um veículo cujo peso total seja inferior ou igual a 500 libras (227 kg) e atinja uma velocidade máxima de 30 milhas por hora (48 km/h). Na Figura 2.1, em baixo, podemos ver os diferentes tipos de veículos de micromobilidade motorizados para transporte de pessoas. Os veículos de micromobilidade podem ter diferentes categorias: (a) transporte de pessoas, (b) profissional e (c) entrega de mercadorias (18).

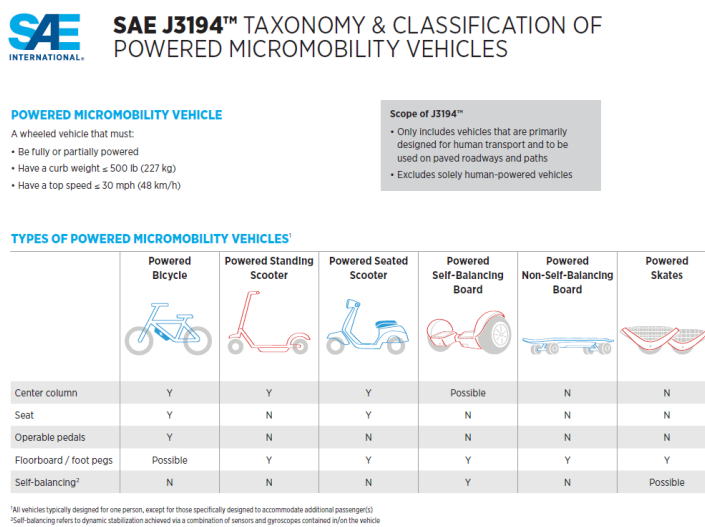


Figura 2.1 Taxonomia e classificação de veículos de micromobilidade com propulsão (18)

Na comunidade, surgem atualmente algumas questões: Quais seriam os impactes ambientais da viagem de bicicleta elétrica para o trabalho ou para a Universidade em alternativa à viagem de carro? E se a bicicleta elétrica fosse um veículo partilhado de uma plataforma de bicicletas de gestão municipal? Será a bicicleta elétrica tão sustentável ambientalmente como a bicicleta convencional? Nesse sentido, um cidadão pode perguntar: qual a mobilidade alternativa aos carros de combustão que será a mais sustentável? Talvez apenas o simples facto de ir num carro partilhado com colegas já seja mais sustentável, mas o que falta é rever literatura sobre o tema, fazer um estudo e quantificar os impactes, para dar respostas a estas questões, apoiadas de forma sustentada com números.

Na tentativa de reduzir os impactos ambientais das atividades industriais e humanas, cientistas e engenheiros têm-se concentrado apenas num estágio do ciclo de vida de uma atividade específica, por exemplo, ao tentar proteger o meio ambiente das emissões de uma instalação industrial, muitas vezes recorre-se a uma tecnologia de fim de linha para limpar as emissões atmosféricas ou efluentes líquidos. Embora as tecnologias de limpeza reduzam a poluição imediata da instalação, o uso de energia e produtos químicos e a necessidade de tratar e descartar os resíduos gerados no processo de limpeza muitas vezes levam a poluição adicional a montante ou a jusante dessa instalação industrial. Assim, em vez de proteger o meio ambiente, pode-se estar inadvertidamente a aumentar os impactos dessa instalação. Portanto, pode-se ter certeza de que estamos protegendo o meio ambiente como um todo somente se adotarmos uma abordagem de sistema para considerar todo o ciclo de vida de uma atividade. Esse conceito é conhecido como metodologia de ciclo de vida, também chamada de “*cradle-to-grave*” (“do berço ao túmulo”) porque rastreia uma atividade desde a extração da matéria-prima (“berço”) até o retorno dos resíduos ao solo (“túmulo”). Atualmente é amplamente aceite que soluções ambientalmente sustentáveis podem ser encontradas através de uma abordagem de ciclo de vida para a análise do sistema ambiental. Dessa forma, podemos obter uma imagem completa das interações humanas com o meio ambiente e evitar a transferência dos impactes ambientais de um estágio do ciclo de vida para outro. Um passo importante na tentativa de entender os impactos das interações humanas com o meio ambiente é a identificação e qualificação dos impactes ambientais de uma atividade “*cradle-to-grave*”, sendo a avaliação do ciclo de vida uma das ferramentas que podem ajudar a fazer isso (19).

O ciclo de vida é um conceito que se refere à necessidade de avaliar os encargos e benefícios associados aos produtos/setores/projetos, adotando uma perspectiva holística, desde a extração da matéria-prima até o fim da vida. O *Life Cycle Thinking* (LCT) pode ser aplicado aos pilares económico, social e ambiental. O pilar ambiental da LCT é principalmente apoiado pela ACV, que compila e avalia as entradas, saídas e potenciais impactes ambientais de um sistema ou produto ao longo do seu ciclo de vida (ISO 14 040/44:2006); identifica e quantifica, em todas as etapas, a extração e consumo de recursos (incluindo energia) e as emissões para o ar, solo e água (20,21).

A operacionalização da ACV consiste em quatro fases interligadas: a Definição de âmbito e objetivos; o Inventário de Ciclo de Vida; a Avaliação de Impacte Ambiental e a Interpretação de Resultados (20).

Em síntese, a aplicação da ACV permite: avaliar os impactes ambientais e aumentar o desempenho ambiental de serviços, produtos, processos e sistemas; auxiliar na adoção de decisões ambientalmente favoráveis; quantificar as emissões ambientais para o ar, água, e solo relativamente a cada estágio de ciclo de vida; e efetuar análises comparativas de impactes entre dois ou mais produtos, processos ou serviços (20).

As principais limitações da ACV relacionam-se com o facto de ser considerado apenas o critério ecológico em detrimento dos aspetos económicos e sociais da análise (a ACV não determina qual o produto ou processo mais caro ou que funciona melhor) e pelo facto de a elaboração da ACV utilizar de muitos recursos, podendo, por isso, demorar muito tempo (21,22).

2.2 Avaliação de ciclo de vida – mobilidade e micromobilidade

Começaram-se a realizar estudos de avaliação de ciclo de vida aplicada à micromobilidade sensivelmente há 15 anos e desde então tem tido um crescimento contínuo de artigos e estudos publicados numa base anual.

Um estudo de 2014 intitulado *The Complete Impact of Bicycle Use – Analyzing the Environmental Impact and Initiative of the Bicycle Industry*, tem como objetivo analisar quantitativamente a sustentabilidade

dos processos de manufatura usados para produzir bicicletas da marca Specialized e determinar qualitativamente o estado atual do ponto de vista da sustentabilidade. A equipa de pesquisa determinou que a sustentabilidade ambiental tem dois níveis: o baixo nível de sustentabilidade, que é simplesmente o cumprimento de todas as leis ambientais e o segundo nível de sustentabilidade, que envolve a superação dos requisitos legais por meio de liderança ambiental e inovação. Com essas diferenças em mente, a equipa avaliou onde a Specialized se posiciona ao longo desse “espectro de sustentabilidade” e categorizou-a relativamente à forma de como isso se compara à indústria geral de bicicletas (23).

De maneira a enquadrar a referida marca de bicicletas no espectro de sustentabilidade, foi realizada a revisão bibliográfica. Na época, no entanto, apenas havia 4 marcas de bicicletas que apresentavam nos seus sítios *online* os quais sustentáveis eram os seus produtos, apresentando os estudos publicamente.

Da referida análise bibliográfica, os autores encontraram mais estudos, também de Universidades e outras instituições, dos quais se passam a citar quatro deles. As quatro ACV apresentadas são aplicadas a bicicletas, sendo que três comparam bicicletas com outros modos de mobilidade e transporte.

O departamento *The Swiss Materials Science & Technology* apresentou em 2011 na feira Eurobike em Friedrichshafen, Alemanha, um estudo ACV que compara uma bicicleta convencional a uma bicicleta elétrica, uma scooter a gás, uma scooter elétrica, um carro a gasóleo e um carro elétrico (24). O resultado deste estudo demonstra que a bicicleta convencional tem o menor impacto ambiental, este resultado é previsível e não diz ao leitor se a produção de bicicletas pode ser mais eficiente (23). Num artigo recente, Bortoli (25) afirma que este estudo de Duce não considera o impacto ambiental provocado pela infraestrutura na ACV.

O segundo artigo mencionado é de um estudante de mestrado no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) que realizou uma ACV que compara a caminhada com a bicicleta e uma variedade de outros meios de transporte (26). Este estudo tinha como objetivo quantificar o consumo de energia e os impactos ambientais de diversos meios de transporte (tais como caminhada, bicicleta convencional, e-bike, entre outros) usando a metodologia de ACV – Carnegie-Mellon’s EIO-LCA. O autor concluiu que as bicicletas elétricas consomem menos de 10% da energia necessária para alimentar um veículo ligeiro por km e emitem 90% menos poluentes por passageiro-quilómetro (pkm) em relação a um autocarro quando este se encontra com a ocupação máxima. Verificou também que os hábitos das pessoas e os fatores económicos têm influência na eficiência de como os meios de transporte são utilizados. O estudo mostrou também que caminhar, usar uma bicicleta convencional ou uma elétrica polui a mesma quantidade de GEE, por ter sido considerado que do ponto de vista do humano ao andar de bicicleta ou a pé, em esforço, também libertam dióxido de carbono. Uma bicicleta elétrica em comparação com uma convencional consome mais energia na fase de produção e uso, no entanto a convencional obriga o utilizador a respirar com mais intensidade e a fazer muito mais esforço, o que se reflete na energia gasta pelo utilizador na fase de utilização e num aumento de emissões de CO₂ com a respiração (23).

A terceira ACV (27) compara bicicletas a e-bikes, scooters (de motor de combustão) e scooters elétricas; os autores Leuenberger e Frischknecht, extrapolaram a entrada de energia para fabricar bicicletas reduzindo os dados de produção de automóveis. Os autores de (23) consideram que uma vez que isso não inclui informações disponíveis sobre técnicas de gestão ambiental utilizadas nas indústrias, esta extrapolação é provavelmente imprecisa.

O quarto estudo de ACV referido é de Accell Group (2012) (28), sobre 4 bicicletas diferentes: uma bicicleta urbana totalmente equipada, uma bicicleta de fibra de carbono para estrada, uma bicicleta infantil de aço e uma bicicleta elétrica. Foi usado o banco de dados Ecoinvent e o software SimaPro para completar a análise. Os resultados são normalizados para ecopontos usando a metodologia ReCiPe e convertidos para o número de quilómetros que deve ser realizado ao andar de bicicleta para compensar a produção de cada bicicleta (23).

As bicicletas com mais componentes, ou seja, a bicicleta urbana totalmente equipada, tem o maior impacto. A bicicleta de carbono é considerada a de menor impacto ambiental, devido ao fato de que este tipo de bicicleta tem muito poucos componentes e acessórios adicionais. O próprio material de carbono tem um impacto maior do que o alumínio ou aço, mas os autores atribuem o baixo peso do material ao resultado relativamente baixo. Os autores concluíram que a incerteza nos dados de impacto ambiental relativos ao carbono é relativamente alta e precisa de mais pesquisas (28).

Em conclusão, os autores do estudo (23) destacaram oportunidades para minimizar os impactos ambientais na cadeia de abastecimento da Specialized e indicaram que há preferência dos consumidores por

bicicletas feitas de forma sustentável. A falta de progresso feito até agora na indústria pode ser parcialmente atribuída ao retrato positivo da comunicação social sobre as bicicletas e a indústria das mesmas. Esses resultados levaram os autores a concluir as suas recomendações finais ao cliente (fabricante de bicicletas) e ao setor da indústria, que devem agir imediata e continuamente para:

- Envolver-se com sua cadeia de abastecimento para registrar as práticas atuais, medir os impactos atuais, estabelecer políticas e programas claros, definir metas para os minimizar e, em seguida, medir e rastrear mudanças e melhorias
- Colaborar entre a indústria para identificar e prolongar as melhores práticas de manufatura e gestão

O relatório anterior (23) não menciona Cherry et al. (29), por exemplo, embora seja um estudo anterior a 2014, no entanto é ainda mencionado muitas vezes na literatura atual sobre o assunto em questão, tal como nos artigos (30–32).

O estudo de Cherry et al. é sobre o material usado para a produção de diferentes meios de transporte, podendo com isto verificar-se o impacto que estes têm no meio ambiente. Neste estudo (29), analisaram os impactos ambientais das bicicletas elétricas na China relativos à sua produção e utilização. Quanto à fase de fim de vida, encontraram algumas dificuldades uma vez que este meio de transporte é recente e não existem muitos estudos sobre essa matéria, mas de salientar a poluição causada pelo chumbo presente nas baterias. O tempo de vida das baterias é, em média, 2 anos ou cerca de 10 000 km. A poluição causada pelo chumbo é o maior problema causado pelo uso desta bicicleta elétrica, e devido ao seu curto tempo de vida, uma bicicleta pode usar até cinco baterias em toda a sua vida, existindo emissão de chumbo ao longo de 4 processos: extração do minério e sua fundição, no fabrico das baterias, reciclagem das baterias, e o que não é reciclado vai para os resíduos sendo esta percentagem até 5% do peso final da bateria.

De acordo com o estudo, uma bicicleta elétrica gasta em média cerca de 3,8 – 7,6 kWh/100 km, em que a maior parte da eletricidade provém de combustíveis como o carvão (cerca de 75%). De um balanço ambiental desde a produção ao uso, obteve-se os seguintes valores: 1,65 g CO/100 km, 6,38 g NOx/100 km, 1,72 g PM10/100 km, 13,03 g SO₂/100 km, 0,67 g VOC/100 km, 21,5 g CO₂/ km (29,33).

Acerca de bicicletas elétricas e o impacto ambiental das suas baterias destas, Liu et al. divulgaram um artigo onde quantificavam o ciclo de vida ambiental das baterias LABs (chumbo-antimónio-cádmio, Pb-Sb-Cd e chumbo-estanho-cálcio, Pb-Sn-Ca) e LIBs (lítio-níquel-cobalto-manganês, NCM e lítio-ferro-fosfato, LFP) por meio da metodologia de avaliação do ciclo de vida.

Para o estudo em causa, na fase de metodologia do relatório, é mencionado que de acordo com os dados dos fabricantes de e-bikes, as baterias Pb – Sb – Cd, Pb – Sn – Ca, LFP e NCM podem viajar aproximadamente 40 km, 40 km, 45 km e 50 km com uma carga, a distância de vida calculada é de 14 000 km, 14 000 km, 36 000 km e 30 000 km, respetivamente (31).

Os resultados mostraram, que as baterias LFP têm melhores resultados de desempenho ambiental do que baterias NCM e LABs, mas causam maiores níveis de toxicidade humana carcinogénica, devido à descarga de Cr da produção de cobre, além disso, devido ao zinco e cobre descarregados na água, durante a produção de cobre para LIBs, a toxicidade para a água das LIBs é maior do que a dos LABs (31).

Baterias Pb – Sb – Cd tiveram o maior GWP, PMFP, POFP, NCHTP e TETP, e o TETP foi mesmo uma ordem de magnitude maior do que a dos LIBs (31).

Baterias Pb – Sn – Ca mostraram o potencial menos tóxico para humanos e água, devido ao uso de tecnologia sem cádmio (31).

Baterias NCM tiveram o maior FDP, MDP, IRP, MEP e TAP, principalmente por causa de sua vida útil insuficiente e o grande número de recursos de metais pesados usados, como níquel, cobalto e manganês (31).

Além da extração e produção de diversos metais na fase de extração das matérias primas e produção, o consumo de eletricidade da bateria durante a fase de uso foi o principal contribuinte para os impactos ambientais das baterias, porque a eletricidade é fortemente dependente da energia do carvão, na China. A análise mostrou que prolongar a vida útil da bateria e aumentar a taxa de reciclagem de baterias NCM pode efetivamente reduzir a carga ambiental da mesma. Modos de utilização de baterias LFP, reparações e reutilização de baterias Pb – Sn – Ca podem reduzir o impacto ambiental das mesmas, portanto,

se a reutilização da bateria for combinada com a melhoria da vida útil da bateria e reciclagem, o desempenho ambiental das baterias deve melhorar muito (31).

Atualmente a maioria dos estudos de avaliação de ciclo de vida em mobilidade e/ou micromobilidade são acerca de mobilidade partilhada, intermodalidade, sistemas de serviços partilhados de e-bikes (também chamadas de “pedelecs”), e-scooters, e-mopeds e em diferentes contextos de cidades em países como França, Alemanha, China, Estados Unidos da América, etc; diferentes modos de uso, produção, entre outras variantes.

A dúvida se a micromobilidade partilhada é realmente uma boa alternativa de mobilidade é um tema muito discutido na literatura atual, devido à complexidade do seu estudo, às necessidades atuais das empresas em afirmarem-se como sustentáveis e com produtos de baixo impacto ambiental perante outros modos de locomoção com propulsão a motores de combustão interna, por exemplo, é uma realidade.

Em 2021 foi publicado um artigo por Anne de Bortoli sobre algo que o autor considera que nunca tinha sido avaliado através da avaliação de ciclo de vida, baseado em dados reais recolhidos. A ACV foi realizado com base em três serviços de micromobilidade partilhada em Paris – bicicletas, e-scooters e e-mopeds de segunda geração; e suas alternativas particulares (25).

Dos resultados das ACV's, a bicicleta particular é de longe o modo mais eficiente em todos os indicadores, seguida pela bicicleta partilhada nos três tipos de impactos estudados, mas classificada igual à e-scooter partilhada em termos de emissões de carbono, e também classificado de forma igual com a e-scooter privada de médio porte em termos de consumo primário de energia (25).

Numa das variantes, foi também analisada uma nova tecnologia da estação de carregamento, que diminui o consumo de eletricidade em 1 g de CO₂eq /pkm, ou seja, uma queda de 3% na pegada de carbono em comparação com a estação convencional de carregamento (25).

Na maioria, os quadros de bicicleta são considerados de alumínio, material mais nocivo ao meio ambiente do que o aço; uma bicicleta de aço emite 35 kg de CO₂ ao longo de seu ciclo de vida, enquanto a bicicleta pessoal de alumínio neste estudo emite 212 kg de CO₂eq (25).

A conclusão do estudo aponta que o desempenho ambiental da micromobilidade deve ser investigada dentro de um grande conjunto de condições, em países específicos e não análises de cenários específicos.

Os resultados mostram que a micromobilidade pessoal é globalmente melhor classificada que a micromobilidade partilhada devido a maior expectativa de vida do veículo, mas a quilometragem vitalícia precisa ser investigada mais detalhadamente, geralmente, a bicicleta partilhada tem uma classificação melhor do que e-mopeds de serviço de partilha, que se classificam melhor do que a e-scooter partilhada (25).

Anne Bortoli conclui também que a manutenção é influente no desempenho da e-scooter partilhada, o transporte de veículos não afeta o desempenho, a menos que seja feito por avião; o abastecimento de eletricidade afeta o desempenho da e-scooter e do motociclo elétrico, exceto em países com eletricidade de baixa intensidade de carbono (25).

Semih Severengiz et. al. em 2020, também sentiram que havia a necessidade na comunidade de se analisar o impacto ambiental de novos serviços de mobilidade, como scooters elétricas partilhadas na cidade de Bochum na Alemanha. Este artigo utiliza indicadores ambientais quantificáveis, incluindo o Potencial de Aquecimento Global, qualidade do ar local, bem como a demanda de espaço público. A fim de demonstrar o potencial impacto ambiental de um sistema de e-scooter partilhada, três cenários para uma utilização modal em Bochum foram desenvolvidos e examinados (7).

Os resultados apoiam a proposta de que novos serviços de mobilidade podem reduzir o impacto ambiental das áreas urbanas como sistema de transporte, além disso, recomendações para aumentar ainda mais o benefício ambiental de novos serviços de mobilidade podem ser derivadas desta abordagem (7).

A fim de desenvolver totalmente o potencial desta metodologia, mais pesquisas precisam ser feitas abordando a avaliação precisa do impacto da nova mobilidade em serviços multimodais. Uma compreensão do comportamento do utilizador em novos serviços de mobilidade (por exemplo, duração de uso e frequência de aluguer) é crucial e dados relevantes devem ser recolhidos. Outros indicadores, como ciclo de vida primário, a demanda de energia e a poluição sonora podem completar o quadro, uma vez que os dados estejam disponíveis (7).

Uma recomendação também mencionada no estudo é a implementação de estações de troca de baterias, alimentadas por uma unidade de eletricidade renovável, onde o utilizador pode trocar a bateria. Esta ideia de implementação é da empresa Gogoro, em Taiwan (7).

De novo, Semih Severengiz et al., mantêm o foco no estudo das e-scooters, sendo este tema discutido de forma controversa como uma nova alternativa de mobilidade para as cidades, devido ao seu rápido crescimento no mercado e uso partilhado, levantou questões sobre a sustentabilidade ambiental e os benefícios públicos em muitas cidades do mundo (34).

A alta dinâmica do mercado e os insuficientes dados públicos disponíveis sobre os processos concretos do negócio de e-scooters partilhadas dificultam as declarações claras sobre os efeitos ecológicos dos mesmos (34).

O objetivo do artigo (34) é realizar uma avaliação de ciclo de vida considerando Berlim, como cidade, e os veículos e-scooters partilhados.

Com base em diferentes cenários de operação, os potenciais ecológicos das e-scooters devem ser avaliados de uma forma mais diferenciada. Os resultados mostram como a vida útil do produto, baterias substituíveis, logística de recolha dos veículos e necessidades de carregamento influenciam os resultados de emissão de GEE em comparação com meios de transporte alternativos (34).

As e-scooters partilhadas são um negócio relativamente novo, portanto, dificilmente há dados confiáveis sobre a vida útil das e-scooters e os métodos de carregamento das mesmas também diferem muito. Para levar em conta essas incertezas, foram criados diferentes cenários para a fase de uso. Além do cenário base, examinaram-se três cenários relacionados à recolha da bateria ou e-scooter para carregamento, um cenário relacionado à vida útil da e-scooter e um cenário relacionado à mistura da rede elétrica usada para carregar as e-scooters (34).

Os seis cenários testados são: cenário 1 – menor tempo de vida; cenário 2 – bateria não substituível; cenário 3 – bateria substituível por *e-van*; cenário 4 – bateria substituível por *e-cargo bike*; cenário 5 – transporte por avião e cenário 6: carregamento por energia solar (34).

Comparando os impactos ambientais do ciclo de vida por pkm para cada cenário, no caso do cenário base, o GWP médio é 77 g CO₂eq/pkm, sendo 63% de materiais e manufatura, 1% do transporte e 35% da fase de uso. Na fase de uso, 11% do GWP vem da eletricidade para carregar as baterias, 13% da recolha das baterias e e-scooters com van a diesel e 4% da bateria para troca (1,5 baterias por scooter) (34).

Uma vida útil mais curta pode aumentar muito o impacto ambiental das e-scooters partilhadas, alterando de 6 anos (cenário base) de vida útil para 2 anos (cenário 1), o GWP aumenta 308% para 237 g CO₂eq/pkm, com uma participação muito maior na categoria da produção, de 82%. Abordagens alternativas para carregar as e-scooters podem reduzir significativamente ou aumentar os impactos ambientais. Se nenhuma bateria substituível for usada, resultando numa distância média de 1 km por e-scooter por dia para a carrinha recolher e carregar (cenário 2), o GWP aumentará 56%, resultando em 121 g CO₂eq/pkm. A fase de uso responde então por 58% desse impacto ambiental. O uso de *e-vans* para recolha (cenário 3) resulta numa redução de 12%, enquanto que o uso de *e-cargo bikes* para recolha e substituição de baterias (cenário 4) poderia resultar numa redução do GWP em 17%. Se as e-scooters fossem carregadas com energia solar (cenário 6), o impacto do GWP poderia ser reduzido em 14%. Caso as e-scooters sejam transportadas por via aérea da China para a Alemanha, aumentaria em 20% o GWP (34).

Por 1 kg de peso da e-scooter, o GWP é de 13 kg CO₂eq, a produção dos componentes de alumínio responde por 65%, a bateria por 12% e o motor e os componentes eletrônicos por 6% cada (34).

Em conclusão, por parte dos autores, estes consideram que as e-scooters podem ser uma solução eficaz para o congestionamento urbano e o problema da “última milha”, mas não reduzem necessariamente os impactos ambientais do sistema de transporte atual (34).

Mais uma vez, um estudo demonstra que existe potencial para as e-scooters aumentarem as emissões do ciclo de vida em relação aos modos de transporte que substituem, na pior das hipóteses, o GWP por passageiro-quilómetro de partilha de e-scooter poderia ser maior do que todos os outros modos de transporte, incluindo carros particulares, dependendo das particularidades em causa (34).

Neste estudo, descobriu-se que o GWP associado ao uso de e-scooters partilhadas é dominado pela fase de produção, especialmente a produção de peças de alumínio. Além da produção, a vida útil das e-scooters, as distâncias para recolher as baterias ou e-scooters perdidas/danificadas, o tipo de veículo de recolha e a fonte de eletricidade para carregar as e-scooters são fatores de influência importantes (34).

Os autores afirmam ainda que os fornecedores de e-scooters também devem tomar medidas importantes para reduzir o impacto ambiental, em primeiro lugar, produzir veículos com menor quantidade de alumínio, já que os componentes de alumínio correspondem a 65% do GWP de produção da e-scooter; recomendam também ao fabricante o uso de alumínio "verde", com alto índice de reciclagem e energias renováveis na produção (34).

Os valores deste estudo são comparáveis a estudos anteriores, considerando Hollingsworth et al. que publicaram um estudo que determinou um GWP de 88 g CO₂eq/pkm para uma vida de 24 meses e 281 g CO₂eq/pkm para uma vida útil de 6 meses (35); os valores apurados neste estudo são 17% menores, sendo que esses desvios se devem à suposição de distâncias menores para a recolha das baterias (34).

No intuito de também dar o seu contributo técnico na comunidade académica e científica no âmbito da ACV de micromobilidade, constatado o facto de que o serviço partilhado de bicicletas está a ter uma crescente popularidade global e de que ainda há pouco conhecimento sobre o desempenho ambiental deste modo de viagem emergente, o relatório de Gu et al. dá o seu contributo, através de pesquisa e baseado no método avaliação do ciclo de vida (36).

Em primeiro lugar foi realizada uma pesquisa baseada em questionários para identificar as mudanças nos modos de transporte após a introdução de bicicletas partilhadas. Os resultados da pesquisa mostram que o uso de bicicletas partilhadas é mais popular entre a população jovem e de baixos rendimentos, e as bicicletas partilhadas são predominantemente usadas para substituir as caminhadas e os transportes públicos (maioritariamente autocarros) (36).

Para dar resposta à pergunta “se as bicicletas partilhadas são uma boa prática ambiental”, este estudo obteve resposta em função das mudanças e nos modos de transporte após a introdução das bicicletas partilhadas. A análise de sensibilidade sugere que as empresas de bicicletas partilhadas devem aumentar a atração e a adesão às pessoas de 25 a 45 anos, porque esses utilizadores trazem mais benefícios ambientais do que a geração mais jovem, devido à maior média de quilometragem usando bicicletas partilhadas e por substituir outros meios de transporte com maior impacto ambiental (36).

Os resultados sugerem que o aumento das taxas de aluguer pode garantir a sustentabilidade do desempenho económico sem comprometer o ambiente geral de atuação, além disso, a vida útil da bicicleta partilhada deve ser superior a dois anos, para garantir a compatibilidade ambiental deste modo de viagem emergente sustentável. Reduzindo o volume atual de bicicletas partilhadas pela metade pode levar a melhorias ambientais significativas (36).

À semelhança de Anne Bortolli (25) e também de Semih Severengiz (34), algumas conclusões do autor deste estudo (36) são remetidas para a indústria, de modo a esta maximizar os benefícios ambientais de bicicletas partilhadas, sendo direcionado às empresas profissionais e administradores, são propostos da seguinte forma: para os profissionais de negócios, primeiro, o encorajamento para o uso de materiais ecológicos em bicicletas partilhadas; os resultados de ACV mostram que uma proporção significativa dos impactos ambientais das bicicletas partilhadas são atribuídos aos materiais usados, portanto, o uso de materiais ecológicos podem ser uma medida viável para reduzir ainda mais a pegada ambiental (36).

É referido no relatório que atualmente já há empresas de partilha de bicicletas que estão a adotar ações nesse sentido, considerando materiais de menor impacto ambiental nas suas bicicletas, caso da Mobike, que alterou o corpo das bicicletas partilhadas, passando de 25 kg de alumínio a 18 kg de aço (37). De acordo com (36), essa mudança no material e no peso reduz 0,91 kg CO₂eq.

No âmbito dos artigos referidos anteriormente, Mao et al. também publicaram um artigo sobre bicicletas partilhadas pois também notaram que este negócio que está com um crescimento acentuado na China, e é dito como uma prática ambientalmente amigável, no entanto, a produção em massa e a reciclagem insuficiente de bicicletas partilhadas podem trazer grande impacto ambiental, e sentiu-se a necessidade de quantificar (38).

Neste estudo, os autores realizaram uma avaliação do ciclo de vida da partilha de bicicletas na China para estimar os impactos ambientais das etapas de todo o ciclo de vida com nove categorias de impacto ambiental (38).

Os resultados mostram que a etapa de produção contribui com maior impacto ambiental numa taxa média de 81,18% entre as diferentes categorias de impacto, muito superior a outras fases, ou seja, a fase de uso, gestão diária, fase de transporte e reciclagem (38).

O uso de alumínio na fase de produção contribui para o máximo em nove categorias de impactos ambientais (55,43% em média). A borracha é outro material com um contributo importante para essas nove categorias de impacto ambiental (16,27% em média) (38).

De acordo com os autores, espera-se que a produção cumulativa de peças excessivas traga mais impactos ambientais no estágio de produção, para promover o desenvolvimento sustentável do uso de bicicletas partilhadas, discutiu-se vários potenciais na fase de produção e manutenção, seleção de materiais para melhor durabilidade e vida útil mais longa, projeto da estrutura para a facilidade de manutenção. No tratamento de resíduos e etapa de reciclagem, sugerem o incentivo a sistemas de reciclagem para a geração de benefícios, considerando o enorme potencial de oferta e demanda do mercado (38).

De acordo com o estudo (4), sobre sistema de partilha de bicicletas (BSS – *Bike Sharing System*), os autores consideram que as BSS estão a ter um crescimento em todo o mundo, apesar das bicicletas partilhadas serem vistas como um transporte sustentável, estas ainda têm pegadas ambientais associadas à sua cadeia de funcionamento (por exemplo, distribuição das bicicleta usando veículos de apoio) e impactos a montante (por exemplo, o fabrico das bicicletas). Assim, sentiram a necessidade de avaliar os impactos ambientais de BSS através da avaliação de ciclo de vida, vital para apoio à tomada de decisão para a conceção e operação do sistema (4).

Para permitir comparações entre diferentes sistemas com diferentes tipos de impactos ambientais, os impactos em diferentes categorias estão normalizados e somados numa única dimensão para o cálculo do *Total Normalized Environmental Impact* (TNEI). O TNEI do sistema com sistema de carregamento base-fixa ($2,30 \times 10^{-4}$ unidade/vkm) é 54% maior do que o sistema de carregamento *dock-less* ($1,49 \times 10^{-4}$ /vkm), no cenário base (4).

Os potenciais impactos na saúde humana de compostos cancerígenos dominam o TNEI da estação base-fixa, sendo a principal fonte cancerígena o cromo (Cr), emitido durante o processo de fundição de alumínio e aço. Em comparação com o sistema de BSS *dock-less*, o sistema base-fixa consome mais materiais de alumínio e aço para as estações: 38,5 kg de alumínio e 45,4 kg de aço por estação; e as estações *dock-less*: 13,6 kg de alumínio e 67,8 kg de aço por estação (4).

O valor do TNEI varia de $7,75 \times 10^{-5}$ a $5,09 \times 10^{-4}$ para o sistema base-fixa e de $1,10 \times 10^{-4}$ a $2,02 \times 10^{-4}$ para o sistema *dock-less* ao considerar os melhores e piores cenários. A sobreposição implica que o sistema base-fixa pode potencialmente ter TNEI mais baixo se o serviço for fornecido com menor número de estações e doca, conseqüentemente, diferentes configurações de BSS e práticas de operação em diferentes cidades podem resultar em conclusões diferentes sobre se o sistema base-fixa e *dock-less* tem TNEI mais baixo (4).

A manutenção adequada pode estender a vida útil das BSS, além do tempo de vida estimado de 10 anos a 15 anos. No sistema *dock-less*, o TNEI pode ser maior do que o sistema base-fixa, sendo preciso o dobro das bicicletas, porque as bicicletas *dock-less* podem ser mais vulneráveis a vandalismo do que as bicicletas base-fixa. Segundo O’Kane (39), é possível que as bicicletas *dock-less* tenham uma vida útil mais curta e precisem de mais substituição de bicicleta, neste caso, o operador precisará continuamente adicionar mais bicicletas ao sistema para manter seu serviço, exigindo um maior valor de # bike / bike-km (4).

Os resultados mostram que BSS *dock-less* tem um resultado GEE de 118 g de CO₂e_q / vkm no cenário base, que é 82% mais elevado do que o sistema base-fixa. O recarregamento da bicicleta é a principal fonte de GEE, o que representa 36% e 73% dos *dock-less*, respetivamente, contudo, os de estação base-fixa têm 54% mais TNEI, em comparação (4).

De acordo com os autores, estes sugerem quatro abordagens principais para melhorar o desempenho ambiental de BSS: 1) otimizar a distribuição da bicicleta e reequilibrar rota ou reposicionamento bicicletas utilizando abordagens mais sustentáveis, 2) incentivar os utilizadores de carro privado para mudar para BSS, 3) prolongar a expectativa de vida de maneira a reduzir significativamente o TNEI de sistemas base-fixa, e 4) o aumento da eficiência de utilização da bicicleta para melhorar o desempenho ambiental dos sistemas *dock-less* (4).

Em resumo, dentro do BSS tanto sistemas base-fixa quanto o sistema *dock-less*, servem como meios de transporte sustentáveis, se estiverem bem projetados e operados. Ao determinar qual sistema é mais sustentável para desenvolver novo BSS ou modificar o sistema existente, a decisão dos fabricantes deve considerar dois fatores-chave: primeiro, a partir das emissões de GEE, uma distribuição ideal de estações e bicicletas pode significativamente diminuir a demanda de reequilíbrio e aumentar a viagem de carro operacional de reposição, aliviando assim a emissão de carbono para ambos os sistemas; em segundo lugar,

da perspectiva TNEI, como prolongar a vida útil do serviço das estações e como aumentar as taxas de utilização das bicicletas são crucialmente determinantes para o sistema base-fixa e *dock-less*, respetivamente (4).

Mudando um pouco do espectro de veículos de micromobilidade estudados, um triciclo é também enquadrado no *standard* da micromobilidade (18) desde que também se enquadre nos parâmetros de peso, potência de motor auxiliar, e restantes parâmetros. Por definição de bicicleta: um veículo com duas ou três rodas, movido exclusivamente por humano, propulsionado por pedais operáveis (ou equivalente movido à mão) afixados a um sistema de propulsão mecânica transmitido a uma ou mais rodas, tem guiador de direção e um assento; em nota: um triciclo é uma bicicleta de três rodas (18).

Segundo os autores do estudo agora apresentado, o crescimento da população urbana e o aumento das atividades de comércio eletrónico aumentam a complexidade da “última milha” (*last mile issue*) de encomendas e seus impactos no meio ambiente e na qualidade de vida. Apesar da relevância, os países emergentes têm dificuldade em estabelecer e implementar alternativas em relação ao sistema convencional com recurso a combustíveis fósseis (40).

Este artigo propõe um método para avaliar estratégias alternativas para a última milha de entrega de encomendas, em termos sociais, ambientais e económicos, e apresenta uma aplicação para avaliar a estratégia de distribuição de uma empresa de correios localizada na cidade do Rio de Janeiro, Brasil (40).

Da literatura atual, os autores referem é consensual a adoção de medidas tais como redução das dimensões dos veículos, bem como para a migração da fonte de propulsão para energia elétrica, como alternativas sustentáveis para a última milha de entregas em áreas urbanas. Por esse motivo, os autores optaram por avaliar a utilização de veículos elétricos de dimensões menores: triciclo e *light duty vehicle* (LDV) – carro comercial, na última milha de entrega de encomendas, avaliando duas alternativas à estratégia atual: processo atual – *Traditional Intermodal Distribution* (TID); estratégia alternativa ao LDV com recurso a carro com baterias tipo BEV (AID) e estratégia com recurso a triciclo elétrico (DET) (40).

Os autores fizeram um estudo em que demonstram os resultados económicos, sociais e ambientais, dos quais se destacam as emissões de CO₂eq da estratégia DET como a que teve uma redução de 98,5% em relação ao TID, enquanto a AID teve uma redução de 25% (40).

Segundo o estudo, verifica-se uma redução mensal de emissão de GEE ao substituir um LDV de combustão interna por LDV elétrico (estratégia AID) ou triciclos elétricos (estratégia DET), considerando as emissões do uso final e do ciclo de vida. As emissões de GEE da estratégia TID são de 23,72 kg, enquanto a estratégia DET usa apenas um triciclo elétrico, foi considerada uma estratégia de emissão zero, assumindo uma análise de uso final sem impacto ambiental. No entanto, numa abordagem de ciclo de vida, a emissão de CO₂eq, seria equivalente a 0,35 kg devido à eletricidade de consumo do triciclo, assim, com essa estratégia, as reduções mensais equivalem a 23,37 kg. A emissão de CO₂eq na estratégia AID seria equivalente a 17,89 kg por mês, portanto, a redução de CO₂eq seria equivalente a 5,91 kg (40).

O caso de estudo agora em análise é sobre uma empresa francesa – VOI, que através do veículo de micromobilidade partilhada, uma e-scooter, aplicou o conceito de análise de ciclo de vida de uma maneira exemplar, do ponto de vista teórico do conceito. Quer-se com isto dizer que a empresa analisou o ciclo de vida do seu veículo e, iterativamente, foi sempre aplicando alterações ao mesmo, de maneira a este tornar-se cada vez mais sustentável ambientalmente e as emissões de GEE cada vez menores.

Nos últimos anos as e-scooters evoluíram de um gadget para uma opção de micromobilidade, este meio de transporte é usado quatro vezes mais do que e-bikes partilhadas, nas cidades, ultrapassando os 20 milhões de utilizadores na Europa. As e-scooters são uma alternativa sustentável (em relação a variadas opções, tais como carros de combustão) que pode ajudar as cidades a reduzirem o congestionamento, a poluição, têm o potencial para servir como um catalisador em direção às cidades centrais “pós-carro” e tornando-se a solução para a “última milha” (*last mile*), servindo de complemento ao transporte público e ajudando a mudar hábitos de mobilidade urbana (41).

À altura em que as e-scooters apareciam em grande nas cidades, a quantidade de provas disponíveis publicamente sobre os impactos do ciclo de vida das e-scooters, em 2019, era muito limitado. A Universidade da Carolina do Norte publicou a ACV do serviço de e-scooter partilhadas em maio de 2019, por Hollingsworth et al. (35).

O artigo cujo título é *Are e-scooters polluters? The environmental impacts of shared dockless electric scooters* tem como objetivo quantificar os impactos ambientais associados ao aquecimento global, acidificação, eutrofização e impactos respiratórios desta opção de mobilidade (e-scooter partilhada) usando

a metodologia de avaliação de ciclo de vida. Os resultados de uma análise de Monte Carlo mostram um valor médio dos impactos do GWP da ACV de aproximadamente 126 g CO₂eq/pkm, devido em grande parte aos materiais e produção (50%), seguido de serviços operacionais (43%) (35).

Os autores deste artigo (35) concluem que os resultados provam que o tempo de vida é um fator altamente sensível e garantir que as e-scooters compartilhadas sejam usadas por pelo menos dois anos diminui o GWP do ciclo de vida para 88 gCO₂eq/pkm.

Este estudo da Universidade da Carolina do Norte gerou grande debate na comunidade, evocando reivindicações de sustentabilidade das e-scooters em questão, no entanto, como a ACV do estudo é baseada num serviço dos EUA, usando um modelo de simulação próprio e não explicar algumas das recentes melhorias do setor, o estudo não pode ser usado diretamente para avaliar o impacto das e-scooters na Europa (41).

Em 2019, a Voi fez uma parceria com a EY *Climate Change and Sustainability Services*, de modo a ajudá-los a entender o desempenho ambiental e como melhorá-lo, reduzindo os seus impactos ambientais. A Voi decidiu ainda ir mais além e ser a primeira operadora a partilhar os resultados dos seus estudos de ACV publicamente, acreditando que a transparência pode ajudar reguladores com as decisões políticas (41).

A evolução da ACV do serviço de e-scooter da Voi em Paris desde novembro de 2019 até março de 2020 foi sempre em sentido decrescente. No primeiro trimestre de 2019 a ACV tinha o valor de 121 g CO₂eq/pkm, muito semelhante ao resultado do estudo da Universidade da Carolina do Norte. A primeira geração de e-scooters tinha uma vida útil de 12 meses e as operações eram realizadas com veículos de motor de combustão. No terceiro trimestre de 2019, as emissões diminuíram para 68g; vários fatores contribuíram para esta redução, como o aumento da vida útil, maior utilização dos veículos e serviços de operações totalmente elétricos, usando *e-vans*.

O impacto da bateria substituível, no primeiro trimestre de 2020, a transição para uma frota de e-scooters com bateria substituível, que permite operações de bicicletas de carga e aumento da vida útil ainda maior, reduziram as emissões em 51%, para 35g CO₂eq/pkm, que em relação ao estudo de Hollingsworth et al. resulta numa diminuição de 71%.

Atualmente, estes 35g de CO₂ equivalente por passageiro-quilómetro devem-se maioritariamente aos benefícios ambientais da componente de fim de vida, que tem um valor negativo de 35,5 g CO₂eq, o que provoca um impacto positivo. Não considerando o valor de fim de vida, os materiais e fase de produção são responsáveis por cerca de 84% das emissões, sendo depois as categorias de reparação e transporte com 8% e 7%, respetivamente, e as componentes de uso e distribuição muito residuais.

O impacto das categorias de operações de distribuição diminuíram significativamente, primeiro 0,3g e depois 1,1g, graças a implementações no processo das e-scooters da Voi em Paris, devido ao uso de bicicletas de carga e *e-vans* movidas por energia renovável, respetivamente.

O foco da empresa Voi na categoria das reparações, reutilização de peças sobressalentes e reciclagem de materiais, em colaboração com o parceiro local Paprec, viabilizaram a redução do impacto significativamente, tal como mencionado anteriormente.

Na Tabela 2.1 são apresentados alguns estudos da revisão bibliográfica, com o intuito de fazer uma síntese dos mais significativos, quais os seus objetivos, métodos, conclusões e quais os seus desafios para futuros trabalhos no mesmo enquadramento de trabalho.

De notar que todos sentem a necessidade de quantificar os impactos de diferentes veículos de micromobilidade, todos elétricos, pois a tecnologia ainda é nova, há muita variedade de veículos e baterias, a cada ano há novidades, há diferentes configurações de uso, produção, produção de eletricidade de diferentes países, etc. Isto quer dizer que o âmbito de uma ACV é determinante, assim como a fase de inventário de uma avaliação de ciclo de vida e as fronteiras do sistema. A componente de interpretação também é importantíssima, de forma a parametrizar todas as variáveis interligando a definição de âmbito e objetivos, o inventário e a avaliação de impacto ambiental.

Tabela 2.1 Resumo da revisão bibliográfica mais relevante

| Ref. Ano | Objetivo e Método | Conclusões e Limitações |
|--------------|--|---|
| (26) 2010 | Quantificar o consumo de energia e os impactos ambientais de diversos meios de transporte (caminhada, bicicleta convencional, e-bike, entre outros) usando a metodologia de ACV – Carnegie-Mellon's EIO-LCA | Hábitos das pessoas e os fatores económicos têm influência na eficiência de como os meios de transporte são utilizados. Os comportamentos individuais são importantes para uma ACV específica |
| (23) 2014 | Analisar quantitativamente a sustentabilidade dos processos de manufatura usados para produzir bicicletas da Specialized e determinar qualitativamente o estado atual de interesse por bicicletas feitas de forma sustentável. | Deve envolver-se a indústria e o governo, registar práticas atuais, medir, melhorar e controlar, sucessivamente. A comunicação social passa demasiado a mensagem que os veículos como bicicletas e e-bikes já são sustentáveis e há pouca vontade de adquirir um que se diga que ainda é mais sustentável, mesmo comprovados com ACV. |
| (35) 2019 | Quantificar os impactos ambientais das e-scooters associados ao aquecimento global, acidificação, eutrofização e impactos respiratórios, através da metodologia ACV, com recurso a aplicação de análise Monte Carlo. | O tempo de vida é um fator altamente sensível e garantir que as e-scooters partilhadas sejam usadas por mais tempo diminui o GWP. O GWP é maioritariamente associados à categoria de produção e uso de veículos a combustão para serviços operacionais. |
| (36) 2019 | Pretende-se fazer uma ACV de partilha de bicicletas: através de um questionário para identificar as mudanças nos modos de transporte após a introdução de bicicletas compartilhadas numa determinada cidade; com base nos resultados dos inquéritos, modelou-se a ACV com o software Gabi. | A vida útil da bicicleta partilhada deve ser superior a dois anos, para garantir a compatibilidade ambiental deste modo de viagem emergente “sustentável”. A indústria devia optar por materiais ecológicos em bicicletas partilhadas |
| (7) 2020 | ACV de e-scooters partilhadas na cidade de Bochum, na Alemanha, de modo a quantificar indicadores ambientais como o Potencial de Aquecimento Global, qualidade do ar local, bem como a demanda de espaço público. São desenvolvidos três cenários para uma divisão modal em Bochum. | Novos serviços de mobilidade podem reduzir o impacto ambiental das áreas urbanas como sistema de transporte Uma compreensão do comportamento do utilizador em novos serviços de mobilidade (por exemplo, duração de uso, frequência de aluguer) é crucial e dados relevantes devem ser recolhidos. |
| (34) 2020 | ACV de e-scooter partilhadas na cidade de Berlim. Com base no cenário base, serão modelados cenários de operação de forma a serem avaliados de forma mais diferenciada. | O GWP é maioritariamente devido à fase de produção, especialmente a produção de peças de alumínio. Além da produção, a vida útil das e-scooters, as distâncias para recolher as baterias ou e-scooters perdidas/danificadas, o tipo de veículo de recolha e a fonte de eletricidade para carregar as scooters são fatores de influência importantes. Os fornecedores de e-scooters podem tomar medidas importantes para reduzir o impacto ambiental: produzir veículos com menor quantidade de alumínio, uso de alumínio "verde". |
| (25) 2021 | Avaliação de Ciclo de Vida modal integrada de serviços de micromobilidade partilhada em comparação com alternativas privadas, com base em dados de campo. | Os quadros de bicicleta de alumínio, material mais nocivo ao meio ambiente do que o aço; A manutenção é influente no desempenho da e-scooter partilhada. O transporte de veículos não afeta o desempenho, a menos que seja feito por avião O abastecimento de eletricidade afeta o desempenho da e-scooter e do e-moped, exceto em países com eletricidade de baixa intensidade de carbono |
| (38) 2021 | Neste estudo, realiza-se uma avaliação do ciclo de vida do serviço de partilha de bicicletas na China para estimar os impactos em todas as etapas do ciclo de vida, com nove categorias de impacto ambiental. | A etapa de produção contribui com maior impacto ambiental, de 81,18% O uso de alumínio na fase de produção contribui para o máximo em nove categorias de impactos ambientais (55,43% em média). A borracha é outro material com um contributo importante para essas nove categorias de impacto ambiental, 16,27% em média. Deve-se discutir potenciais melhorias para a fase de produção e manutenção, seleção de materiais para melhor durabilidade e vida útil mais longa, projeto da estrutura para a facilidade de manutenção. |

Capítulo 3

Metodologia e Métodos

3.1 Introdução

Neste capítulo é apresentado o processo de trabalho realizado da avaliação de ciclo de vida do veículo de micromobilidade em estudo – o Ghisallo, como já referido anteriormente. É explicado o projeto desde a fase de definição de âmbito e objetivos, inventário do produto, dados de entrada no *software* de ACV em estudo - *International Transpor Forum - Good to Go? Assessing the Environmental Performance of New Mobility* (15), modelação do cenário base (referindo toda a metodologia, condições fronteiras e considerações feitas pelo autor) e alterações necessárias para os 6 cenários alternativos. Os cenários alternativos têm o objetivo de analisar potenciais melhorias ao cenário base e/ou comprovar algumas teses que existam na comunidade atualmente, e de uma forma fundamentada e científica, testar com base neste caso de estudo, em específico.

Ao longo deste capítulo e dos próximos, o software será abreviadamente apelidado de “ITF – Good to Go”.

O capítulo 3 é graficamente apresentado na Figura 3.1, rodeado pela caixa a tracejado azul em baixo, sendo que o trabalho desenvolvido neste capítulo terá os seguintes pilares do ACV: definição de âmbito e objetivos e inventário de ciclo de vida; sendo depois a avaliação de impactes ambientais de ciclo de vida (AIACV) no capítulo 4, assim como a interpretação dos resultados.

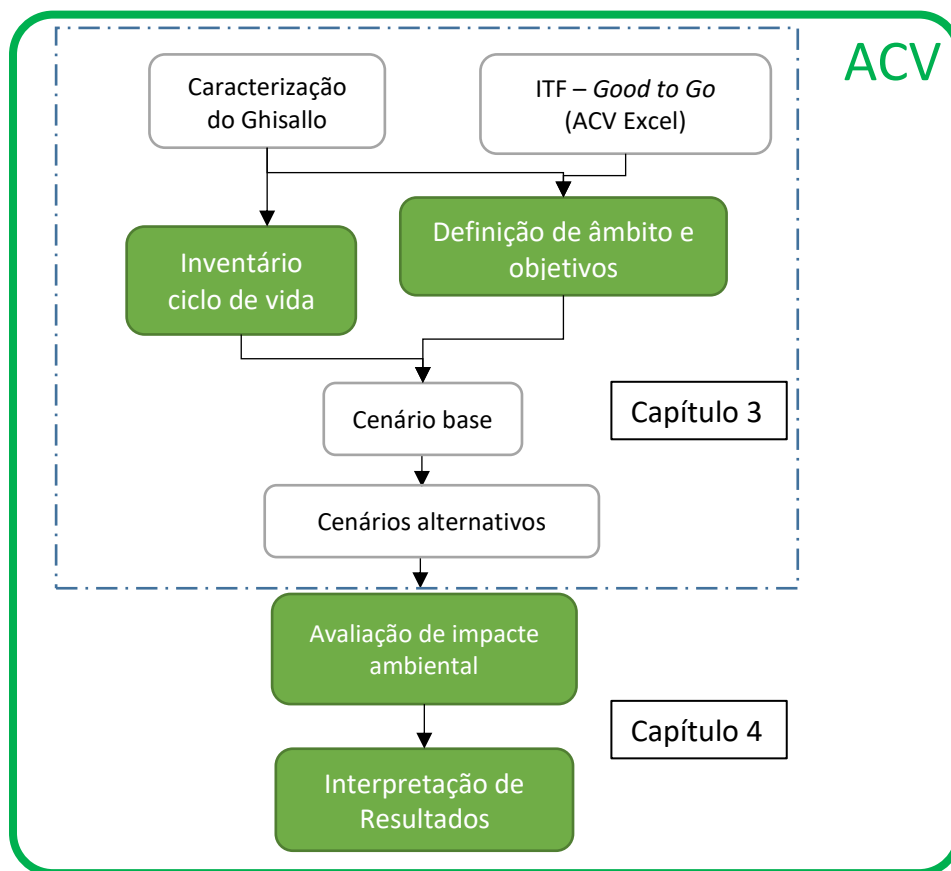


Figura 3.1 Distribuição dos pilares da ACV no capítulo 3 e 4

3.2 Ferramenta de ACV ITF – Good to Go

A ferramenta do ITF examina o impacto ambiental de diversos meios de transporte: e-scooters particulares e partilhadas, bicicletas, e-bikes, assim como de carros de diferentes tipologias, tais como: MCI, BEV, HEV, PHEV, FCEV, etc. Os cidadãos das cidades de todo o mundo estão a adotar rapidamente novas formas de mobilidade, com a ajuda da conectividade digital e das tecnologias de eletrificação. Novos serviços de mobilidade urbana são frequentemente vendidos como soluções “verdes”, mas qual é o seu impacto na demanda de energia e nas emissões de gases com efeito de estufa? Esta ferramenta analisa o desempenho do ciclo de vida de uma gama de veículos novos e serviços, com base nas suas características técnicas, operação e manutenção. O estudo compara todas as tipologias com carros particulares e transporte público.

Para uma verdadeira compreensão dos impactos energéticos e ambientais de produtos e serviços é necessária uma análise *cradle-to-grave* - “do berço ao túmulo”. Isso envolve o rastreamento de todas as etapas do produto ou serviço, desde a conceção até a execução, utilização e fim de vida, ou seja, uma avaliação completa de ciclo de vida (15).

A maneira mais fácil de ter uma noção das implicações ambientais e requisitos de energia de um produto ou serviço é contabilizando o uso direto de energia e emissões, no entanto, oferece apenas indicadores parciais das necessidades gerais de energia e impactos ambientais. Uma compreensão mais completa requer levar em consideração: os processos de fabricação necessários para garantir que o serviço possa ocorrer (ou seja, a produção dos veículos necessários para isso); as propriedades do vetor de energia final (por exemplo, com relação ao teor de carbono) usado pelos veículos que executam o serviço; as características do dispositivo usado por estes veículos para converter energia em movimento (por exemplo, motores de combustão interna, motores elétricos); o processo de produção (por exemplo, extração de petróleo, mineração de carvão, produção de eletricidade a partir de painéis solares ou parques eólicos), as transformações de energia (por exemplo, ocorrendo numa refinaria ou numa central de geração de eletricidade térmica) e as etapas de transporte e distribuição necessárias para formar os vetores de energia disponíveis para esses veículos (15).

Os impactos ambientais totais de cada um desses componentes também vão além do uso de energia e emissões de GEE - eles podem envolver emissões de outros poluentes, uso de água, mudança de habitat, etc. Esses impactos adicionais não são avaliados nesta ferramenta do ITF – Good to Go (15).

Uma ACV avalia o uso de energia e os impactos ambientais de um produto ou serviço, levando em consideração as diferentes contribuições que possibilitam sua existência, uso e descarte: projeto, produção (incluindo aquisição de materiais e energia e seu transporte até as instalações de produção), uso e operação, manutenção e reparo e tratamento de fim de vida (como reutilização, reciclagem ou descarte) (15).

De acordo com a International Organization for Standardization (ISO), uma ACV é composta por quatro fases: a definição do objetivo e o âmbito da avaliação; a análise de inventário (envolvendo a recolha de dados e o cálculo das entradas de energia e saídas de emissões); a avaliação dos impactos (ou seja, efeitos ambientais e de saúde humana regionais e globais relacionados com as entradas de energia e saídas de emissões) e a interpretação dos resultados com relação às incertezas (por exemplo, com análises de sensibilidade) e sua documentação (15).

O âmbito da ACV é inerentemente definido pelos limites do sistema (ou seja, o produto ou serviço) que está sendo analisado. Esses limites definem os recursos - incluindo energia primária e materiais, os sistemas técnicos necessários para extrair, usar e converter esses recursos para garantir a entrega final do produto ou serviço (15).

No caso do transporte, os produtos levados em consideração são tipicamente veículos (por exemplo, carros, bicicletas, autocarros, camiões, comboios, aviões e navios) e infraestrutura (por exemplo: estradas, ferrovias, aeroportos, portos). Os serviços são normalmente relacionados à entrega de passageiros e mobilidade de carga (por exemplo, viagens, transportes) (15).

Uma vantagem chave das ACV's usadas no transporte é que elas fornecem algum entendimento de onde a ação ou políticas podem ter o maior impacto na abordagem de alguns dos resultados medidos - não apenas na etapa final do uso de recursos (ou seja, consumo de combustível). Os principais exemplos incluem os combustíveis ou fontes de energia que são usados para produzir e transportar os combustíveis, os materiais necessários para a construção de veículos e infraestruturas de transporte e os recursos necessários para a sua manutenção (15).

Embora o uso da ACV no transporte possa informar as decisões políticas, é importante ter em mente que todos os resultados da ACV são baseados em estimativas técnicas e são influenciados por escolhas metodológicas. Como tal, devem ser vistos como instrumentos que permitem uma melhor compreensão do sistema considerado, sob determinados pressupostos, e não como a verdade absoluta (que é muito específica do caso) (15).

As Nações Unidas consideram as mudanças climáticas a questão da atualidade. Diversas avaliações científicas sinalizaram de forma consistente uma série de pressões sociais e ambientais associadas às mudanças climáticas: desde secas, elevação do nível do mar que ameaçam regiões baixas com o risco de inundações catastróficas, clima extremo e menos previsível e perda de biodiversidade com potenciais impactos na saúde humana, segurança alimentar, abastecimento de água e desenvolvimento econômico (15). Por outro lado, o Acordo Verde Europeu é o pacote de medidas mais ambiciosas, lançado pela Comissão Europeia, que deve permitir que os cidadãos europeus e as empresas se beneficiem de uma transição verde sustentável. É também um exemplo importante do reflexo da crescente relevância da mitigação das mudanças climáticas para o desenvolvimento econômico. Devido ao papel central que as mudanças climáticas têm nos debates econômicos e políticos, a ACV desenvolvida, a ferramenta ITF – Good to Go, concentra-se nos impactos das emissões de GEE. A ferramenta também dá prioridade à análise dos impactos de energia (15).

O foco de energia e emissões de GEE da ACV aqui realizada também se justifica pela relevância do transporte no total de emissões de CO₂ relacionadas à energia (24% em 2019, de acordo com a Agência Internacional de Energia, também como sua forte dependência histórica de fontes fósseis para sua demanda de energia (93% em 2017, de acordo com a Agência Internacional de Energia. Outra consideração que motiva para que as emissões de GEE sejam o foco da ferramenta da ACV é a sua relevância nas áreas urbanas, que não estão apenas no centro das mudanças que ocorrem no novo cenário de mobilidade, mas também estão trabalhando ativamente no clima e na sustentabilidade (conforme ilustrado pelas ações e âmbito de trabalho de redes como C40, Conselho Internacional de Iniciativas Ambientais Locais (ICLEI), POLIS na Europa e a Associação Nacional de Oficiais de Transporte Municipal (NACTO) na América do Norte (15).

De acordo com os autores do modelo do ITF – Good to Go, as avaliações de ciclo de vida na área do transporte são geralmente responsáveis pelas necessidades de energia e pelos efeitos ambientais que ocorrem em diferentes estágios do ciclo de vida dos produtos ou serviços de transporte, isto consiste em três componentes principais, de acordo com (15), como descrito abaixo e também graficamente ilustrado na Figura 3.3:

Veículo: relacionado com a produção, entrega no ponto de compra/uso, manutenção e disposição final do veículo. Inclui extração de matéria-prima, processamento, produção de componentes de veículos (por exemplo, produção da bateria), a montagem de veículos e componentes, a produção e uso de fluidos (por exemplo, lubrificantes, refrigerantes), a entrega do veículo no ponto de compra e disposição final quando for sucata (ou reutilização, reciclagem).

Combustível (Eletricidade): esta categoria denomina-se como “combustível” no modelo do ITF pois está desenvolvido para diversos meios de transporte, no entanto, no âmbito da presente dissertação será considerado apenas como “Eletricidade”. Está relacionado com a produção e distribuição da energia WTT, desde a fase well-to-tank (WTT) como fase tank-to-wheel (TTW), representadas graficamente na Figura 3.2. A fase WTT inclui a produção, processamento e entrega do combustível ou vetor de energia no dispositivo de armazenamento do veículo (por exemplo tanque de combustível ou bateria); a fase TTW é diretamente relacionada com a distância percorrida diariamente pelo veículo e está essencialmente relacionada com a conversão de energia em movimento associado a cada veículo.

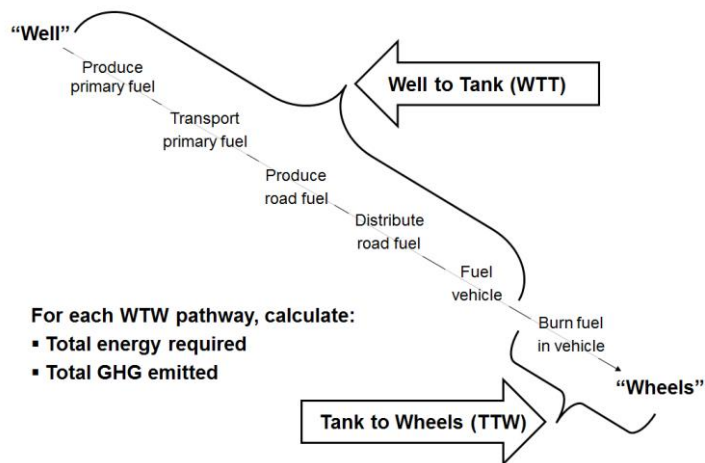


Figura 3.2 Representação gráfica de uma análise well-to-wheel (WTW) (42)

Infraestrutura: Está relacionado com a construção, manutenção e fim de vida da infraestrutura (por exemplo: estrada, linha de comboio, aeroporto, porto marítimo) necessária para a operação de veículos. Semelhante à componente do veículo, inclui extração de materiais, processamento, construção, operação, manutenção e tratamento de fim de vida.

Na Figura 3.3 pode observar-se os 3 pilares mencionados (que são os que os autores da ferramenta de ACV mais acharam importantes), como já justificado anteriormente, e daí serem os outputs por defeito. No entanto, sendo a ferramenta de livre acesso e edição, não é necessário que se usem apenas esses, ou da mesma configuração como a ferramenta está originalmente conceptualizada.

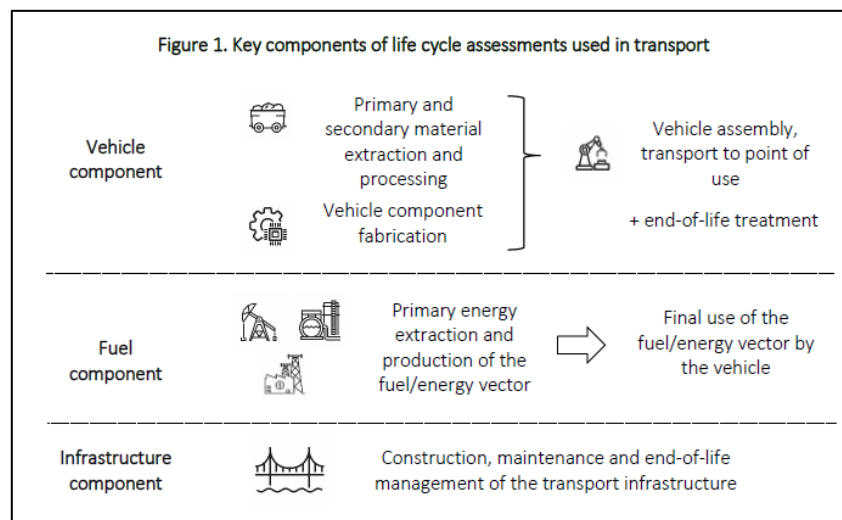


Figura 3.3 Pilares da ACV de acordo com o ITF – Good to Go? (15)

Os resultados da ACV deste modelo desenvolvido pela ITF são os seguintes: consumo de energia por km [MJ/km], consumo de energia por pkm [MJ/pkm], emissões de GEE por pkm [g CO_{2eq}/pkm], consumo de energia por vkm [MJ/vkm], emissões de GEE por vkm [g CO_{2eq}/vkm], consumo de energia por veículo [g CO_{2eq}/veículo]. Estes valores poderão ser utilizados como valor total resultante da ACV ou de cada pilar

da ACV em particular: produção, transporte, infraestrutura, eletricidade e serviços operacionais. Sendo o veículo em estudo apenas para um passageiro, alguns destes resultados serão redundantes de serem analisados duplicadamente por terem valores iguais, portanto, apenas serão tidos em conta: emissões de GEE por vkm, consumo de energia por vkm e emissões de GEE por veículo.

3.3 Definição de objetivos e âmbito de ACV

Na etapa de âmbito e objetivos são definidos os objetivos do estudo, nomeadamente as aplicações pretendidas, os motivos da realização do estudo e o público-alvo. As principais escolhas metodológicas são feitas nesta etapa, em particular a definição exata de unidade funcional, a identificação dos limites do sistema, a identificação de procedimentos de alocação, as categorias de impacto estudadas e o impacto do ciclo de vida, modelos de avaliação usados, a identificação dos requisitos de qualidade de dados. Nesta fase são também especificados e justificados todos os pressupostos.

O âmbito do trabalho formula-se em termos de cobertura geográfica, temporal, tecnológica e do nível de sofisticação do estudo. Sendo a ACV uma técnica iterativa, o âmbito do estudo pode ser modificado à medida que é recolhida a informação de base (20).

O âmbito da ACV deve ser bem definido para garantir que o detalhe e profundidade do estudo sejam compatíveis com os objetivos definidos. A norma ISO 14040 recomenda que no âmbito especifique as funções do sistema. Os sistemas analisados incluem várias tarefas, serviços ou funções, mas para efeitos da ACV apenas se devem considerar as definidas e identificadas no âmbito do estudo. Para além dos impactos dos materiais primários, as cargas ambientais associadas à produção, utilização, transporte e deposição dos materiais subsidiários utilizados devem também ser incluídas nos limites do sistema (20).

Para operacionalizar os procedimentos de inclusão ou exclusão de processos e fluxos de materiais e energia, as fronteiras do sistema devem integrar apenas os processos unitários relevantes para a determinação do impacto ambiental associado à unidade funcional pré-definida. Para o efeito, a definição das fronteiras do sistema podem ser consideradas, por exemplo: os processos relativos à aquisição de matérias-primas; entradas e saídas de matérias e energia; distribuição e transporte de produto; consumo (e produção) eletricidade; manutenção de produtos e equipamentos; reciclagem e/ou reutilização de materiais usados (subprodutos); entre outros (20).

O âmbito deste trabalho é um veículo de micromobilidade, um triciclo com motor elétrico e bateria de lítio, que é carregado recorrendo ao serviço de rede de energia nacional (REN). O veículo em estudo encontra-se representado na Figura 3.4, fotografia do 1º protótipo do mesmo, ainda em fase embrionária e com falta de alguns componentes. O veículo é produzido na cidade de Vila Nova de Gaia, em Portugal, terá uma distribuição do produto a nível nacional, através de camiões do local de produção às lojas de venda ao público. A sua utilização será considerando uma pessoa que usa o veículo diariamente no caminho para o trabalho ou escola, em média 8 km diários (por exemplo: ida e volta entre Ílhavo ou Esgueira para a Universidade de Aveiro) e um tempo de vida do veículo de 10 anos. Ao longo da sua esperança de vida é considerado que a bateria e o pneu são trocados uma vez. A unidade funcional é veículo-quilómetro (vkm).



Figura 3.4 Protótipo do veículo Ghisallo (fotografia da autoria de Prof. António Completo)

Esta avaliação de ciclo de vida é enquadrada numa metodologia *cradle-to-grave*, o que quer dizer do berço ao túmulo, em português, ou seja, vai desde a extração das matérias-primas ou utilização de material reciclado até ao fim de vida do produto e seus processos, tal como energia necessária e emissões resultantes de processos finais. O ciclo de vida do produto em estudo está esquematicamente representado na Figura 3.5, onde se podem analisar os principais pilares/categorias pelos quais esta ACV de produto se divide: produção, transporte, infraestrutura, eletricidade e, em casos de mobilidade partilhada, existe o pilar dos serviços operacionais. Estes pilares da ACV encontram-se identificados nas caixas cinzentas.

Em cada pilar da Figura 3.5 há vários dados de entrada para definir diferentes processos, meramente ilustrados, sendo cada processo sempre dependente de energia de entrada *e/ou* matérias e ocorrendo sempre em emissões de GEE como *output*.

A fronteira do sistema da ACV é definida pelas fronteiras de cada pilar, especificado nas caixas a azul, sendo as mais detalhadas e complexas - *cradle to grave*, nas categorias da produção e infraestrutura onde todos os detalhes desde extração das matérias-primas, processos produtivos, até à disposição final dos mesmos serão tidos em consideração; enquanto no transporte, sendo a fronteira “porta a porta”, esta tem uma complexidade menor, fazendo apenas a análise de quantificar as necessidades energéticas e resultados consequentes do processo de transporte entre local onde é produzido o veículo até ao local onde este é vendido. Na categoria Eletricidade, especificou-se os limites do sistema do ponto de vista das emissões, como já representado na Figura 3.2 a análise W-T-W irá ter um estudo mais aprofundado que a T-T-W, no entanto a ferramenta está dimensionado desta maneira e as respetivas considerações encontram-se de acordo com o GREET, e será este o enquadramento das fronteiras do sistema considerado. O pilar dos serviços operacionais apenas é considerado em casos de mobilidade partilhada, onde são necessários veículos de suporte para realocar veículos em locais estratégicos, recolha dos mesmos, etc. A análise dos veículos de suporte ao serviço é segundo a metodologia W-T-W.

O GREET consiste num modelo multidimensional que fornece uma abordagem abrangente, baseada no ciclo de vida, para comparar o uso de energia e as emissões de tecnologias convencionais e avançadas de veículos. Inclui dois submodelos chamados Modelo do Ciclo de Combustível (GREET 1, contém dados sobre os ciclos de combustível e operações do veículo) e Modelo do Ciclo do Veículo (GREET 2, avalia a energia e os efeitos de emissão associados à recuperação e produção de material para o veículo, produção de componentes do veículo, montagem de veículos e desassemblagem, reciclagem e fim de vida de veículos) (43).

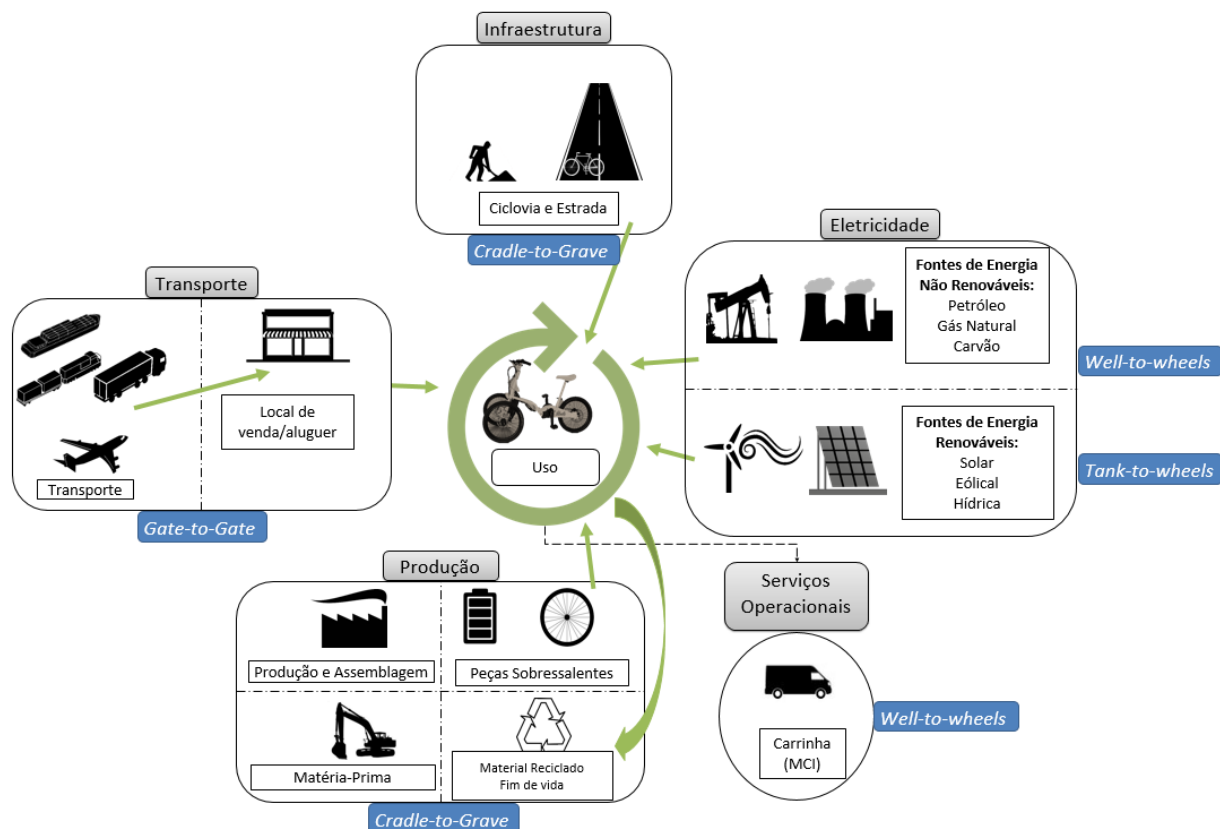


Figura 3.5 Avaliação de ciclo de vida do cenário base

3.4 Definição de Inventário de ciclo de vida

A etapa do Inventário de Ciclo de Vida (ICV) envolve a recolha de dados e o cálculo de quantificação das entradas e saídas do sistema em estudo. Entradas e as saídas dizem respeito à energia, matéria-prima e outros dados de entrada físicos, produtos e coprodutos e resíduos, emissões para o ar, água, solo e outros aspetos ambientais (20).

A recolha e validação da informação de base (medidas, calculadas ou estimadas) de cada processo unitário devem assegurar a quantificação dos parâmetros físicos mensuráveis (dados de entrada e de saída) que atravessam a fronteira do sistema tais como: matérias-primas, materiais, energia e emissões poluentes (sólidas, líquidas, gasosas). Esta quantificação resulta numa lista de dados indexada a uma determinada unidade funcional (20).

As principais etapas do ICV, como demonstradas também na Figura 3.6, são os seguintes: a preparação, recolha e validação da informação de base (energia e materiais; produtos, coprodutos e resíduos; emissões para o ar, água e solo; e outros aspetos ambientais de relevo); o relacionamento dos processos unitários com a unidade funcional, a alocação/afetação de processos (por exemplo, a reciclagem e reutilização); a agregação de dados (cálculo

do inventário ambiental) e, facultativamente, a redefinição da fronteira do sistema de acordo com as necessidades verificadas nas várias etapas (20).

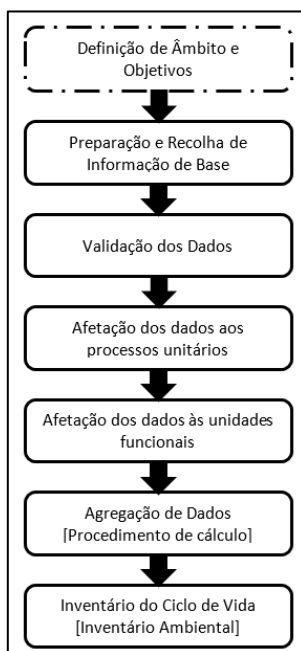


Figura 3.6 Principais etapas do Inventário de Ciclo de Vida (20)

A qualidade dos dados é uma prioridade. Deve verificar-se a sua consistência e adequação ao âmbito e objetivos da ACV; documentar-se todas as bases de dados, as suas fontes, a sua relevância geográfica e temporal; as técnicas de ponderação e as estatísticas associadas (20).

Finalizada a recolha dos dados e assegurada a sua validação deve realizar-se o balanço ou inventário ambiental (inventário do ciclo de vida) dos processos, produto e/ou unidade funcional predefinida, com recurso a metodologias de contabilidade ambiental. O inventário ambiental pode ser especificada ao nível do processo ou ao nível do produto (44).

Na quantificação do inventário ambiental deve elaborar-se o balanço ambiental no qual a sua carga ambiental resulte da soma das cargas ambientais associadas aos dados de entrada e de saída do processo (20).

A Figura 3.7 exemplifica o inventário ambiental (CO₂) de um produto S, que resulta do processamento de 0,3kg de materiais (massa) e 100kWh de energia. A emissão de 2 kg de CO₂ associada ao produto S resulta da soma do CO₂ emitido no processo (0,3kg CO₂/S) com o emitido na obtenção dos dados de entrada de massa (1,5 kg CO₂) e energia (0,2 kg CO₂) (20).

O balanço ou inventário ambiental resulta da soma das cargas ambientais, associada aos inputs e outputs gerados por um determinado sistema, processo ou produto (20).

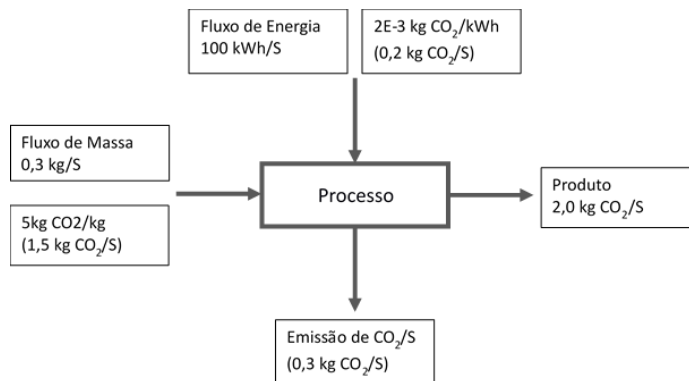


Figura 3.7 Exemplo de inventário de ciclo de vida de um produto (20)

O veículo ghisallo é um veículo que já foi objeto de estudo por colegas em anos anteriores, (14) por exemplo, portanto, no início do presente trabalho o veículo já estava dimensionado em modelo computacional 3D e maioria das peças definidas. Foram disponibilizados os desenhos técnicos, BOM (*bill of materials* - lista de peças) e o desenho do produto assembled em CAD (*computer-aided design*). Sendo que o *design freeze* do projecto em parceria com a empresa responsável ainda não está terminado, algumas peças foram consideradas pelo autor, no entanto, dentro do enquadramento definido.

Através da metodologia de cálculo do ITF- Good to go?, selecionou-se um veículo semelhante ao Ghisallo, uma e-bike e editaram-se os dados no modelo de modo a obter a ACV do cenário base. Para editar o modelo recorreu-se aos dados disponibilizados, mencionados anteriormente, algumas considerações feitas pelos autores do modelo de ACV da ITF, assim como as fontes dos mesmos.

Vários dados do inventário são provenientes do GREET - *Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy use in Transportation*, uma plataforma de base à avaliação do ciclo de vida com métodos / protocolos confiáveis e amplamente aceites. Consiste em dois módulos: 1) GREET1 avalia o uso de energia *well-to-wheel* (WTW) e as emissões dos sistemas de combustível/veículo, e 2) GREET2 avalia o uso de energia e as emissões do ciclo de fabricação do veículo. Realiza avaliação do ciclo de vida do uso de energia primária (por exemplo, petróleo, gás natural, carvão) e das emissões por categoria, como gases com efeito de estufa (CO₂, N₂O, CH₄) e poluentes atmosféricos (SO_x, NO_x, VOC, CO, PM10, PM2). A documentação da abordagem de modelagem e as fontes de dados estão disponíveis no sítio online GREET (43).

Ao longo do ICV são apresentados valores do GREET2 de modo a perceber melhor de onde vêm os valores apresentados no ITF – Good to Go, no entanto, há pequenas diferenças do modelo de 2018, usado pelos autores da ferramenta ACV para os valores do GREET2 de 2020, e portanto, às vezes há pequenos desvios entre o que é apresentado como fonte do GREET2 (2020) e os valores finais considerados (de acordo com o GREET2 2018, como os autores do ITF – Good to Go também consideraram).

Os dados do inventário seguidamente apresentados, estão divididos pelos pilares principais da avaliação de ciclo de vida do presente produto em estudo (Produção, Transporte, Infraestrutura, Eletricidade e Serviços operacionais):

- **Produção**

- a) Utilização do veículo: tempo de vida e distância diária estimado
 - Tempo de vida expectável
 - 10 [anos]
 - Distância diária média
 - 7 [km/dia]

- b) Nº médio de passageiros
 - 1 [unidade]
- c) “Fator utilização”/”Fator de vida” (coeficiente de vandalismo, roubo, acidente, dias de não uso do veículo, etc.)
 - 0,7

Nota: Considerando os dias de férias e fins de semana, que são cerca de 35% dos dias do ano, o veículo não é utilizado 7 km por dia, podendo ser até mais em alguns dias de lazer. No entanto, este fator também contabiliza dias de “não utilização”, tais como por roubo, acidente, baixa, etc. Portanto, este fator de utilização é um acerto que irá ser utilizado para a contabilização de quilometragem anual.

- Distância percorrida por ano
 - $7 \text{ [km/dia]} \times 365 \text{ [dias]} = 2\,555 \text{ [km/ano]}$
 - De acordo com as considerações dos autores do ITF – Good to Go, o valor é arredondado por excesso às centenas: 2 600 [km/ano]
- Distância total (ao longo do ciclo de vida)
 - $2\,600 \text{ [km]} \times 10 \text{ [anos]} \times 0,7 \text{ (fator de vida)} = 18\,200 \text{ [km/veículo]}$
- d) Substituição de pneu(s) durante o ciclo de vida
 - Valor arbitrado, considerando 1 mudança de cada pneu ao longo do ciclo de vida
 - 3 [unidades]
- e) Peso do motor elétrico
 - Motor Shimano E7000 (45)
 - 2,79 [kg]
- f) Percentagem de peso de cada categoria de material do motor elétrico
 - Com base no GREET2
 - Aço: 36%
 - Cobre: 28%
 - Alumínio fundido: 36%
- g) Peso do veículo e categorias de material
 - Baseado em informação disponibilizada sobre o veículo Ghisallo, apresentam-se na Tabela 3.1 a relação de massas e categorias de materiais

Tabela 3.1 Relação de massas e categorias de materiais do veículo

| Categorias de Material | Nº de peças | Peso por categoria [kg] | % Massa por categoria |
|-------------------------------|--------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Aço | 186 | 12,85 | 46,46% |
| Aço inoxidável | 1 | 0,43 | 1,45% |
| Alumínio extrudido | 28 | 4,61 | 15,46% |
| Alumínio fundido | 6 | 0,61 | 5,42% |
| Cobre/Latão | 13 | 0,97 | 5,85% |
| Plástico | 17 | 2,75 | 9,20% |
| Borracha | 12 | 4,01 | 13,44% |
| Outros | 10 | 0,81 | 2,72% |
| Total | 273 | 27,04 | 100% |

Nota 1: os componentes do motor não estão contabilizados na coluna “Peso por categoria”, no entanto, na coluna da % de peso por categoria, já são considerados, sendo as categorias aço, cobre e alumínio, como mencionado em f) (página30). A bateria não se encontra categorizada na Tabela 3.1

Nota 2: peso do veículo = 27,04+ P_{motor} = 29,8 [kg]; ao longo do inventário será este o peso do veículo (P_v) considerado.

Nota 3: na Tabela 3.1 estão considerados os materiais dos 3 pneus sobressalentes (3 pneus e 3 câmaras de ar). É desta maneira que a ferramenta do ITF está dimensionada, de modo a quantificar os processos de produção dos mesmos, futuramente do seu “peso” em transporte e a carga associada também à disposição final

Nota 4: a categoria “outros” é definida pelo modelo da ITF para peças que não pertençam às restantes categorias disponibilizadas. As peças do veículo com esta categoria são: punhos de cortiça; anilhas de nylon, o selim e a placa de circuitos elétricos.

Nota 5: Os materiais do cesto da frente são considerados de alumínio pois à data da realização do presente trabalho ainda não estava decidido se seriam de madeira, ou outro material.

No Anexo 1 (página 70) pode ser consultada a lista de peças do veículo com a informação da massa de cada componente do veículo e a respetiva categoria de material. Para o cálculo da massa das peças houve 2 métodos: através da informação de fornecedores, da massa de cada componente/peça ou através do cálculo da densidade, sabendo o volume da peça (do modelo CAD do veículo) e a densidade do material, obteve-se a massa de cada parte. Também houve peças em que se arbitrou o valor, tais como os cabos do motor, bateria e luzes, no entanto, sendo que são valores estimados <1% da massa total, de acordo com a metodologia da avaliação de ciclo de vida estes podem ser considerados como “não relevantes”.

- h) Material reciclado usado [% de cada categoria de material]
 - Com base no GREET2 (2018) (43), as percentagens de material reciclado usado em cada uma destas 3 categorias: aço, alumínio extrudido e alumínio fundido.
 - Materiais:
 - Aço: 26%
 - Alumínio extrudido: 11%
 - Alumínio fundido: 85%
- i) Substituição de bateria durante o ciclo de vida
 - Valor arbitrado, considerando 1 substituição de cada bateria ao longo do ciclo de vida
- j) Características da bateria
 - Baseado em informação disponibilizada sobre o veículo Ghisallo, apresenta-se em baixo a Tabela 3.2 com as principais características da bateria para o ICV

Tabela 3.2 Tabela de propriedades da bateria

| Características | |
|--------------------|----------------|
| Células | LG INR78650MH1 |
| Nº de células | 52 |
| Capacidade Nominal | 12 500 [mAh] |
| Tensão Nominal | 48 [V] |
| Peso | 3 [kg] |

- k) Tecnologia da bateria
 - NMC811 (46), baseado em informação disponibilizada sobre o veículo Ghisallo
 - Energia específica da bateria, de acordo com a tecnologia de bateria NMC811, com base no GREET2 (43)
 - 0,14922 [kW/kg]
- l) Energia para produção de cada material por quilograma de material
 - Com base no GREET2 (de 2018), os valores de energia necessária para cada quilograma de material são apresentados na Tabela 3.3.
 - Os valores do GREET2 são resultantes de cálculos específicos para cada material, pois são considerados processos específicos para cada um, desde a extração da

matéria prima a processos produtivos associados a cada material, seguem-se alguns exemplos:

- Para o aço, por exemplo, o valor resultante (31,3 kW/kg) é a média ponderada do resultado entre os 3 tipos de aço: Aços Laminados a Quente (21,1%); Aços Laminados a Frio (19,1%) e Aços Laminados Galvanizados (59,8%).
 - Para cada tipo de aço, têm valores diferentes de cada etapa do processo: produção de coque, produção de aço, laminação a quente, tempera, laminação a frio, galvanização, estampagem e acabamento do produto final.
- Para o alumínio, os processos são diferentes, sendo estes: Extração de bauxite (óxidos de alumínio), refinação da bauxite, produção de ânodo, produção de alumina, redução do lingote primário, fundição e maquinação final.
- Para o material cobre: Mineração de cobre, fundição, trefilagem e acabamento do produto final.
- No caso da borracha: produção de borracha de estireno butadieno, moldagem por compressão, moldagem por injeção (PVC), acabamento de produto de borracha moldada por compressão e acabamento do produto de borracha moldada por injeção

Tabela 3.3 Energia necessária para produção de cada material por quilograma

| Categorias de Material | Energia | Unidade |
|------------------------------|---------|---------|
| Aço | 31,3 | [MJ/kg] |
| Aço reciclado | 19,1 | |
| Aço inoxidável | 26,1 | |
| Alumínio extrudido | 121,0 | |
| Alumínio extrudido reciclado | 24,3 | |
| Alumínio fundido | 134,4 | |
| Alumínio fundido reciclado | 27,8 | |
| Cobre/Latão | 40,3 | |
| Plástico | 89,1 | |
| Borracha | 49,9 | |
| Outros | 140,0 | |

m) Energia para montagem do veículo

- Com base no cálculo do modelo GREET2 (43) para a energia necessária para montagem do veículo, considera a energia necessária para os seguintes processos, a dividir pelo peso de um veículo (1444 kg):
 - Pintura 4 248 [MJ]
 - AVAC e iluminação 2 095 [MJ]
 - Aquecimento 3 463 [MJ]
 - Montagem 433 [MJ]
 - Soldadura 577 [MJ]
 - Ar comprimido 865 [MJ]
- 8,22 [MJ/kg]

Nota 1: As unidades do valor são megajoules por quilograma, portanto, pode ser adaptado para o caso de estudo. No entanto, há etapas do processo que são do ramo automóvel, como a energia despendida em processos do “aquecimento” e “AVAC”, que para casos da micromobilidade não se enquadram. Será considerado na mesma desta maneira, de acordo com os autores do ITF – Good to Go. Desta maneira o resultado poderá ser superior ao real.

Nota 2: Há uma discrepância de valores entre o cálculo dos diferentes processos e valor final apresentado (8,22 MJ/kg) devido às diferenças entre o GREET2 2018 e 2020, como já mencionado. Considerou-se o valor final do GREET2 2018, por ser o mesmo considerado pelos autores do modelo do ITF.

n) Energia para desassemblagem/fim de vida do veículo

- Com base no GREET2 (43), este valor é calculado através do quociente da energia elétrica necessária para a desassemblagem/fim de vida de um veículo (aproximadamente 3166 MJ) pelo peso de um veículo (1444 kg)

➤ 2,27 [MJ/kg]

Nota: Há uma discrepância de valores entre o cálculo dos diferentes processos e valor final apresentado (2,27 MJ/kg) devido às diferenças entre o GREET2 2018 e 2020, como já mencionado. Considerou-se o valor final do GREET2 2018, por ser o mesmo considerado pelos autores do modelo do ITF.

o) Energia necessária para produção da bateria (NMC811)

- Com base no GREET2 (43)
 - Produção
 - 939,54 [MJ/kWh da capacidade da bateria]
 - Assemblagem
 - 216,20 [MJ/kWh da capacidade da bateria]
 - Fim de vida
 - 2,27 [MJ/kWh da capacidade da bateria]

p) Consumo de energia para produção, assemblagem e disposição final do veículo

- Produção do veículo (C_P)
 - Somatório do produto da energia de produção de cada categoria de material i (página 31), pela percentagem de material do veículo e (página 30)

$$C_P = \sum_i P_V \times F_{M_i} \times E_{M_i} \quad [3.1]$$

Onde P_V é o Peso do veículo em [kg], F_{M_i} é a fração de cada material (% em peso de cada categoria de material) e E_{M_i} é a energia de produção associada a cada categoria de material [MJ/kg]. O resultado de (C_P) é [MJ/veículo]

➤ **Valor: 1 608,96 [MJ/veículo]**

- Assemblagem do veículo (C_{AV})
 - Produto do peso do veículo com a energia de assemblagem do veículo, em m (página 32)

$$C_{AV} = P_V \times E_A \quad [3.2]$$

Onde E_A é a energia de assemblagem do veículo [MJ/kg]. O resultado de (C_{AV}) é [MJ/veículo]

➤ **Valor: 245,32 [MJ/veículo]**

- Consumo de energia para disposição final (fim de vida) do veículo (C_{FV})
 - Produto do peso do veículo com a energia de desassemblagem/fim de vida do veículo, em n (página 33)

[3.3]

$$C_{FV} = P_V \times E_{FV}$$

Onde E_{FV} é a energia de desassemblagem/fim de vida do veículo [MJ/kg]. O resultado de (C_{FV}) é [MJ/veículo]

➤ **Valor: 67,58 [MJ/veículo]**

q) Consumo de energia para produção, montagem e disposição final da bateria

▪ Produção (C_{PB})

➤ Produto da energia de produção da bateria o) (página 33) com a capacidade da bateria, em i) (página 31), pelo número de baterias usadas ao longo do ciclo de vida (uma originalmente com o veículo e outra substituída dentro do ciclo de vida do produto)

$$C_{PB} = E_B \times C_B \times B_i \quad [3.4]$$

Onde E_B é a energia necessária de produção da bateria em [MJ/kWh da capacidade da bateria], C_B é a capacidade da bateria [kWh] e B_i é o número de baterias, sendo i igual a 2 (a inicial e a de substituição).

➤ **Valor: 1 127,44 [MJ/veículo]**

▪ Montagem (C_{AB})

➤ Produto da energia de montagem da bateria o) (página 33) com a capacidade da bateria, em i) (página 31), pelo número de baterias usadas ao longo do ciclo de vida (uma originalmente com o veículo e outra substituída dentro do ciclo de vida do produto)

$$C_{AB} = E_A \times C_B \times B_i \quad [3.5]$$

Onde E_A é a energia necessária de montagem da bateria em [MJ/kWh da capacidade da bateria], C_B é a capacidade da bateria [kWh] e B_i é o número de baterias, sendo i igual a 2.

➤ **Valor: 259,46 [MJ/veículo]**

▪ Disposição final/fim de vida (C_{FVB})

➤ Produto da energia de disposição final/fim de vida da bateria o) (página 33) com a capacidade da bateria, em i) (página 31), pelo nº de baterias usadas ao longo do ciclo de vida (uma originalmente com o veículo e outra substituída dentro do ciclo de vida do produto)

$$C_{FVB} = E_{FV} \times C_B \times B_i \quad [3.6]$$

Onde E_{FV} é a energia necessária de desassemblagem/fim de vida da bateria em [MJ/kWh da capacidade da bateria], C_B é a capacidade da bateria [kWh] e B_i é o número de baterias, sendo i igual a 2.

➤ **Valor: 18,22 [MJ/veículo]**

r) Consumo de energia para produção, montagem e disposição final (fim de vida) do veículo e bateria

- Somatório de valores de p) (página 33) e q) (página 34)
 - **Valor: 3 326,98 [MJ/veículo]**
- s) Emissão de GEE de cada material durante a produção por quilograma de material
 - Com base no GREET2 (2018) (43), os valores de emissões são calculados por material e considerando diferentes processos associados em cada material, desde a extração da matéria prima, aos processos de transformação até à fase de montagem no veículo, como mencionado em l) na página 31. Estes valores são apresentados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 Emissão de GEE por categoria de material

| Categorias de Material | Emissões de GEE | Unidade |
|-------------------------------|------------------------|----------------------------|
| Aço | 2 844 | [g CO ₂ eq /kg] |
| Aço reciclado | 1 287 | |
| Aço inoxidável | 1 772 | |
| Alumínio extrudido | 7 361 | |
| Alumínio extrudido reciclado | 1 525 | |
| Alumínio fundido | 8 174 | |
| Alumínio fundido reciclado | 1 742 | |
| Cobre/Latão | 2 797 | |
| Plástico | 4 064 | |
| Borracha | 3 575 | |
| Outros | 9 000 | |

Nota : A categoria “Outros” não consta no GREET2, é um valor considerado pelos autores da ferramenta ITF – Good to Go para materiais não mencionados no GREET, como a cortiça, por exemplo. Desta forma, dado o valor arbitrado pelos autores, o resultado terá um maior impacto que o real, estando assim a ACV sobredimensionado.

- t) Emissão de GEE para a montagem e disposição final (fim de vida) do veículo
 - Com base no GREET2 (43)
 - Montagem
 - 538,63 [g CO₂ eq/kg]
 - Desmontagem/fim de vida
 - 153,35 [g CO₂ eq/kg]
- u) Dados de emissão de GEE para a montagem e disposição final (fim de vida) da(s) bateria(s)
 - Com base no GREET2 (43)
 - Produção
 - 60 101,28 [g CO₂ eq/kWh da capacidade da bateria]
 - Montagem
 - 13 854,30 [g CO₂ eq/kWh da capacidade da bateria]
 - Desmontagem/fim de vida
 - 1 027,69 [g CO₂ eq/kWh da capacidade da bateria]

- v) Emissão de GEE da produção do veículo, montagem e disposição final
- Produção (GEE_P)
 - Somatório do produto das emissões de GEE associadas à produção de cada categoria de material s) (página 35), pela percentagem de material do veículo

$$GEE_P = \sum_i P_V \times F_{Mi} \times GEE_{Mi} \quad [3.7]$$

Onde F_M é a fração de cada material (% em peso de cada categoria de material) e GEE_M é a emissão de GEE associado a cada categoria de material [g CO₂ eq/kg].

- **Valor: 107 504,62 [g CO₂ eq /veículo]**

- Montagem (GEE_A)
 - Produto de P_V com emissão de GEE da montagem do veículo, de t) (página 35).

$$GEE_A = P_V \times EG_A \quad [3.8]$$

Onde EG_A é a emissão de GEE associado à montagem do veículo [g CO₂ eq/kg].

- **Valor: 16 066,25 [g CO₂ eq /veículo]**

- Disposição final (GEE_{FV})
 - Produto de P_V com emissão de GEE da desmontagem/fim de vida do veículo, de t) (página 35).

$$GEE_{FV} = P_V \times EG_{FV} \quad [3.9]$$

Onde EG_{FV} é a emissão de GEE associado à desmontagem/fim de vida do veículo [g CO₂ eq/kg].

- **Valor: 4 574,19 [g CO₂ eq /veículo]**

- w) Emissão de GEE da produção, montagem e disposição final da bateria

- Produção (GEE_{PB})
 - Produto da emissão de GEE de produção da bateria v) com a capacidade da bateria, em i) (página 31), pelo nº de baterias usadas ao longo ciclo de vida (uma originalmente com o veículo e outra substituída dentro do ciclo de vida do produto)

$$GEE_{PB} = EG_B \times C_B \times B_i \quad [3.10]$$

Onde EG_B é emissão de GEE de produção da bateria [g CO₂ eq/kWh da capacidade da bateria].

- **Valor: 72 121,54 [g CO₂ eq /veículo]**

- Montagem (GEE_{AB})

- Produto da emissão de GEE de montagem da bateria u (página 35) com a capacidade da bateria, em i (página 31), pelo nº de baterias usadas ao longo ciclo de vida (uma originalmente com o veículo e outra substituída dentro do ciclo de vida do produto)

$$GEE_{AB} = EG_A \times C_B \times B_i \quad [3.11]$$

Onde EG_A é emissão de GEE de montagem da bateria [g CO₂ eq/kWh] da capacidade da bateria].

- **Valor: 16 625,17 [g CO₂ eq /veículo]**

- Disposição final/fim de vida (GEE_{FVB})

- Produto da emissão de GEE de desmontagem/fim de vida da bateria u (página 35) com a capacidade da bateria, em i (página 31), pelo nº de baterias usadas ao longo ciclo de vida (uma originalmente com o veículo e outra de substituição)

$$GEE_{FVB} = EG_{FV} \times C_B \times B_i \quad [3.12]$$

Onde EG_{FV} é emissão de GEE de desmontagem/fim de vida da bateria [g CO₂ eq/kWh da capacidade da bateria].

- **Valor: 1 233,23 [g CO₂ eq /veículo]**

x) Consumo de energia de fluidos

- Este fator está associado a manutenção do veículo, tais como óleos e lubrificantes
 - Valor proveniente do GREET2, mas adaptado do valor de um carro para o peso do veículo em estudo
 - Consumo de energia de fluidos num veículo de tipologia EV (elétrico)
 - **Valor: 0,0608 [MJ/veículo]**

y) Emissão de GEE de fluidos

- Somatório de v (página 36) com w (página 36) e valor associado às emissões de GEE de fluidos
 - De acordo com o GREET2
 - Emissões de GEE de fluidos num veículo de tipologia EV (elétrico)
 - **Valor: 4 610 [g CO₂ eq/veículo]**

- **Transporte**

a) Distância média de entrega por veículo

- Tipo de veículo: Veículo pesado de mercadorias de média dimensão (motor diesel)
 - Distância média de entrega (D_E)
 - Considerando que a distribuição de venda do veículo será para grande parte do país, considerando por exemplo 10 cidades: Viseu, Vila Real, Setúbal, Braga, Aveiro, Faro, Coimbra, Leiria, Guarda e Lisboa.
 - A D_E média é de: 205 [km]

b) Peso de embalagem

- Valor arbitrado, ao considerar que será embalada em cartão e eventualmente com alguns pedaços de madeira que possam servir de apoios.
 - Embalagem: 10 [kg]
- c) Tkm para distribuição [Tkm/entrega de veículo]
 - Cálculo de toneladas-quilômetros por veículo entregue, multiplicando o peso do veículo com embalagem pela distância de entrega

$$Tkm_{entrega} = (P_V + P_{embalagem}) \times 10^{-3} \times D_E \quad [3.13]$$

- Valor: 8,50 [tkm/veículo entregue]
- d) Intensidade energética do veículo de distribuição
 - Com base em considerações do ITF – Good to Go?, é considerado que o veículo de distribuição selecionado necessita da seguinte energia por veículo entregue
 - Veículo pesado de mercadorias de média dimensão (motor diesel): 9,6 [MJ/vkm]
- e) Carga média do veículo de distribuição
 - Com base em *Assumptions informed by IEA Mobility Model* (considerações do ITF – Good to Go), é considerado o seguinte valor
 - Veículo pesado de mercadorias de média dimensão (motor diesel): 7,6 [tkm/vkm]
- f) Intensidade energética do veículo de distribuição por distância
 - Quociente entre d) (página 38) e e) (página 38), de modo a saber o consumo de energia por tonelada-quilômetro
 - Valor: 1,3 [MJ/tkm]
- g) Consumo de energia do veículo de distribuição
 - Produto entre c) (página 38) e f) (página 38), obtêm-se o valor de energia necessária por veículo
 - **Valor: 10,3 [MJ/veículo]**
- h) Dados de emissão de CO₂ associado à fonte de energia do veículo de distribuição
 - Com base em considerações do ITF – Good to Go
 - Veículo pesado de mercadorias de média dimensão (motor diesel): 89,1 [g CO₂ eq/MJ]
- i) Emissões de CO₂ do veículo de distribuição
 - Produto entre g) (página 38) e h) (página 38)
 - **Valor: 915,5 [g CO₂ eq/veículo]**

- **Infraestrutura**

- a) Tipo de utilização (percentagem de uso de cada tipo de piso ao longo do ciclo de vida)
 - Percentagens definidas pelo autor para o cenário base
 - Infraestrutura 1 (Ciclovía): 0%
 - Infraestrutura 2 (Estrada): 100%
- b) Tempo de vida da infraestrutura
 - Com base em considerações dos autores do ITF – Good to Go, também mencionado no documento (15) Anexo A - Detalhes metodológicos que

sustentam os resultados da análise, documento dos autores de suporte à ferramenta

- Infraestrutura 1: 30 [anos]
 - Infraestrutura 2: 30 [anos]
- c) Constituição dos tipos de infraestrutura
- Com base em considerações do ITF – Good to Go, baseadas nas seguintes referências (47–49), apresentam-se na
 - Tabela 3.5 as tipologias de infraestrutura

Tabela 3.5 Constituição das Infraestruturas

| Material | Infraestrutura 1 (Ciclovia) [t/km de via] | Infraestrutura 2 (Estrada) [t/km de via] |
|----------|--|---|
| Asfalto | 0,12 | 1,00 |
| Cimento | 22,50 | 212,50 |
| Aço | 0,00 | 0,10 |

- d) Uso anual da infraestrutura
- Com base em considerações do ITF – Good to Go, baseadas nas seguintes referências (50,51)
 - Infraestrutura 1: 460 [vkm/ano/km de via]
 - Infraestrutura 2: 1 111 [vkm/ano/km de via]
- e) Uso absoluto das infraestruturas no seu ciclo de vida
- Através do produto entre b) (página 38) e d) (página 39) de cada infraestrutura 1 e 2, respetivamente.
 - Infraestrutura 1: 13,8 [M vkm/km de via]
 - Infraestrutura 2: 33,3 [M vkm/km de via]
- f) Material das infraestruturas reciclado
- Com base em considerações do ITF – Good to Go, baseado no GREET2 2018
 - Aço: 26%
- g) Energia para produção de cada material das infraestruturas:
- Com base no GREET2 e (52)
 - Asfalto: 0,2 [MJ/kg]
 - Cimento: 5,1 [MJ/kg]
 - Aço: 24,2 [MJ/kg]
- h) Consumo de energia para a produção dos materiais da infraestrutura
- Produção Infraestrutura 1 (C_{PI1})
 - Somatório do produto da energia de produção de cada material da constituição da infraestrutura [MJ/kg], e) (página 39), com o material da constituição da infraestrutura [t/km de via], em \square (página 39):

$$C_{PI1} = \sum_i M_{Ii} \times E_{Mi} \quad [3.14]$$

Onde M_i é a quantidade de cada material da infraestrutura por quilómetro de via e E_M é a energia de produção associada a cada material constituinte da infraestrutura.

➤ **Valor: 113 882 [MJ/km via]**

▪ **Produção Infraestrutura 2 (C_{PI2})**

➤ Somatório do produto da energia de produção de cada material da constituição da infraestrutura [MJ/kg], e) (página 39), com o material da constituição da infraestrutura [t/km de via], em Σ (página 39):

$$C_{PI2} = \sum_i M_{i1} \times E_{Mi} \quad [3.15]$$

Onde M_i é a quantidade de cada material da infraestrutura por quilómetro de via e E_M é a energia de produção associada a cada material constituinte da infraestrutura.

➤ **Valor: 1 077 803 [MJ/km via]**

i) **Fator de correção - % de energia imputável à produção dos materiais**

▪ Com base em considerações do ITF – Good to Go, este valor é 1,00 para veículos mais pequenos como trotinetes e bicicletas e vai diminuindo até 0,20 para veículos maiores, como automóveis. De acordo com os autores este coeficiente é para dar “maior relevância da manutenção das vias para veículos mais pesados”.

➤ Infraestrutura 1: 0,99

➤ Infraestrutura 2: 0,99

j) **Intensidade energética associada a cada infraestrutura**

▪ Quociente entre valor de h) (página 39) e i) (página 40), das respetivas infraestruturas

➤ **Infraestrutura 1: 115 091,64 [MJ/km via]**

➤ **Infraestrutura 2: 1 088 966,73 [MJ/km via]**

k) **Intensidade energética, do ponto de vista do veículo**

▪ Quociente entre e) (página 39) j) (página 40), das respetivas infraestruturas

➤ **Infraestrutura 1: 0,008 [MJ/vkm]**

➤ **Infraestrutura 2: 0,033 [MJ/vkm]**

l) **Emissões de GEE associado à produção de cada material**

▪ Com base no GREET2 e (52)

➤ Asfalto: 47,3 [g CO₂ eq/kg]

➤ Cimento: 1 731,9 [g CO₂ eq/kg]

➤ Aço: 2 302,1 [g CO₂ eq/kg]

➤ Aço reciclado: 1 287,3 [g CO₂ eq/kg]

m) **Emissões de GEE devido à produção das infraestruturas**

▪ Emissão de GEE da produção da Infraestrutura 1 (GEE_{PI1})

➤ Somatório do produto das emissões de GEE de cada material da constituição da infraestrutura [g CO₂ eq//kg], l) (página 40), com o material da constituição da infraestrutura [t/km de via], em Σ (página 39):

[3.16]

$$GEE_{P11} = \sum_i M_{Ii} \times EG_{Mi}$$

Onde M_{Ii} é a quantidade de cada material da infraestrutura por quilômetro de via e EG_M é a emissão de GEE associado a cada material constituinte da infraestrutura.

➤ **Valor: 38 973 [kg CO₂ /km via]**

- Emissão de GEE da produção da Infraestrutura 2 (GEE_{P12})
 - Somatório do produto das emissões de GEE de cada material da constituição da infraestrutura [g CO₂ eq//kg], l) (página 40), com o material da constituição da infraestrutura [t/km de via], em Σ (página 39):

[3.17]

$$GEE_{P12} = \sum_i M_{Ii} \times EG_{Mi}$$

Onde M_{Ii} é a quantidade de cada material da infraestrutura por quilômetro de via e EG_M é a emissão de GEE associado a cada material constituinte da infraestrutura.

➤ **Valor: 368 272 [kg CO₂ /km via]**

- n) Fator de correção - % de GEE imputável à produção dos materiais
 - Com base em considerações do ITF – Good to Go, este valor é 1,00 para veículos mais pequenos como trotinetes e bicicletas e vai diminuindo até 0,20 para veículos maiores, como automóveis. De acordo com os autores este coeficiente é para dar “maior relevância da manutenção das vias para veículos mais pesados”.
 - Infraestrutura 1: 0,99
 - Infraestrutura 2: 0,99
- o) Intensidade de emissão de GEE associada a cada infraestrutura
 - Quociente entre valor de m) e n), das respectivas infraestruturas
 - **Infraestrutura 1: 39 376,32 [kg CO₂ /km via]**
 - **Infraestrutura 2: 372 086,63 [kg CO₂ /km via]**

- p) Emissão de GEE, ponto de vista do veículo
 - Emissões GEE associadas ao uso do veículo na Infraestrutura 1 (GEE_{I1}):

$$GEE_{I1} = \frac{I_{GEE} \times 10^3}{U_I \times 10^6} \quad [3.18]$$

Onde I_{GEE} é a intensidade de emissão de GEE associado à infraestrutura 1, em o) página 41) e U_I é o uso absoluto da infraestrutura, mencionado em e) (página 39).

➤ **Valor: 3 [g CO₂ /vkm]**

- Emissões GEE associadas ao uso do veículo na Infraestrutura 2 (GEE_{I2}):

$$GEE_{I2} = \frac{I_{GEE} \times 10^3}{U_I \times 10^6} \quad [3.19]$$

Onde I_{GEE} é a intensidade de emissão de GEE associado à infraestrutura 2, em o) página 41) e U_I é o uso absoluto da infraestrutura, mencionado em e) (página 39).

➤ **Valor: 11 [g CO₂ /vkm]**

- **Eletricidade**

- a) Fonte de energia:
 - Elétrica: 100%
- b) Fonte de abastecimento de energia
 - Na Tabela 3.6 encontram-se as fontes de energia de acordo com a REN, no ano 2020 (53)

Tabela 3.6 Fontes de energia de eletricidade da REN, dados de 2020 (53)

| Fonte de energia | | Energia Produzida | Unidade | % Energia Total |
|---------------------|---------|-------------------|---------|-----------------|
| Petróleo | | 4 624 | GWh | 9,6 |
| Gás Natural | | 11 012 | | 22,9 |
| Carvão | | 2 127 | | 4,4 |
| Biocombustíveis | | 3 286 | | 6,8 |
| Energias Renováveis | | 27 116 | | 56,3 |
| | Hídrica | 13 794 | | 28,7 |
| | Solar | 1 269 | | 2,6 |
| | Eólica | 12 053 | | 25,0 |

- c) Intensidade energética da produção de energia
 - Com base no GREET1, valores apresentados na Tabela 3.7

Tabela 3.7 Intensidade energética de produção de energia

| Fonte de energia | | Intensidade energética | Unidade |
|---------------------|---------|------------------------|---------|
| Petróleo | | 3,5 | MJ/MJ |
| Gás Natural | | 2,3 | |
| Carvão | | 3,0 | |
| Biocombustíveis | | 4,9 | |
| Energias Renováveis | | - | |
| | Hídrica | 1,1 | |
| | Solar | 1,1 | |
| | Eólica | 1,1 | |

- Cálculo da intensidade energética da produção de eletricidade, Well-to-tank (C_{WTT})
 - Somatório do produto da energia produzida, em b) (página 42), pela intensidade energética das respectivas fontes de energia, c) (página 42):

$$C_{WTT} = \sum_i F_{Ei} \times IE_{Ei} \quad [3.20]$$

Onde F_E é a fração de energia produzida em [%], IE_E é intensidade energética de cada categoria de energia [MJ/MJ]. O resultado de (C_{WTT}) é [MJ/MJ]

➤ **Valor: 0,913 [MJ/MJ]**

- d) Emissões de GEE da produção de eletricidade
- Com base no GREET1, valores apresentados na Tabela 3.8

Tabela 3.8 Emissões de GEE associados à produção de eletricidade

| Fonte de energia | | Emissões de GEE | Unidade |
|---------------------|---------|-----------------|--------------------------|
| Petróleo | | 886,6 | g CO ₂ eq/kWh |
| Gás Natural | | 425,9 | |
| Carvão | | 1000,8 | |
| Biocombustíveis | | 32,2 | |
| Energias Renováveis | | 0,0 | |
| | Hídrica | 0,0 | |
| | Solar | 0,0 | |
| | Eólica | 0,0 | |

Nota: De acordo com a fonte GREET1, a produção de energia proveniente de energias renováveis não têm impacto ambiental associado. No artigo (34) é mencionado que as emissões de GEE decorrentes da produção de eletricidade por via de painéis fotovoltaicos são de 80,6 [g CO₂ eq/kWh], esta informação por sua vez foi retirada do *GaBi Software System*.

- Cálculo das emissões de GEE da produção de eletricidade Well-to-tank (GEE_{WTT})
 - Somatório do produto da energia produzida, em b) (página 42), pelas emissões de GEE da respectiva categoria, em d) (página 43):

$$GEE_{WTT} = \sum_i F_{Ei} \times EG_{Ei} \quad [3.21]$$

Onde F_E é a fração de energia produzida em [%], EG_E é emissão de GEE de cada categoria de energia [g CO₂ eq/kWh]. O resultado de (GEE_{WTT}) é [g CO₂ eq/kWh]

- **Valor: 266,49 [g CO₂ eq/kWh]**
- Convertendo de [g CO₂ eq/kWh] para [g CO₂ eq/MJ], é dividir o resultado por 3,6 (sendo 1[kWh] igual a 3,6 [MJ])
 - **Valor: 74,0 [MJ/km]**

- e) Consumo de eletricidade por quilómetro
- Com base em considerações do ITF – Good to Go
 - Consumo de eletricidade: 0,021 [kWh/km]
 - Sendo 1[kWh] igual a 3,6 [MJ]
 - Consumo de eletricidade por quilómetro, Tank-to-wheel (C_{TTW})
 - Produto do consumo de eletricidade pela conversão anterior

$$C_{TTW} = C_E \times 3,6$$

[3.22]

Onde C_E é o consumo de eletricidade por quilómetro [kWh/km] e 3,6 é a conversão de kWh para MJ.

➤ **Valor: 0,08 [MJ/km]**

- f) Consumo de energia do uso do veículo ao longo do ciclo de vida
- Consumo de energia Well-to-wheel (C_{WTW})
 - Produto da distância total percorrida por ciclo de vida [km], pela produção de eletricidade WTT [MJ/MJ] e pelo consumo de eletricidade por quilómetro [MJ/km]

$$C_{WTW} = D_{CV} \times (1 + C_{WTT}) \times C_{TTW} \quad [3.23]$$

Onde D_{CV} é a distância total do ciclo de vida C_{WTT} e C_{TTW} são os consumos já referidos em c) (página 42) e e) (página 43), respetivamente

➤ **Valor: 2 632,95 [MJ/veículo]**

- g) Emissões de GEE do uso do veículo ao longo do ciclo de vida
- Emissões de GEE Well-to-wheel (GEE_{WTW})
 - Produto da distância total percorrida por ciclo de vida [km], pelas emissões associadas à produção de eletricidade [g CO₂ eq/MJ] e o consumo de eletricidade por quilómetro [MJ/km]

$$GEE_{WTW} = D_{CV} \times GEE_{WTT} \times C_{TTW} \quad [3.24]$$

➤ **Valor: 101 854,73 [g CO₂ eq/veículo]**

• Serviços operacionais

A categoria de serviços operacionais é apenas necessária para casos de serviços de mobilidade partilhada, onde há veículos de apoio aos veículos usados pelos utilizadores. Estes veículos podem servir para recolher e realocar em sítios estratégicos, recolher veículos com avarias ou para carregamento da bateria, etc. Neste caso, sendo que o cenário base é de um veículo privado, não há veículo de serviços operacionais (S.O.), no entanto, serão estes os dados a ter em conta:

- a) Veículo necessário para S.O.
- Nenhum

3.5 Cenários Alternativos

Os cenários alternativos ao cenário base têm o objetivo de avaliar melhor os impactes de diferentes variáveis na avaliação de ciclo de vida do produto. Pretende-se alterar os materiais do veículo, a fim de verificar se é possível otimizar do ponto de vista ambiental. Este primeiro cenário terá apenas alterações no pilar da produção.

O segundo cenário alternativo pretende verificar o impacto do transporte de avião na ACV, ou seja, deve dar um resultado global com maior impacto global, mas pretende-se quantificar quanto, de maneira a ter uma noção mais clara da sua significância. Esta alteração será apenas no pilar do Transporte.

A terceira alteração será apenas no campo da Infraestrutura, tendo como objetivo realizar a avaliação de ciclo de vida de um veículo que se desloca maioritariamente em ciclovias.

O quarto cenário alternativo tem como objetivo verificar a diferença de ACV em relação ao cenário base, considerando as fontes de energia primárias de fornecimento de eletricidade sendo apenas de fontes renováveis. Este quarto cenário também só terá alterações no ICV num dos pilares, da Eletricidade.

O cenário alternativo 5 pretende modelar uma ACV de um veículo que pertence a um sistema de mobilidade partilhada, tendo portanto alterações de ICV em todos os pilares, inclusive no de Serviços Operacionais que não tinha sido editado no cenário base.

O cenário 6 tem como objetivo criar uma ACV otimizada do cenário base, sendo a agregação dos cenários que tiveram impactos ambientais menores em relação ao cenário base, sendo estes com alterações nos pilares: Produção, Infraestrutura e Eletricidade.

Em resumo, a Tabela 3.9 esquematiza quais os cenários testados e os pilares da ACV alterados em cada cenário, assinalados com a “X” e sombreados a verde:

Tabela 3.9 Tabela resumo dos cenários alternativos

| Cenários | Produção | Transporte | Infraestrutura | Eletricidade | Serviços Operacionais |
|---|----------|------------|----------------|--------------|-----------------------|
| Base | | | | | |
| Alternativa 1 (Produção Material) | X | | | | |
| Alternativo 2 (Transporte Madeira) | | X | | | |
| Alternativo 3 (Infraestrutura Ciclovias) | | | X | | |
| Alternativo 4 (Eletricidade Energias Renováveis) | | | | X | |
| Alternativo 5 (Mobilidade partilhada) | X | X | X | X | X |
| Alternativo 6 (Conjugação 1,3 e 4) | X | | X | X | |

3.5.1 Cenário Alternativo 1: Alteração de materiais

De acordo com alguns artigos mencionados no capítulo 2 (23,25,34,36), o pilar da produção na avaliação de ciclo de vida de um produto de micromobilidade tem uma grande relevância no resultado final, sendo em grande parte devido aos materiais que o constituem. A alteração de componentes com maior taxa de emissão de GEE por quilograma é uma recomendação de alguns dos artigos mencionados, trocando por exemplo componentes como o alumínio ou a borracha por outros, como o aço. Este cenário serve para testar no presente caso de estudo uma alteração semelhante.

Da análise da Tabela 3.4 Emissão de GEE por categoria de material, temos as 5 categorias com maiores taxas de emissão de GEE: “outros”, “alumínio fundido”, “alumínio extrudido”, “plástico” e “borracha”; sendo que a categoria “outros” tem um valor de 9000, de acordo com considerações dos autores do ITF – Good to Go, esta categoria não será tida em consideração para esta análise.

Considerando as restantes categorias, para substituição das peças das categorias de “plástico” e “borracha”, há poucas alternativas, não querendo o autor substituir indiscriminadamente algumas peças sem fundamento crítico.

Há poucas alternativas para os pneus, câmaras de ar, luzes, para lamas, etc; sem comprometer questões técnicas ou estéticas. Esta fundamentação não é 100% de acordo com a metodologia de avaliação de ciclo de vida, pois esta considera que se deve apenas olhar ao compromisso de sustentabilidade ambiental.

Serão alteradas 18 peças de alumínio: as 4 de alumínio fundido e 16 peças de alumínio extrudido. Os materiais das peças alteradas serão para aço inoxidável ou aço, dependendo dos casos, tentando tornar a situação o mais realista possível.

Do ponto de vista de avaliação de ciclo de vida, esta alteração não tem necessidade de ter em conta a longevidade do produto, cálculos estruturais, impacto no custo final devido às alterações de materiais e possíveis processos de produção consequentes, etc; a ACV apenas tem em conta apenas os impactos ambientais.

A alteração será apenas no campo da produção:

- **Produção**

- a) Percentagem de peso do veículo associado a cada categoria de material [% de peso total] apresentado na Tabela 3.10
 - Materiais:

Tabela 3.10 Distribuição do peso do veículo pelas categorias de materiais

| Categorias de Material | Nº de peças (cenário base) | Nº de peças (cenário 1) | Peso por categoria [kg] | % Peso por categoria |
|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Aço | 186 | 192 | 16,92 | 53,01 |
| Aço inoxidável | 1 | 17 | 3,92 | 11,60 |
| Alumínio extrudido | 28 | 12 | 1,65 | 4,88 |
| Alumínio fundido | 6 | 0 | 0,00 | 0,00 |
| Cobre/Latão | 13 | 13 | 0,97 | 5,17 |
| Plástico | 17 | 17 | 2,75 | 8,12 |
| Borracha | 12 | 12 | 4,01 | 11,86 |
| Outros | 10 | 10 | 0,81 | 2,40 |
| Total | 273 | | 31,01 | 100 |

Nota 1: Devido às alterações, o P_v subiu de 29,8 kg para 33,8 kg

Nota 2: À semelhança do cenário base, este também considera os pneus e câmaras-de-ar sobressalentes

Inventário de ciclo de vida do cenário alternativo 1 considera os dados de entrada acima citados e restantes dados são de acordo como cenário base, mencionados em 3.4 Definição de Inventário de ciclo de vida.

3.5.2 Cenário Alternativo 2: Transporte para a Madeira

O cenário 2 procura quantificar a diferença de ciclo de vida do produto caso este seja transportado do local de produção até ao local de venda por meios de avião e camião.

Mantendo a mesma rota de distribuição do veículo a nível de Portugal continental e acrescentando o Funchal como novo local de venda. Não é uma longa distância, mas pretende-se que seja o suficiente para verificar o impacto que tem uma ACV comparativamente à ACV do cenário base, com foco na categoria de transporte, que será a única afetada por estas alterações.

Alguns dos casos da revisão bibliográfica têm grandes distâncias de entrega (Transporte) dos veículos pois estes são maioritariamente produzidos na Ásia (maioritariamente na China), no entanto, para criar um cenário

apenas alterando a componente do Transporte, pretende-se manter todos os outros pilares da ACV (tais como produção, infraestrutura, eletricidade) com as mesmas variáveis do cenário base. Alterando por exemplo o local de Transporte para a Itália, as fontes de energia para produção de eletricidade já são completamente diferentes, sendo portanto um cenário já com diversas variáveis em causa.

Serão considerados 245 quilómetros de camião (motor de combustão): 20 km de distância entre local de produção (V. N. de Gaia) e aeroporto do Porto e 20 km entre aeroporto do Funchal e o centro da cidade do Funchal, além dos 205 em média em Portugal continental; e de avião será contabilizado 1200km:

- **Transporte**

- a) Tipo de veículo de distribuição

- Camião médio (motor de combustão)
 - Distância média por veículo
 - De cenário base: 205 [km]
 - Cenário 2 (deslocações entre aeroportos): 40 [km]
 - DECENÁRIO2: 245 [km]
- Avião (combustão)
 - Distância média por veículo
 - 1200 [km]

Inventário de ciclo de vida do cenário alternativo 2 considera os dados de entrada acima citados e restantes dados são de acordo como cenário base, mencionados em 3.4 Definição de Inventário de ciclo de vida.

3.5.3 Cenário Alternativo 3: Utilização de ciclovias

O terceiro cenário tem o objetivo de fazer o estudo de ACV considerando uma utilização do veículo maioritariamente em ciclovias em detrimento de estradas, no entanto, é quase impossível dado o enquadramento das configurações das cidades em Portugal, onde andar numa bicicleta apenas em ciclovias é quase impossível, daí ser considerado 10% de utilização em estrada.

Este cenário tem o principal objetivo verificar o impacto da infraestrutura no ciclo de vida do produto. Sendo que tipologias de construção dos pisos são diferentes, assim como os respetivos processos produtivos, as emissões com GEE associadas às necessidades dos materiais de cada tipologia também variam, é expectável ter resultados diferentes do cenário base variando a percentagem de utilização das infraestruturas 1 e 2.

As alterações no modelo de forma a testar o cenário 1 são:

- **Infraestrutura**

- a) Tipo de utilização (% de uso de cada tipo de piso ao longo do ciclo de vida)
 - Ciclovias: 90%
 - Estrada: 10%

Inventário de ciclo de vida do cenário alternativo 3 considera os dados de entrada acima citados e restantes dados são de acordo como cenário base, mencionados em 3.4 Definição de Inventário de ciclo de vida.

3.5.4 Cenário Alternativo 4: Carregamento da bateria através de energias renováveis

O cenário 4 considera a fonte de energia primária para carregamento da bateria 100% de fonte de energia renovável, semelhante a usar apenas um sistema de energia solar, hídrico ou eólico para carregamento das baterias. Uma sugestão semelhante já tinha sido mencionada no artigo (7), onde uma empresa de Taiwan já substituiu as baterias dos veículos, sendo estas carregadas numa unidade de energia solar.

Este cenário também surge da diferença que há entre as duas fontes de energia primárias, consideradas pelos autores do ITF e que se encontram de acordo com o GREET1, sendo as fontes de energia não renováveis de uma perspectiva de emissões W-T-W e uma análise T-T-W das fontes de energia renováveis, o que faz com que os

resultados sejam muito mais promissores, do ponto de vista de sustentabilidade ambiental, considerando apenas energias renováveis.

Este cenário vai influenciar os valores da categoria de eletricidade ao longo de todo o ciclo de vida do produto.

A alteração ao cenário base é a seguinte:

- **Eletricidade**

- a) Fonte de abastecimento de energia

- 100% Renováveis: hídrica, solar e eólica

Inventário de ciclo de vida do cenário alternativo 4 considera os dados de entrada acima citados e restantes dados são de acordo como cenário base, mencionados em 3.4 Definição de Inventário de ciclo de vida.

3.5.5 Cenário Alternativo 5: Veículo como mobilidade partilhada

À semelhança do cenário alternativo 1, este caso de estudo também foi genericamente referenciado na revisão do estado da arte. A temática agora em estudo é a análise do produto enquanto veículo de micromobilidade partilhada. Como mencionado em (15,25), a ACV de um veículo partilhado tem muito mais impactes ambientais que o mesmo em uso particular. Este cenário tem, portanto, o objetivo de realizar uma simulação de um sistema de triciclos elétricos (ghisallo) como serviço partilhado.

Para modelar o cenário alternativo 5 é necessário alterar variáveis de entrada, sendo que algumas ainda não tinham sido consideradas no cenário base, tais como as de Serviços Operacionais.

Dados do modelo para o cenário alternativo 5:

- **Produção**

- a) Distância percorrida por viagem

- Definido pelo autor, com base em (FONTES) os veículos de micromobilidade têm maior quilometragem
 - 3,5 [km]

- b) Nº de viagens diárias por veículo

- Definido pelo autor
 - 2 [unidades]

- c) Distância diária (D_D)

- Produto de a) (página 48) com b) (página 48)
 - 7 [km/dia]

- d) “Fator de utilização”/“Fator de vida” (coeficiente de vandalismo, roubo, acidente, dias de não uso do veículo, etc.)

- Definido pelo autor, à semelhança do “Fator de utilização” definido em 3.4 (c); desta vez é mais baixo, devido à maior ocorrência de vandalismo, de menor utilização, entre outros aspetos.
 - 0,45

- e) Tempo de vida do veículo (T_V)

- Considerando, como já referido no subcapítulo 3.5, que o cenário base do veículo particular faz 18 200 km ao longo do ciclo de vida (K_{CV})
 - O veículo partilhado faz em média 8 km por dia, como mencionado em c) (página 48)
 - O F_V é 0,45 como mencionado em d), no item anterior

$$T_V = \frac{K_{CV}}{\frac{D_D}{365}} \times F_V \quad [3.25]$$

Sendo 365 o número de dias por ano.

➤ **Valor: 2,8 [anos]**

- f) Distância calculada pelo veículo ao longo do ciclo de vida (D_{CV})

$$D_{CV} = D_D \times 365 \times T_V \quad [3.26]$$

Sendo 365 o número de dias por ano.

➤ **Valor: 8 134 [km/veículo]**

- g) Substituição de pneus durante o ciclo de vida
- Definido pelo autor, é considerado 2 mudança de cada pneu ao longo do ciclo de vida
 - 6 [unidades]
- h) Substituição de bateria durante o ciclo de vida
- Definido pelo autor, é considerado 1 substituição ao longo do ciclo de vida
 - Também de acordo com base em considerações do ITF – Good to Go
 - 1 [unidade]

• **Serviços operacionais**

- a) Veículo necessário para S.O.
- Van – MCI (carrinha de motor de combustão)
- b) Distância média percorrida pelo veículo de S.O. por veículo por dia
- Com base em considerações do autor e no ITF – Good to Go
 - 10 [km veículo de S.O./dia/veículo]
- c) Número médio de veículos para cada veículo de S.O.
- Com base em considerações do autor e no ITF – Good to Go
 - 5 [veículos/veículos de S.O.]
- d) Rácio de vkm de veículos de S.O. por veículo (R)
- Com base em considerações do autor e no ITF – Good to Go
 - 0,25 [vkm de veículo de S.O./vkm do veículo]
- e) Consumo de energia do veículo de S.O.
- Van – MCI
 - De acordo com o GREET1
 - 2,963688 [MJ/km do veículo de S.O.]
- f) Tipo de combustível do veículo de S.O.
- Van – MCI
 - Gasolina
- g) Intensidade energética de produção de combustível
- Gasolina
 - De acordo com o GREET1
 - 0,194154758 [Δ MJ/MJ]
- h) Consumo de energia do veículo de S.O. (CE_{So})
- Van – MCI (gasolina)
 - De acordo com o GREET1
 - 3,539102127 [MJ/km do veículo de S.O.]

- i) Emissões de GEE da produção de combustível para o veículo de S.O.
 - Van – MCI (gasolina)
 - De acordo com o GREET1
 - 82,75492475 [g CO2 eq/MJ]
- j) Emissões de GEE do veículo de S.O. (EG_{SO})
 - De acordo com o GREET1
 - 245,2597774 [g CO2 eq/km do veículo de S.O.]
- k) Consumo de energia por veículo de S.O. (C_{SO}) por veículo

$$C_{SO} = D_{CV} \times R \times CE_{SO} \quad [3.27]$$

Onde D_{CV} é a distância percorrida ao longo do ciclo de vida do veículo em estudo, R é o rácio referido em d) (página 49) e CE_{SO} é o consumo de energia associado ao veículo de S.O.

➤ **Valor: 7 196,67 [MJ/veículo]**

- l) Emissões de GEE do veículo de S.O. por veículo (GEE_{SO})

$$GEE_{SO} = D_{CV} \times R \times EG_{SO} \quad [3.28]$$

Onde D_{CV} é a distância percorrida ao longo do ciclo de vida do veículo em estudo, R é o rácio referido em d) (página 49) e EG_{SO} é o valor associado às emissões de GEE do veículo de S.O.

➤ **Valor: 498 729,88 [g CO₂ eq/veículo]**

3.5.6 Cenário alternativo 6: Conjugação dos cenários alternativos 1, 3 e 4

Sendo que o processo de execução da tese foi iterativa, e já sabendo dos resultados que se obteve com os cenários 1, 3 e 4, decidiu-se também criar um cenário alternativo que agregue as características dos três cenários com melhores desempenho, de maneira a criar um cenário mais sustentável ambientalmente.

O cenário 6 agrega as seguintes variáveis: um veículo que se desloca maioritariamente em ciclovias, que realiza o carregamento da bateria através de energias renováveis e que contém poucas peças de alumínio na constituição do veículo.

Capítulo 4

Resultados

4.1 Avaliação de Impacte Ambiental da Análise de Ciclo de Vida

A Avaliação de Impacte Ambiental de Ciclo de Vida (AIACV) dá a magnitude e significado aos resultados de um produto/processo através da transformação das intervenções ambientais (materializadas no ICV) em efeitos ambientais (categorias de impacte). Na AIACV, os impactes são definidos como as consequências dos fluxos de entrada e de saída de um sistema na saúde humana, plantas e animais, ou a disponibilidade futura dos recursos naturais (22).

A normalização dos resultados consiste no cálculo da sua magnitude relativa a uma informação de referência, que pode ser útil, por exemplo, para verificar inconsistências e comunicar a informação numa significância relativa do resultado dos indicadores. Alguns exemplos de valores de referência são (ISO 14044:2006) as emissões totais ou utilização de recursos para uma dada área, a qual pode ser local, regional ou global. As emissões totais ou utilização de recursos para uma área numa base *per capita* ou medição similar e um cenário base de um sistema.

4.2 Resultados cenário base

O resultado de emissões de gases com efeitos de estufa por quilómetro do veículo, obtido com o cenário base, é apresentado na Figura 4.1 por pilar da ACV e representado em [g CO₂ eq/vkm]. Na Figura 4.1 pode verificar-se a distribuição do valor total de 29,03 [g CO₂/vkm] dividido pelas diferentes categorias, sendo este valor dividido entre: Produção (42,11%), seguido da Infraestrutura (38,44%), a categoria da eletricidade em terceiro lugar (19,28%) e por último e com um valor residual em relação aos restantes, o Transporte (0,17%). Em relação aos serviços operacionais, como já mencionado anteriormente, dado que o cenário base não tem requisitos desta categoria, esta tem resultado nulo.

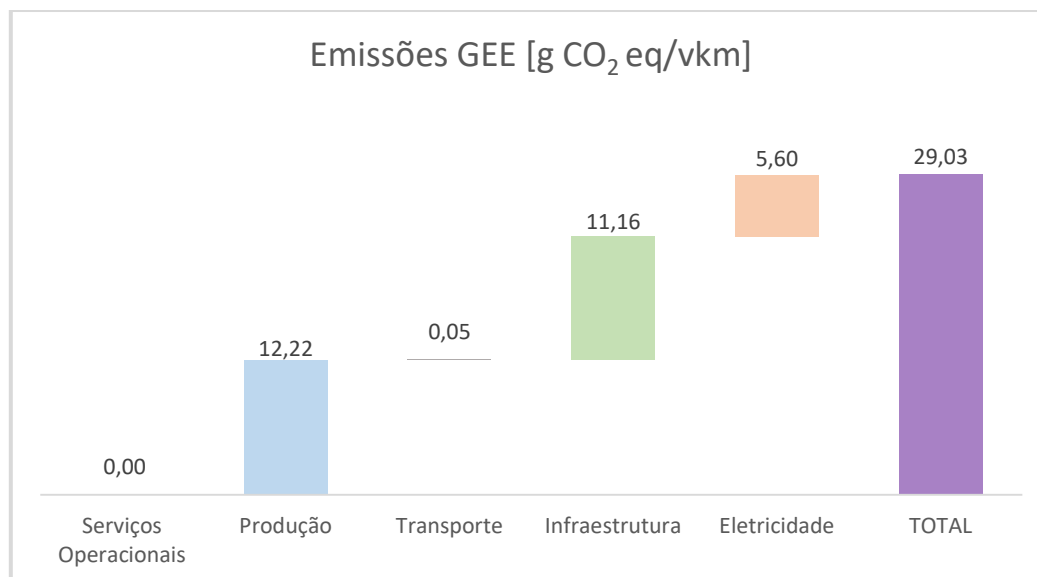


Figura 4.1 Emissões de GEE por vkm [g CO₂/vkm] do cenário base

Na Figura 4.2 é novamente apresentado o resultado das emissões de GEE do cenário base, mas com foco em cada pilar da ACV, dando detalhe às subcategorias de maneira a perceber quais as variáveis com maior influência em cada pilar.

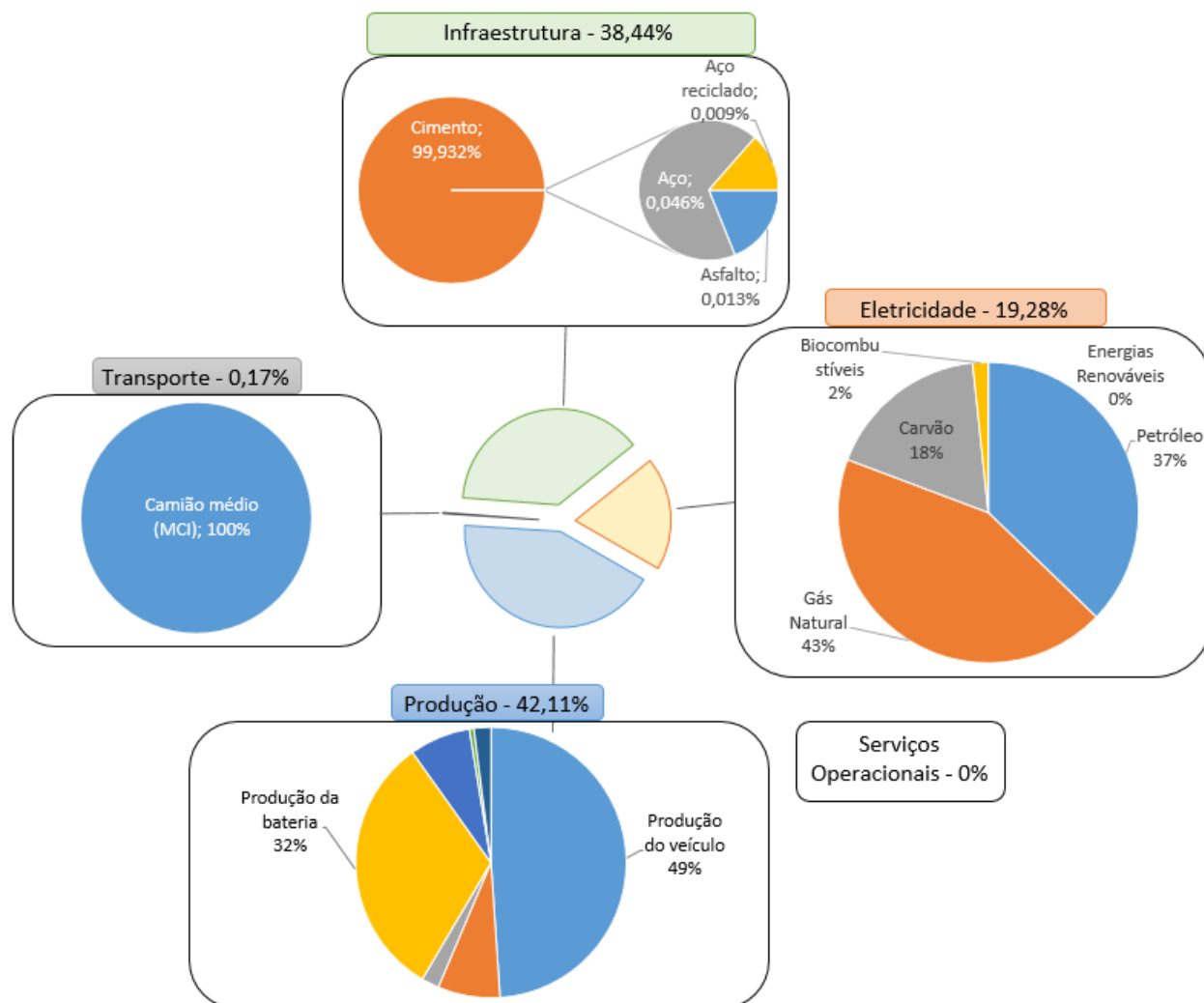


Figura 4.2 Emissões de GEE por vkm da ACV do cenário base, por pilar e subcategorias

No gráfico circular dentro da categoria “Produção”, evidenciam-se a categoria de produção do veículo com 49% (associado às emissões de GEE de cada matéria-prima) e a produção da bateria com 32%. As outras 2 parcelas que também têm uma representação notória (a cor de laranja e a azul escuro) e com representação quase idêntica, são a assemblagem do veículo e assemblagem da bateria, ambas com 7%.

A categoria do “Transporte” é inteiramente resultado do veículo pesado de mercadorias com motor diesel que é usado para fazer o transporte dos veículos do local de produção aos seus locais de venda.

O pilar da “Infraestrutura” é influenciado pela tipologia de construção da via, e conseqüentemente, as emissões de GEE são quase na totalidade da responsabilidade do cimento (99,9%). Este resultado também já era previsível dada a tipologia da via, na

Tabela 3.5 (página 39), e as emissões de CO₂ associada a cada material da via, em i) da categoria da Infraestrutura no capítulo 3.

No âmbito da “Eletricidade”, a fonte de energia mais responsável pelas emissões de GEE é o gás natural, seguido do petróleo e carvão, respetivamente. O resultado das emissões de GEE por parte das fontes de energia renovável também era expectável ser zero, de acordo com a Tabela 3.8 (página 43).

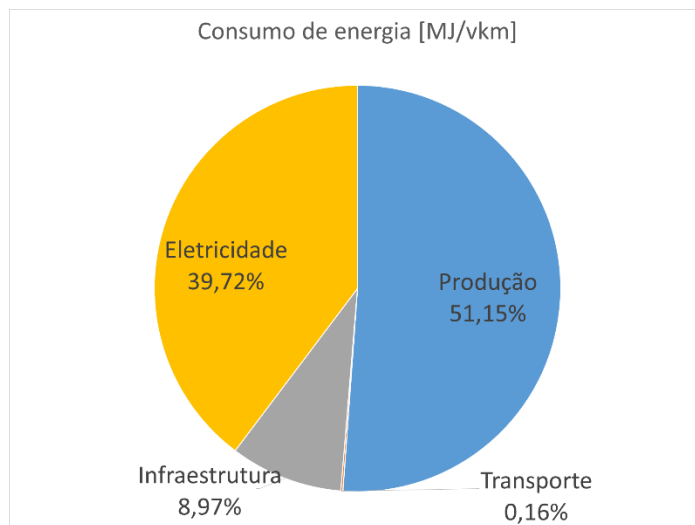


Figura 4.3 Consumo de energia por veículo-quilómetro [MJ/vkm]

Na Figura 4.3 está representada a distribuição do consumo de energia pelos pilares da ACV por veículo-quilómetro, sendo o valor total de 0,36 MJ/vkm. À semelhança das emissões de GEE, a categoria com maior representação e tem maior consumo de energia por vkm é a da “Produção”, no entanto, em segundo lugar encontra-se a “Eletricidade”. O pilar da “Infraestrutura” encontra-se com cerca de 9% do consumo de energia por vkm e o transporte é quase residual, tendo apenas 0,16%.

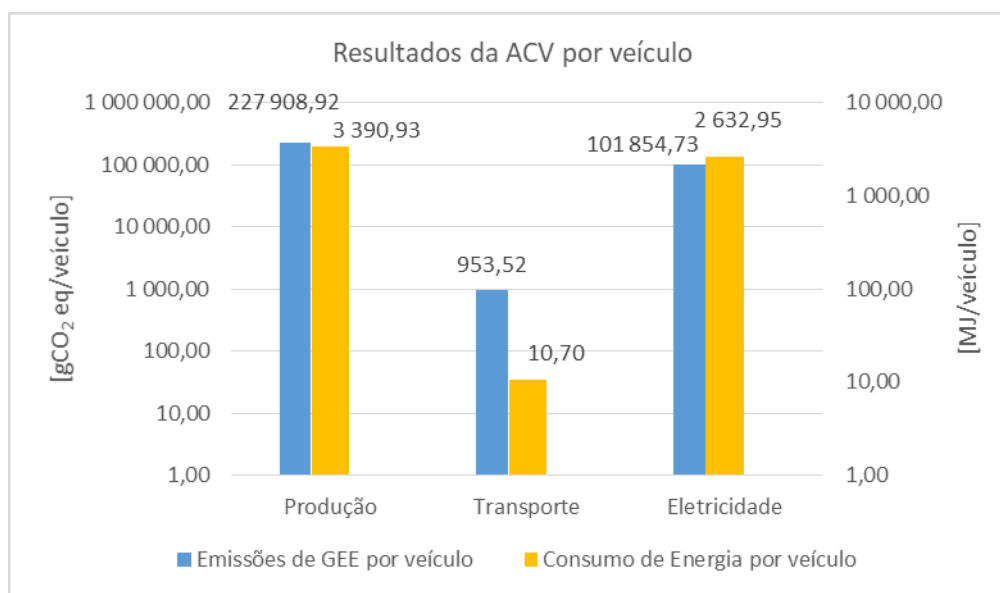


Figura 4.4 Resultados de emissões de GEE e consumo de energia por veículo, ao longo do ciclo de vida

Os resultados ao longo do ciclo de vida encontram-se apresentados na Figura 4.4, os valores das colunas azuis pertencem aos resultados das emissões de GEE e os valores das colunas amarelas do consumo de energia. Estes valores são os totais por veículo ao longo do ciclo de vida (até à disposição final do veículo). Neste resultado não se encontra a categoria da “Infraestrutura” pois considera-se que esta análise é apenas do ponto de vista do veículo, de acordo com a ferramenta ITF – Good to Go.

Os valores da Figura 4.4 devem ser analisados tendo em conta as respetivas escalas, ou seja, os resultados das emissões de GEE pertencem ao eixo do lado esquerdo, enquanto os resultados do consumo de energia pertencem ao eixo do lado direito; estando ambos dimensionados a uma escala logarítmica para se analisar com maior clareza todos os resultados no mesmo gráfico.

Tendo em conta os resultados do cenário base, enunciam-se de seguida quais os indicadores dos resultados que despertaram interesse em modelar os cenários alternativos e analisar quais os resultados resultantes.

Como se pode ver, nas Figura 4.1 e Figura 4.2, o pilar da “Produção” é o responsável por cerca de 43% de emissões de GEE por quilómetro, sendo a subcategoria da “produção do veículo” a que mais contribui também para o impacte resultante. Tendo em conta estes indicadores, analisou-se quais os materiais que são responsáveis por mais emissões de GEE, dentro da subcategoria da “produção do veículo, e pode observar-se na Figura 4.5 que os materiais que contribuem mais para esse resultado são o aço, alumínio extrudido, a borracha e o plástico.

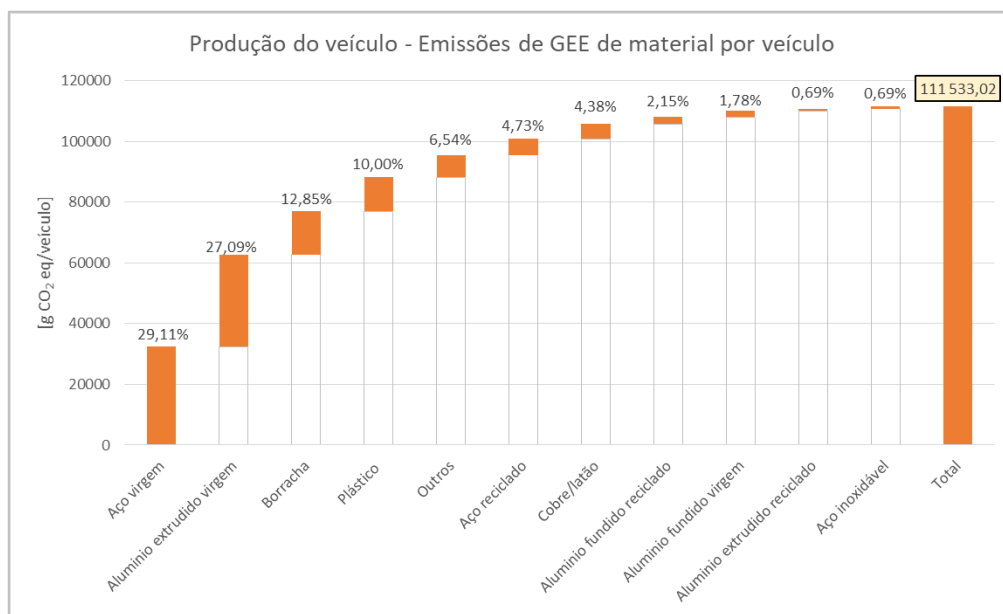


Figura 4.5 Emissões de GEE de material por veículo

4.3 Resultados dos cenários alternativos

Do ponto de vista da metodologia de avaliação de ciclo de vida, pensou-se em substituir alguns dos materiais por outros com menor intensidade carbónica por quilograma de material. Seriam boas opções substituir algumas peças de borracha e plástico, no entanto, como mencionado no capítulo 3, estas não serão consideradas.

Temos portanto o aço e o alumínio extrudido como materiais que serão reavaliados para ser modelado um cenário alternativo 1, cujo âmbito será a alteração de materiais com o objetivo de verificar qual o resultado final na ACV do veículo.

Outro indicador que desperta a atenção e desperta o interesse em modelar um cenário alternativo de modo a verificar diferentes resultados, é o do Transporte, neste caso pretende-se mudar pois o significado do valor deste pilar na ACV total, tanto das emissões de GEE como no consumo de energia, são muito residuais. O cenário alternativo 2 considera um avião de combustão além do camião, de modo a poder tirar conclusões do quão diferente será um ACV com esta alteração, presumivelmente com maior impacto.

O terceiro cenário alternativo que desperta atenção em modelar, com base nos resultados do cenário base, é a utilização de ciclovias em detrimento das estradas, de modo a ver o comportamento da infraestrutura consoante diferentes tipologias. Como já informado anteriormente, dado que a tipologia de uma ciclovia requer muito menos materiais que uma estrada, e que é plausível que um veículo como o Ghisallo circule mais em ciclovias do que em estrada, será modelado o cenário alternativo 3.

No âmbito do pilar da Eletricidade, um cenário alternativo de modo a verificar a alteração do resultado global da ACV admitindo que apenas se utiliza eletricidade com recurso a fontes de energia renováveis. Este cenário 4, tal como explicado no capítulo 3, também é bastante plausível e é presumível que a micromobilidade caminhe neste sentido, tal como também verificado no capítulo 1.

O cenário 5 não tem concretamente a ver com algum resultado do cenário base mas sim com o resultado geral, ou seja, pretende-se elaborar um cenário considerando uma mobilidade partilhada de maneira a verificar o quão diferente será em relação ao cenário base, de uso particular. De acordo com o estado de arte, é previsível que tenha maiores impactos ambientais e maior consumo de energia, no entanto, esse tal valor “maior”, pretende-se que seja mensurável, de acordo com a avaliação de ciclo de vida.

Tendo como foco a sustentabilidade ambiental do produto, pretende-se modelar com o cenário alternativo 6 que seja um cenário que conjuga os cenários alternativos 1, 3 e 4. Cada cenário foi testado independentemente, no entanto, conjugados terão um resultado muito mais atrativo do ponto de vista ambiental.

O resultado de emissões de GEE por vkm dos cenários alternativos encontra-se graficamente apresentado na Figura 4.6, à exceção do cenário alternativo 5 por se considerar fora do âmbito de comparação entre os outros, sendo estes de uso particular e portanto não têm a componente de serviços operacionais, o que tornaria os resultados menos comparáveis, que será comparado com o cenário base Figura 4.7, na página 57.

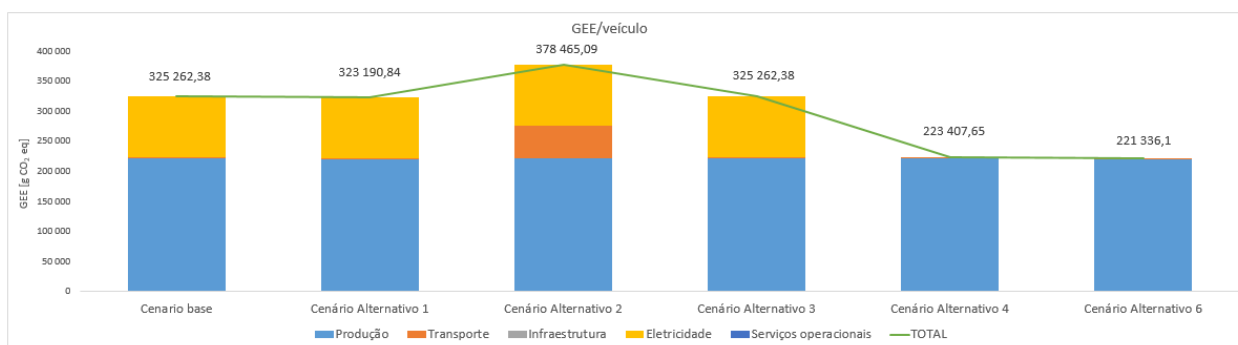


Figura 4.6 Resultado de emissões de GEE/veículo do cenário base e cenários alternativos (excluindo o cenário 5)

Começando a análise da Figura 4.6 pela categoria da “Produção”, todos os cenários alternativos mantêm este pilar com a maior representação, incluindo o cenário 1, onde se pretendia reduzir bastante esse valor. A redução da ACV do cenário 1 em relação ao cenário base é cerca de 1 % de diferença.

Em relação ao “Transporte”, o cenário alternativo 2 apresenta o segmento da respetiva categoria um pouco maior, notando-se claramente a presença do laranja no gráfico, resultando que a ACV do cenário 2 também resulte num valor maior. O resultado de emissões de GEE por vkm do cenário alternativo 2 é de 31,96 e o do cenário base de 29,03 [g CO₂ eq/vkm], um acréscimo de cerca de 10%.

O cenário alternativo 3 tem um resultado global de emissões de GEE por vkm menor que o cenário base, nesta situação é devido à alteração da “Infraestrutura” e resultou num decréscimo de quase 26%.

No cenário 4, no qual a produção de eletricidade é proveniente de fontes de energias renováveis também resultou num valor global da ACV 20% abaixo do cenário base, também em relação às emissões GEE/vkm; neste caso o pilar da eletricidade nem aparece mesmo representado porque é zero.

A conjugação dos cenários 1, 3 e 4, ou seja, o cenário alternativo 6 foi o que teve o resultado de ACV em relação às emissões de GEE/vkm mais sustentável ambientalmente, com um valor de 15,85 [g CO₂ eq/vkm], uma redução de 45% em relação ao cenário base.

Em relação à categoria da Produção, como já referido, o desvio desta categoria em relação à mesma no cenário base é de apenas 1%, no entanto, dada a redução de peso do veículo, com as alterações efetuadas para diferentes materiais e consequentemente com densidades específicas também diferentes, o veículo ficou mais leve, o que resulta uma diferença de cerca de 10% no sector do Transporte. Em suma, o resultado global das emissões de GEE por vkm do cenário 1 em relação ao cenário base é de apenas 0,3% inferiores.

Em relação ao cenário 2, este apresenta no pilar do “Transporte” um valor 61 vezes maior que o do cenário base (0,05 g CO₂ eq/vkm para 3,10), o que resultou num valor global da ACV em relação às emissões por vkm, um valor 10% maior em relação ao cenário base.

Quanto ao cenário 3, que visa avaliar o impacte da alteração da tipologia da infraestrutura na ACV do produto, há uma redução de cerca de 70% da categoria da infraestrutura, resultando um valor total de emissões de GEE por vkm do cenário 3 em 25% inferior ao cenário base.

Em relação ao cenário 4, este tem as categorias todas iguais ao cenário base e a categoria da “Eletricidade”, que representa 19,28 % no cenário base, passa a zero; sendo então o valor global da ACV 29,03 agora 23,44 [g CO₂ eq/vkm].

O resultado do cenário 6 é a resultante quase exata da melhoria obtida em cada cenário individualmente, no 1, 3 e 4, como se pode ver na Tabela 4.1 em baixo; assim como todos os outros cenários (de uso particular do veículo).

Tabela 4.1 Valores de emissões de GEE e consumo de energia por vkm e por veículo dos diferentes cenários

| | Emissões de GEE [g CO ₂ eq/vkm] | | Emissões de GEE [kg CO ₂ eq/veículo] | | Consumo de Energia [MJ/vkm] | | Consumo de Energia [MJ/veículo] | |
|--------------|--|------------|---|------------|-----------------------------|------------|---------------------------------|------------|
| | Valor | % Variação | Valor | % Variação | Valor | % Variação | Valor | % Variação |
| Cenário base | 29,03 | - | 325,3 | - | 0,36 | - | 5 970,3 | - |
| Cenário 1 | 28,93 | -0,3% | 323,2 | -0,6% | 0,35 | -1,6% | 5 864,7 | -1,8% |
| Cenário 2 | 31,96 | +10,7% | 378,5 | +16,4% | 0,39 | +9,4% | 6 588,8 | +10,4% |
| Cenário 3 | 21,56 | -25,8% | 325,3 | 0,00% | 0,34 | -6,1% | 5 970,3 | 0,00% |
| Cenário 4 | 23,44 | -19,3% | 223,4 | -31,3% | 0,30 | -18,1% | 4 784,1 | -19,9% |
| Cenário 6 | 15,85 | -45,4% | 221,3 | -32,0% | 0,27 | -25,7% | 4 678,6 | -21,6% |

O consumo de energia, um dos resultados da ferramenta da avaliação de ciclo de vida, também pode ser uma variável de análise em relação ao veículo, esta acompanha sempre a mesma tendência das emissões de GEE.

Em relação ao resultado do cenário alternativo considerando o veículo como mobilidade partilhada, as emissões de GEE por veículo-quilómetro são as que se apresentam na Figura 4.7, em baixo, onde se compara então o cenário base à esquerda e o cenário alternativo 5 à direita

Como se pode ver na figura, em baixo, o cenário 5 tem um valor cerca de 4 vezes maior em relação ao cenário base, em emissões de GEE por vkm, sendo maioritariamente causado pela categoria dos serviços

operacionais, com 58 %. A categoria “Produção”, em valor absoluto de [g CO₂ eq/vkm], é consideravelmente maior no cenário 5 em relação ao cenário base, assim como a categoria do transporte mas ainda com pouca representação no valor total. O valor da produção também é maior devido ao maior nº de componentes de substituição, tais como os pneus, câmaras e bateria.

As categorias de Infraestrutura e Eletricidade mantêm-se iguais, numa base de comparação de emissões de GEE por vkm.

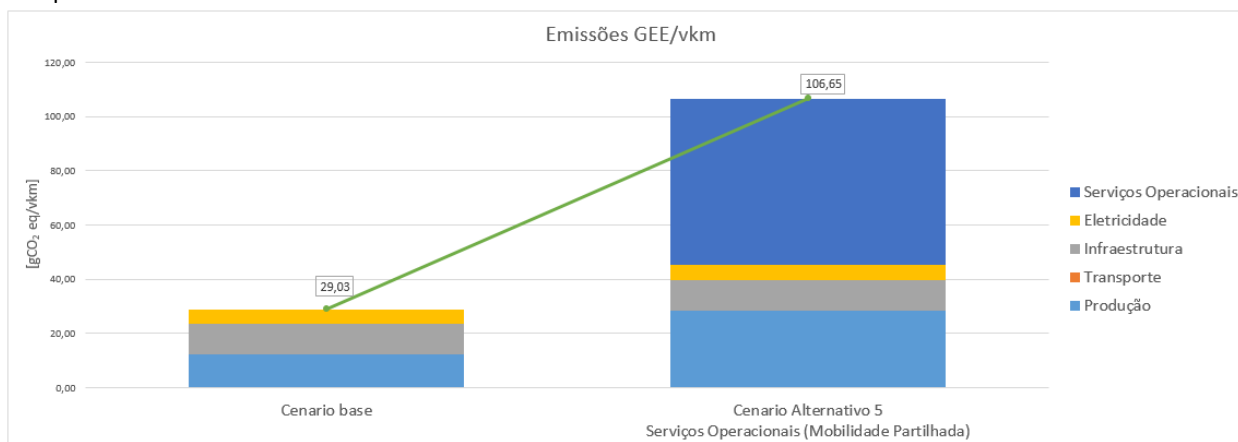


Figura 4.7 Resultado de emissões de GEE por vkm do cenário alternativo 5

4.4 Interpretação de resultados

Parte-se para a interpretação dos resultados a analisar o resultado do cenário base ainda na fase de inventário de ciclo de vida, onde se obteve um peso do veículo de 25,03 kg, sem bateria nem motor. O valor que aparece na Tabela 3.1 (página 30), de 27,04 kg, considera os pneus sobresselentes por exemplo, e para os cálculos da ferramenta ITF – Good to Go é esse o peso que deve ser considerado. Também é mencionado o peso do veículo que são os 27,04 kg mais o peso do motor, que resulta em 29,8 [kg], mas sem a bateria, pois esta não entra para os cálculos desta forma.

A massa do veículo com bateria e motor é de cerca de 30,8 kg, o que se enquadra dentro de alguns veículos de micromobilidade semelhantes, de acordo com (54–57), sendo que os pesos variam entre os 30 e os 49 kg.

Nesta fase também se pode concluir que os valores arbitrados para algumas peças, tais como os cabos de cobre do motor, bateria e iluminação, não tiveram grande impacto no resultado global; a representação da categoria “Cobre/latão” na Figura 4.5 é de aproximadamente 4% da categoria de Produção do veículo, dentro do pilar “Produção” da ACV.

Partindo do enunciado anteriormente, e já sabendo quais os cálculos da ferramenta do ITF – Good to Go, do capítulo 3, já é do conhecimento que caso o veículo esteja sobredimensionado em termos de peso, isto quer dizer que os resultados das categorias de Produção e Transporte poderão ser inferiores na realidade (considerando que as categorias de materiais estão corretas, apenas os pesos se alterem); as categorias da eletricidade e infraestrutura não são afetadas com esta alteração de variáveis.

Considerando os valores de ACV do cenário base e do cenário 5 (veículo de caso estudo em formato de mobilidade partilhada), estes são comparados com e-bikes e e-scooters que já tinham sido referenciados no capítulo 2. Apresentam-se na Tabela 4.2 os valores de ACV dos cenários mencionados, do presente trabalho, assim como de alguns veículos de micromobilidade. Para a seguinte análise todos os veículos serão considerados semelhantes, ou

seja, como veículo de micromobilidade” sem dar atenção se é uma e-scooter ou uma e-bike, no entanto, ps veículos privados e partilhados serão sempre considerados independentemente.

Sabe-se que uma e-scooter tenderá a ter uma ACV com menor impacte ambiental em relação a uma e-bike, e esta também menor que um triciclo, no entanto, há muitos fatores que podem influenciar tal pressuposto, tais como: como os materiais de cada veículo, nº de componentes, local de produção, distâncias percorridas entre locais de produção e locais de uso ou venda, fontes de produção de eletricidade do local onde cada veículo carrega as baterias, veículos de serviços operacionais, etc.

De maneira a comparar os resultados numa base de comparação mais equitativa, os valores de comparação serão por veículo-quilómetro ou emissões totais de CO₂ ao longo do ciclo de vida por quilograma do veículo

Com base nos pressupostos acima referidos, encontra-se em baixo a Tabela 4.2 e de seguida a interpretação dos resultados:

Tabela 4.2 Comparação de resultados com ACV's semelhantes

| Referência | # | Veículo e Serviço | Emissões de GEE | |
|------------|---|--|----------------------------|--|
| | | | [g CO ₂ eq/vkm] | [total kg CO ₂ eq/kg do veículo] ¹ |
| - | 1 | Cenário base (veículo privado) | 29,0 | 10,2 |
| - | 2 | Cenário 5 (mobilidade partilhada) | 106,6 | 23,8 |
| (29) | 3 | e-bike privada | 21,5 | 26,0 ² |
| (34) | 4 | e-scooter partilhada | 77,0 | 13,0 ² |
| (34) | 5 | e-scooter partilhada (carregamento de bateria energia solar) | 66,2 | 11,2 ² |
| (35) | 6 | e-scooter partilhada | 88,0 | - |
| (4) | 7 | e-bike partilhada | 118,0 | - |
| (41) | 8 | e-scooter partilhada | 35,0 | - |

¹: A coluna [total kg CO₂ eq/kg do veículo] considera o total de emissões de dióxido de carbono ao longo do ciclo de vida, muito influenciado pela esperança de vida/km percorridos estimados

²: valores calculados com base em informação nas referências, nem toda a informação para os cálculos se encontra mencionada no presente documento

Resultado do cenário base (#1) e da e-bike partilhada (#3) têm resultados de emissões por vkm muito semelhantes com uma diferença inferior a 30%. O resultado do total de emissões por kg do veículo já é mais distinto mas ainda assim dentro de valores compreensíveis, dado que a quilometragem de ciclo de vida do #3 é mais do dobro em relação ao cenário base, e portanto, numa base de análise por km até tem uma pegada carbónica menor, mas como ao longo do ciclo de vida carrega mais vezes o veículo, por exemplo, tem um resultado global maior.

O cenário 5 (#2) tem um resultado de emissões de GEE por vkm muito semelhante à e-bike partilhada (#7) e à e-scooter partilhada (#6), tendo ambos um desvio de cerca de 20% em relação ao primeiro.

Outro resultado bastante semelhante ao obtido também no presente estudo é em relação à e-scooter do estudo (34). Este estudo também realizou um método semelhante a este trabalho, criando um cenário base e posteriormente 6 cenários alternativos a fim de perceber a influência de certas variáveis e os respetivos ACV. O resultado do cenário alternativo à e-scooter partilhada (#4) mas apenas carregada com energia solar (cenário #5) teve uma melhoria de 14%, no presente estudo o cenário alternativo 4 (onde também se recriou o mesmo cenário)

teve uma melhoria de 19% em relação ao cenário base. No entanto, os valores de emissões por vkm são bastante maiores ao cenário base (#1) e ao cenário alternativo 4, em grande parte deve-se ao facto de ser uma mobilidade partilhada, pois estes quando comparados com o cenário de mobilidade partilhada (#2) já são valores menores.

Como mencionado anteriormente no capítulo 3 ao modelar o pilar da Eletricidade no cenário base, de acordo com o GREET1 a produção de energia proveniente de energias renováveis não têm impacte ambiental. No artigo (34) é mencionado que as emissões de GEE da produção de eletricidade solar são de 80,6 [g CO₂ eq/kWh], esta informação por sua vez foi retirada do *GaBi Software System*. Pode ser esta a razão dos 5% de diferença, mas mesmo não sendo considera-se que é um valor bastante idêntico.

Da análise anterior sobre os resultados globais, analisa-se agora quais as parcelas de cada ACV, de alguns casos, de modo a comparar com o resultado do estudo em causa e analisar se os resultados são semelhantes aos praticados com outros veículos de micromobilidade partilhada:

Apresentam-se na Figura 4.8 os resultados de mobilidade partilhada em termos de percentagem de emissões de GEE por vkm de cada pilar da ACV dos seguintes casos, usando a mesma nomenclatura também mencionada na análise anterior: #2 (Ghisallo cenário alternativo 5 – mobilidade partilhada), #4, #6 e #8, das respetivas fontes (4), (35) e (41). A primeira conclusão que se pode retirar em primeira instância da Figura 4.8 é que os pilares do Transporte e Eletricidade realmente são os que têm menor impacte, mesmo que alguns veículos sejam transportados de avião como no caso do #6, que é o que tem maior representação nesse sector. O #2 é o que representa menor percentagem no Transporte porque nos outros casos, mesmo que o Transporte não sejam de avião, fazem muito mais quilómetros.

O pilar da Eletricidade, que também é um dos pilares com menor representação, os que mais se destacam são o #4 e o #6, em grande parte devido à produção de eletricidade dos países onde foram feitas as ACV, na China e Estados Unidos da América, respetivamente. Os cenários #2 e #8 têm produção de eletricidade com menor pegada carbónica, sendo estes em Portugal e França.

Em relação aos pilares da Produção e Serviços Operacionais, é curioso pois há 2 casos que têm a maior percentagem de produção, o #4 e #8, e os outros 2 têm a maior percentagem nos serviços operacionais, o #2 e o #6, em valores quase idênticos. Esta diferença faz com que o cenário de mobilidade partilhada do veículo em estudo no presente trabalho, #2, seja mais semelhante com o caso #6 em termos de distribuição da percentagem de emissões de GEE por pilar da ACV.

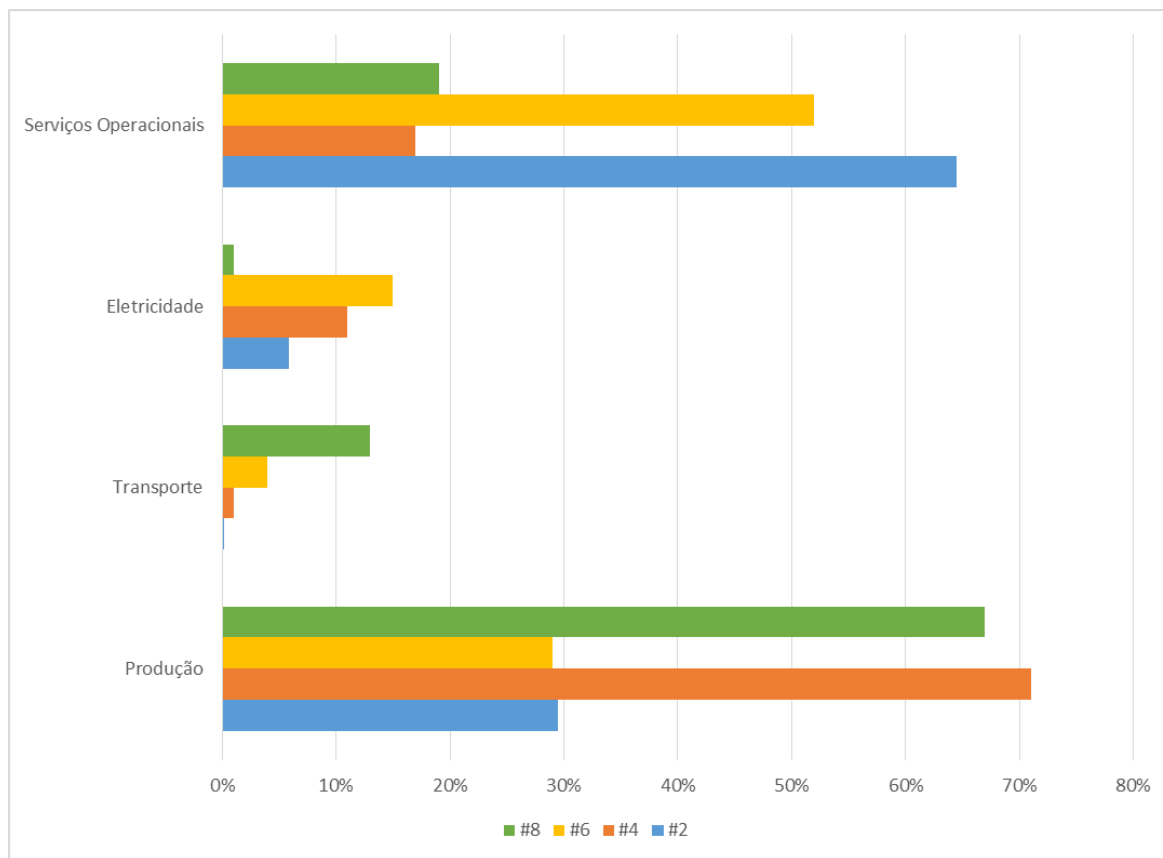


Figura 4.8 Percentagem de emissões de GEE/vkm por pilar da ACV, de diferentes casos de estudo

Como nota final sobre a interpretação de resultados, o resulta da ACV do veículo no cenário base enquadra-se dentro dos restantes veículo de micromobilidade desenvolvidos pelos autores da ferramenta do ITF – Good to Go, como se pode ver na Figura 4.9.

Sabendo que os outros veículos foram desenvolvidos de maneira própria enquadrados noutros ambientes, os veículos não têm o mesmo uso diário, as mesmas fontes de energia primárias para produção de eletricidade, capacidade de bateria diferente, tipologias de infraestruturas diferentes, componentes de cada veículo com diferentes materiais, etc; no entanto, do ponto de vista de comparar veículos de micromobilidade numa base de ACV e de mpacte ambiental, este resultado é bastante enquadrado entre os outros.

Seria expectável o Ghisallo no cenário base ter mais emissões de GEE/vkm em relação à *private e-bike* do modelo, sendo que uma bicicleta tem menos componentes, no entanto, a fase de produção de ambos é quase idêntica. A grande diferença entre ambos é o pilar da Eletricidade, onde a rede de energia REN tem grande contributo para este resultado, sendo que temos uma produção de energia com baixa intensidade carbónica, o que faz com que o pilar da Eletricidade do cenário base deste trabalho seja de baixo valor.

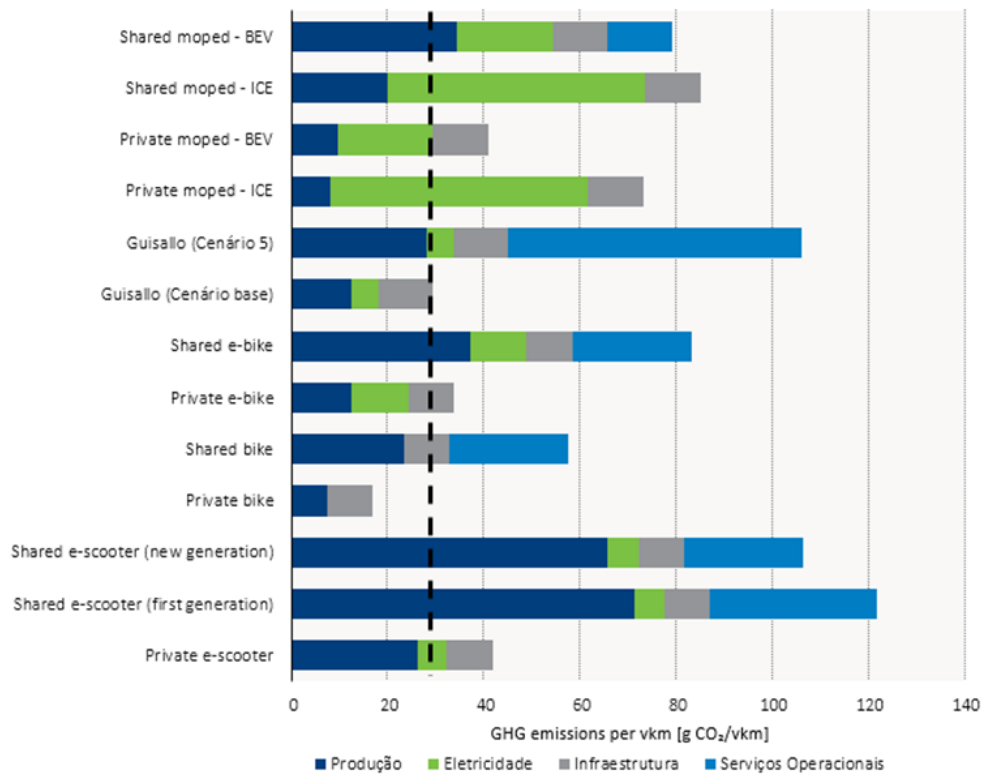


Figura 4.9 Enquadramento do resultado obtido com os veículos de micromobilidade desenvolvidos pelos autores do ITF – Good to Go

Em relação ao cenário 5, pode concluir-se que se deve ter exagerado em alguns pressupostos, pois o resultado está demasiado alto em relação aos restantes.

Comparando o resultado do veículo do presente trabalho com os motociclos, este era expectável ser menor, como acontece, e em relação à bicicleta comum também se obteve o resultado expectável.

Capítulo 5

Conclusão e trabalhos futuros

O objetivo principal da dissertação, que consistia em fazer a avaliação de ciclo de vida de um veículo de micromobilidade numa perspetiva *life cycle thinking*, foi cumprido, tendo sido obtido resultados da ACV no cenário base num intervalo de valores enquadrado entre resultados de veículos semelhantes, e com valores de emissões de GEE e consumo de energia relativamente mais baixos em relação aos automóveis de combustíveis fósseis (e dos elétricos também).

Dentro do objetivo da análise de ciclo de vida, alcançado inicialmente com o cenário base, também se pretendia modelar diversos cenários de modo a perceber a relevância de certas variáveis do sistema e tentar compreender melhor o comportamento da ACV em função de certas alterações. Em relação a este objetivo, também se considera que foi alcançado com sucesso, tendo em todos alcançado resultados, de certo modo expectáveis, no entanto estes agora estão quantificados e podem servir de base para decisões sustentadas em números. Em relação ao cenário 1, onde a diferença em relação ao cenário base foi apenas cerca de 1%, pode-se concluir que o veículo de certo modo já está num nível de sustentabilidade considerável, tendo por exemplo já grande parte dos componentes de aço.

Entre os cenários testados, ao considerar o veículo de uso particular, conclui-se que a produção do veículo é a categoria da ACV responsável por mais emissões de GEE, entre as restantes: transporte, infraestrutura e eletricidade. Conclui-se também que o transporte dos veículos do local de produção para o local de venda, quando é realizado de avião, tem maior impacte ambiental.

Medidas que baixam o impacte ambiental do ciclo de vida do veículo são: carregar as baterias do veículo através de fontes de energias renováveis; alteração de materiais do veículo como o alumínio, substituindo por outros com menor impacte ambiental, como o aço ou aço inoxidável e utilizar maioritariamente as ciclovias em detrimento das estradas.

Em relação à ferramenta de ACV utilizada, disponibilizada pelo International Transport Forum, esta não foi desenvolvido especificamente para este propósito. A ferramenta foi desenvolvida para certos veículos e para o utilizador alterar apenas certos campos, tais como: vida expectável do veículo (anos), distância média percorrida por dia (km), percentagem de quilómetros realizado em ciclovias e em estrada, região (país) onde é utilizado o veículo, entre outros. No entanto, uma vez que todo o ficheiro é de livre edição e sendo que a ferramenta é *software* Microsoft Excel, foi relativamente fácil explorar e compreender as ligações entre variáveis, dados de entrada, ligações às bases de dados do GREET1 e GREET2, assim como o acesso às fontes que os autores também usaram (através de *hyperlinks*). Tendo o cenário base modelado, efetuaram-se as respetivas alterações aos inventários de ciclo de vida para cada cenário alternativo e obteve-se os resultados. Entre muitos dos parâmetros definidos no Inventário de ciclo de vida dos cenários, muitos são baseados no GREET1 e 2 (mencionados ao longo do trabalho), ou seja, estes valores pertencem a dados da América, no entanto, nem tudo é de acordo com o GREET e no pilar da eletricidade adaptou-se os valores para a realidade portuguesa em relação às fontes de energia de produção de eletricidade, que são de acordo com a REN em 2020.

Em termos de trabalhos futuros propõe-se que analisem futuramente, quais as bases de dados a nível de Portugal, ou Europa, que se podiam usar na ferramenta do ITF.

Também se devia voltar a realizar uma ACV quando o veículo estiver numa fase de *“design freeze”*, quando já não houver mais troca de peças, de modo obter uma ACV mais realística.

Sugere-se também que se envolva a empresa produtora do veículo para verificar com os fornecedores quais as percentagens de material reciclado que usam nos seus materiais. Os valores de aço e alumínio reciclado têm um impacte ambiental bastante menor em relação aos materiais das mesmas categorias no estado virgem, como se pode ver na Tabela 3.4.

Em relação ao pilar do transporte também se deve obter as perspetivas de locais de venda. À data da realização desta dissertação apenas se sabe que o veículo será produzido em Vila Nova de Gaia, não tendo ideia de

onde será vendido, e portanto, esses valores foram arbitrados pelo autor. Com base nas vendas do veículo, faz sentido criar cenários (quando se fizer o novo cenário base com dados mais atualizados) para as diferentes cidades/países, independentemente, de modo a analisar o quão sustentável este produto pode ser ao ser exportado para a Noruega ou para Espanha, tendo também atenção às fontes de energia para produção de eletricidade nas diferentes localidades.

Em conclusão geral, considera-se que os valores da ACV do veículo – Ghisallo já dão um grau de confiança para se poder usar para decisões de gestão ou para servir de apoio à decisão em implementar algumas alterações ao veículo, caso seja o caso. Como por exemplo começar a desenvolver uma estação de carregamento através de painéis solares. Pode também servir para se começar a reiterar processos de desenvolvimento do produto em relação à substituição de algumas peças de alumínio e implementar mais peças de aço ou aço inoxidável.

Referências Bibliográficas

1. Berrone P, Ricart Costa JE, T-Figueras AD. Cities and Mobility & Transportation: Towards the next generation of Urban Mobility (IESE CITIES IN MOTION: International urban best practices. 1st ed. Vol. 2. Createspace Independent Publishing Platform; 2016. 1–107 p.
2. Banister D. Unsustainable transport: City transport in the new century [Internet]. Unsustainable Transport: City Transport in the New Century. Routledge Taylor & Francis Group; 2005 [cited 2021 May 8]. 1–292 p. Available from: <https://www.taylorfrancis.com/https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9780203003886/unsustainable-transport-david-banister>
3. Dell RM, Moseley PT, Rand DAJ. The Evolution of Unsustainable Road Transport. In: Towards Sustainable Road Transport [Internet]. Elsevier; 2014 [cited 2021 May 8]. p. 1–64. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780124046160000013>
4. Luo H, Kou Z, Zhao F, Cai H. Comparative life cycle assessment of station-based and dock-less bike sharing systems. Resour Conserv Recycl [Internet]. 2019 Jul 1 [cited 2021 May 8];146:180–9. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344919301090>
5. International Energy Agency. Data overview - IEA [Internet]. CO2 Emissions from Fuel Combustion 2018: Overview. 2018 [cited 2019 May 3]. Available from: <https://www.iea.org/data-and-statistics>
6. European Environment Agency. Greenhouse gas emissions from transport in Europe — European Environment Agency [Internet]. 2020 [cited 2021 May 8]. Available from: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-greenhouse-gases-7/assessment>
7. Severengiz S, Finke S, Schelte N, Forrister H. Assessing the Environmental Impact of Novel Mobility Services using Shared Electric Scooters as an Example. Procedia Manuf [Internet]. 2020 Jan 1 [cited 2021 May 8];43:80–7. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2351978920306910>
8. Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Agrawala S, Alexeyevich Bashmakov I, Blanco G, et al. IPCC, 2014: Summary for Policymakers. 2014.
9. Spreafico C, Russo D. Exploiting the scientific literature for performing life cycle assessment about transportation. Sustain [Internet]. 2020 Sep 1 [cited 2021 May 8];12(18):7548. Available from: www.mdpi.com/journal/sustainability
10. Litman T, Burwell D. Issues in sustainable transportation. Vol. 6, International Journal of Global Environmental Issues. Inderscience Publishers; 2006. p. 331–47.
11. Diário da República. Resolução do Conselho de Ministros 131/2019, 2019-08-02 [Internet]. Vol. 2030. 2019. p. 46–81. Available from: https://dre.pt/web/guest/home/-/dre/123666113/details/maximized?print_preview=print-preview
12. Instituto Nacional de Estatística. Portal do INE [Internet]. Estatísticas dos Transportes e Comunicações : 2019. Lisboa; 2020 [cited 2021 May 8]. Available from: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=71883472&PUBLICACOESmodo=2
13. Silva PR da. Do Fim do Mundo ao Princípio da Rua. 3rd ed. Rede de Cidades e Vilas de Excelência 1ª Edição: 2018, editor. Instituto de Cidades e Vilas com Mobilidade (ICVM); 2018. 191 p.
14. Brandão SP. Desenvolvimento do quadro-suspensão-direção do veículo de comutação urbana GHISALLO-BERG Cycles [Internet]. [Aveiro, Portugal]: Universidade de Aveiro; 2018 [cited 2020 Dec 12]. Available from: <http://hdl.handle.net/10773/26916>
15. International Transport Forum. Good to Go? Assessing the Environmental Performance of New Mobility | ITF [Internet]. 2020 [cited 2021 May 8]. p. 87. Available from: <https://www.itf-oecd.org/good-go-assessing-environmental-performance-new-mobility>
16. Rodrigue J-P. The Geography of Transport Systems. 5th ed. Routledge; 2020. 480 p.
17. Chang A, Miranda-Moreno L, Sun L, R C. Trend or Fad? Deciphering the Enablers of Micromobility in the U.S. [Internet]. 2019 [cited 2021 May 8]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/335028238_Trend_or_Fad_Deciphering_the_Enablers_of_Mic

omobility_in_the_US

18. SAE. Taxonomy and Definitions for Terms Related to Shared Mobility and Enabling Technologies. 2018.
19. Azapagic A. Appendix: Life Cycle Thinking and Life Cycle Assessment (LCA). In: Sustainable Development in Practice [Internet]. John Wiley & Sons, Ltd; 2005 [cited 2021 Jun 22]. p. 426–37. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/0470014202.app1>
20. Teixeira CA de M. Análise de Ciclo de Vida: princípios metodológicos. Núcleo Edi. Vila Real; 2013. 40 p.
21. Sonnemann G, Castells F, Schuhmacher M, Hauschild M. Integrated life-cycle and risk assessment for industrial processes. *Int J Life Cycle Assess* [Internet]. 2004 May [cited 2021 May 8];9(3):206–7. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/BF02994195>
22. Ferreira J. Gestão Ambiental - Análise de Ciclo de Vida dos Produtos. Viseu: Instituto Politécnico de Viseu; 2004. p. 80.
23. Johnson R, Kodama A, Willensky R. The Complete Impact of Bicycle Use [Internet]. Duke; 2014 [cited 2021 May 8]. Available from: <https://hdl.handle.net/10161/8483>
24. Duce A Del. Life Cycle Assessment of conventional and electric bicycles [Internet]. Friedrichshafen; 2011 [cited 2021 May 8]. p. 31. Available from: <https://studylib.net/doc/18105816/life-cycle-assessment-of-conventional-and-electric-bicycles>
25. de Bortoli A. Environmental performance of shared micromobility and personal alternatives using integrated modal LCA. *Transp Res Part D Transp Environ* [Internet]. 2021 Apr 1 [cited 2021 May 8];93:102743. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S136192092100047X>
26. Dave S. Life Cycle Assessment of Transportation Options for Commuters [Internet]. 2010 [cited 2021 May 8]. Available from: <https://files.meetup.com/1468133/LCAwhitepaper.pdf>
27. Leuenberger M, Frischknecht R, ESU-services Ltd. Life Cycle Assessment of Two Wheel Vehicles. Vol. 2. Uster; 2010.
28. Accell Group. Sustainable Materials and Recycling [Internet]. 2012 [cited 2021 May 8]. Available from: www.accell-group.com
29. Cherry CR, Weinert JX, Xinmiao Y. Comparative environmental impacts of electric bikes in China. *Transp Res Part D Transp Environ* [Internet]. 2009 Jul 1 [cited 2021 May 8];14(5):281–90. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1361920908001387>
30. Tao J, Zhou Z. Evaluation of Potential Contribution of Dockless Bike-sharing Service to Sustainable and Efficient Urban Mobility in China. *Sustain Prod Consum* [Internet]. 2021 Jul 1 [cited 2021 May 8];27:921–32. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352550921000464>
31. Liu W, Liu H, Liu W, Cui Z. Life cycle assessment of power batteries used in electric bicycles in China. *Renew Sustain Energy Rev* [Internet]. 2021 Apr 1 [cited 2021 May 8];139:110596. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032120308807>
32. Bai B, Wang Y, Xiong S, Ma X. Electric vehicle-attributed environmental injustice: Pollutant transfer into regions with poor traffic accessibility. *Sci Total Environ* [Internet]. 2021 Feb 20 [cited 2021 May 8];756:143853. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969720373848>
33. Almeida DR de. Mobilidade ciclável: uma avaliação do ciclo de vida [Internet]. [Aveiro, Portugal]: Universidade de Aveiro; 2014 [cited 2020 Dec 15]. Available from: <http://hdl.handle.net/10773/14424>
34. Severengiz S, Finke S, Schelte N, Wendt N. Life Cycle Assessment on the Mobility Service E-Scooter Sharing. In: 2020 IEEE European Technology and Engineering Management Summit (E-TEMS) [Internet]. IEEE; 2020 [cited 2021 May 8]. p. 1–6. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9111817/>
35. Hollingsworth J, Copeland B, Johnson JX. Are e-scooters polluters? the environmental impacts of shared dockless electric scooters. *Environ Res Lett* [Internet]. 2019 Aug 2 [cited 2021 May 8];14(8):11. Available from: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab2da8>
36. Zheng F, Gu F, Zhang W, Guo J. Is Bicycle Sharing an Environmental Practice? Evidence from a Life Cycle Assessment Based on Behavioral Surveys. *Sustainability* [Internet]. 2019 Mar 14 [cited 2021 May 8];11(6):1550. Available from: www.wjx.cn
37. Nan S. Pconline. Experience Mobby-Lite: Low Cost and Comfortable [Internet]. 2016 [cited 2018 Jul 29]. Available from: <https://www.pconline.com.cn/autotech/852/8520760.html>

38. Mao G, Hou T, Liu X, Zuo J, Kiyawa A-HI, Shi P, et al. How can bicycle-sharing have a sustainable future? A research based on life cycle assessment. *J Clean Prod* [Internet]. 2021 Feb 1 [cited 2021 May 8];282:125081. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652620351258>
39. O’Kane S. Dockless bike-share service leaves France after ‘mass destruction’ of its fleet - The Verge [Internet]. 2018 [cited 2021 May 8]. Available from: <https://www.theverge.com/2018/2/26/17053408/gobee-bike-sharing-france-belgium>
40. de Mello Bandeira RA, Goes GV, Schmitz Gonçalves DN, D’Agosto M de A, Oliveira CM de. Electric vehicles in the last mile of urban freight transportation: A sustainability assessment of postal deliveries in Rio de Janeiro-Brazil. *Transp Res Part D Transp Environ* [Internet]. 2019 Feb 1 [cited 2021 May 8];67:491–502. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1361920917308854>
41. Møller TH, Simlett J. Micromobility: moving cities into a sustainable future [Internet]. 2020 [cited 2021 May 8]. Available from: https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/en_gl/topics/automotive-and-transportation/automotive-transportation-pdfs/ey-micromobility-moving-cities-into-a-sustainable-future.pdf
42. JEC Joint Research Centre EUCAR and Concawe. Well-to-Wheels Analyses | EU Science Hub [Internet]. 2016 [cited 2021 May 20]. Available from: <https://ec.europa.eu/jrc/en/jec/activities/wtw>
43. Argonne National Laboratory. GREET Model [Internet]. 2020 [cited 2021 May 9]. Available from: <https://greet.es.anl.gov/>
44. Sala S, Reale F, Cristóbal-García J, Marelli L, Rana P. Life cycle assessment for the impact assessment of policies. *Life thinking and assessment in the European policies and for evaluating policy options* [Internet]. Vol. 28380, Joint Research Centre. Ispra; 2016. Available from: <https://ec.europa.eu/jrc>
45. Shimano. Unidade Motriz SHIMANO STEPS E7000 para travão de disco V-Brake [Internet]. 2020 [cited 2021 May 9]. Available from: <https://bike.shimano.com/pt-PT/product/component/e-bike-e7000-series/DU-E7000.html>
46. LG CHEMICAL LIMITED. MATERIAL SAFETY DATASHEET INR18650 Lithium-Ion Battery. LG Chemical Limited; 2017. p. 8.
47. Chester M V. Life-cycle Environmental Inventory of Passenger Transportation in the United States [Internet]. 2008 Aug [cited 2021 Jun 21]. Available from: <https://escholarship.org/uc/item/7n29n303>
48. Loijos A, Santero N, Ochsendorf J. Life cycle climate impacts of the US concrete pavement network. *Resour Conserv Recycl* [Internet]. 2013 Mar [cited 2021 Jun 21];72:76–83. Available from: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0921344912002285?token=BD31F86CBF01A2877A04D17B635EC74691587DC6F74CFBA763A40F51CC1D23268DE7CF22BC1D12F2FEB109B6CBD62794&originRegion=e-west-1&originCreation=20210621163955>
49. Miatto A, Schandl H, Wiedenhofer D, Krausmann F, Tanikawa H. Modeling material flows and stocks of the road network in the United States 1905–2015. *Resour Conserv Recycl* [Internet]. 2017 Dec [cited 2021 Jun 21];127:168–78. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.024>
50. Department for Transport - UK Gov. Road traffic statistics - London region [Internet]. 2020 [cited 2021 Jun 21]. Available from: <https://roadtraffic.dft.gov.uk/regions/6>
51. Transport for London. Travel in London Report 11 [Internet]. London; 2018 [cited 2021 Jun 21]. Available from: <http://content.tfl.gov.uk/travel-in-london-report-11.pdf>
52. Mukherjee A. Life Cycle Assessment of Asphalt Mixtures in Support of an Environmental Product Declaration [Internet]. 2016 [cited 2021 Jun 21]. Available from: https://www.asphaltpavement.org/uploads/documents/EPD_Program/LCA_final.pdf
53. APREN. Evolução da Produção de Eletricidade por Fonte em Portugal Continental (abril de 2019 a abril 2021) [Internet]. [cited 2021 May 14]. Available from: <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao>
54. EVASION - THE PERFECT ELECTRIC TRICYCLE [Internet]. [cited 2021 Jun 8]. Available from: <https://www.damius.com/en/evasion-electric-tricycle.html>
55. Jorvik Low Step Through Electric Mountain Trike JMT6 (500W) | Jorvik Tricycles [Internet]. [cited 2021 Jun 8]. Available from: <https://jorviktricycles.com/jorvik-low-step-through-electric-mountain-trike-jmt6-500w>
56. Amazon.com : 3Score Electric Fat Trike 750W Motor and 48V 17.4 AH LG Lithium Rechargeable Battery -

- Etrike 24 Inch Fat Tire - Foldable Electric Cruiser Tricycle (Electric Blue, Fat Tire Etrike) : Sports & Outdoors [Internet]. [cited 2021 Jun 8]. Available from: https://www.amazon.com/3Score-Electric-Rechargeable-Removable-INR18650-29E/dp/B07QFGC2X6/ref=sr_1_2?dchild=1&keywords=Electric+Trike&qid=1623185209&sr=8-2
57. Electric Tricycle for Adults | Buzz Bikes [Internet]. [cited 2021 Jun 8]. Available from: <https://www.buzzbicycles.com/electric-tricycles/>
 58. tradeinn. Michelin Pneu Diabolo City 20" Preto, Bikeinn [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: https://www.bikeinn.com/loja-ciclismo/michelin-pneu-diabolo-city-20/136007027/p?utm_source=google_products&utm_medium=merchant&id_produto=2736764&country=pt&gclid=CjwKCAiAq8f-BRBtEiwAGr3DgYHH2iIBZQW2uMbXPJ8fV1J-M7shlpSGI3vhSO5arshLTdPHSYm6oBoCU74QAvD_BwE
 59. Decathlon. CÂMARA DE AR 20" [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: https://www.decathlon.pt/camara-de-ar-20-schradler-id_8311089.html
 60. Rodi Rims & Wheels. SCOUT Rim 20" [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: <https://cycling.rodi.pt/en/product/rims/scout/>
 61. SSAB. Innovative design with high-strength steel [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: <https://www.ssab.com/news/2015/10/innovative-design-with-high-strength-steel>
 62. Bitex Industrial. Bike Roll Better [Internet]. 2018 [cited 2021 Jun 24]. Available from: <http://www.bitexhubs.com/upload/download/5ad995213a40c.pdf>
 63. Eurocodeapplied. Structural steel S235, S275, S355, S420 [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: <https://eurocodeapplied.com/design/en1993/steel-design-properties>
 64. Boltport. ISO 4762 Socket Head Cap Screws [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: <https://www.boltport.com/weights/iso-4762/>
 65. Fuller Fasteners. DIN 127 - washers [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: <https://fullerfasteners.com/tech/2364/>
 66. Fasteners EU. ISO 7089 - Plain washers [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: <https://www.fasteners.eu/standards/ISO/7089/>
 67. Boltport. DIN 1587 Acorn Nuts [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: <https://boltport.com/weights/din-1587/>
 68. Bikebug. Shimano SM-RT56 6 Bolt Disc Rotor [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: <https://www.bikebug.com/shimano-sm-rt56-6-bolt-disc-rotor-p-97416.html>
 69. Cycles CR. Shimano Acera M395 Disc Brake [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: <https://www.chainreactioncycles.com/se/en/shimano-acera-m395-disc-brake-2017/rp-prod174788>
 70. British Plastics Federation. Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/ABS_and_Other_Specialist_Styrenics.aspx
 71. Würth. Blind rivet [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: https://wuerth.partcommunity.com/3d-cad-models/blindniete-flachrundkopf-iso-15977-prj-blind-rivet-round-pan-head-wuerth?info=wuerth%2Fverbindungselemente%2Fniete%2Fblindniete%2Fblindniete_flachrundkopf%2Fblindniete_flachrundkopf_iso_15977.prj&cwid=1751
 72. ISO 4034 [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: <http://www.164580.com/m/calculate/v.php?sid=396>
 73. matweb. Aluminum 6061-T6; 6061-T651 [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: http://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=1b8c06d0ca7c456694c7777d9e10be5b
 74. SKF. 61902-2Z - Deep groove ball bearings [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-61902-2Z>
 75. MISUMI. Mechanical Automation Components Metric Catalog [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: https://us.c.misumi-ec.com/book/usa_2019_msm_fa/digitalcatalog.html?page_num=2019-3664
 76. Hastelloy-pipe. 1.4539 904L threaded rod stud bolt full threaded DIN975 DIN976 [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: <http://hastelloy-pipe.sell.everychina.com/p-110237910-1-4539-904l-threaded-rod>

- stud-bolt-full-threaded-din975-din976.html
77. Astmsteel. AISI 6150 Steel [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: <http://www.astmsteel.com/product/aisi-6150-steel/>
 78. Decathlon. CAIXA DE DIREÇÃO BICICLETA 1" BTWIN [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: https://www.decathlon.pt/caixa-de-direcao-bicicleta-1-id_5245085.html
 79. MISUMI. RBLD8 | Rod End Bearings [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: <https://us.misumi-ec.com/vona2/detail/110300372250/?HissuCode=RBLD8>
 80. Decathlon. avanço 1" êmbolo 25.4 60mm preto BTWIN [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: https://www.decathlon.pt/avanco-1-embolo-254-60mm-id_8512276.html
 81. Decathlon. GUIADOR BICICLETA DE CIDADE 25.4 610mm BTWIN [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: https://www.decathlon.pt/guiador-bicicleta-254-610mm-id_8400857.html
 82. Dimension Bike Products. Cork Grips [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: <https://www.dimensionbikeproducts.com/products/grips/cork>
 83. Shimano. Manete de travão BL-M396 [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: <https://bike.shimano.com/pt-PT/product/component/acera-m3000/BL-M396.html>
 84. Shimano. Manípulo de mudanças SL-C6000-8 [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: <https://bike.shimano.com/pt-PT/product/component/nexus-c6000-int8/SL-C6000-8.html>
 85. The Spring Store. Spring Calculator [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: <https://www.thespringstore.com/spring-calculator.html>
 86. MISUMI. Mechanical Automation Components Metric Catalog [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: https://us.c.misumi-ec.com/book/usa_2019_msm_fa/digitalcatalog.html?page_num=2019-3200
 87. Maha Bhairav Stainless Steel. Button Head Cap Screws [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: <http://mbsindia.in/button-head-cap-screws/>
 88. Micro Metals. Copper Washer [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: <https://www.micrometals.co.in/copper-washers-manufacturers-suppliers/>
 89. Decathlon. FIXAÇÃO RÁPIDA PARA APERTO DE ESPIGÃO 60 MM BTWIN [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: https://www.decathlon.pt/fixacao-aperto-de-espigao-60mm-id_3640650.html
 90. Shimano. Uidade Motriz DU-E7000 [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: <https://bike.shimano.com/pt-PT/product/component/e-bike-e7000-series/DU-E7000.html>
 91. Decathlon. Prato de 44D para Motor de Bicicleta [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: https://www.decathlon.pt/prato-44d-motor-brose-id_8524189.html
 92. Decathlon. Pedaleira mono 44t 170m prata [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: https://www.decathlon.pt/pedaleira-mono-44t-170m-prata-id_8406344.html
 93. Decathlon. PEDAIS [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: https://www.decathlon.pt/pedais-planos-btt-resina-100-id_8380502.html
 94. Decathlon. PARAFUSOS DE APERTO CRANQUES [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: https://www.decathlon.pt/parafusos-de-aperto-cranques-id_6288604.html
 95. TME. ISO 7379-6-M5 [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: <https://www.tme.eu/en/details/iso7379-6-m5-25/shoulder-screws/elesa-ganter/iso-7379-6-m5-25/>
 96. Ramada. Washer BR1 [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: https://www.ramada.pt/pt/produtos/acos/ligas-nao-ferrosas-para-moldes-e-meca-a2nica-geral/br-1_.html
 97. Fabory. DIN 125-1 A - Washers [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: https://fabory.partcommunity.com/3d-cad-models/?info=fabory%2F4_washers_and_retaining_rings%2Fdin_125_teil_1_a.prj&varset=%7BCNSORDERNO%3D56300.050.001%7D&encoding=%25
 98. LINKA LOCK. Lock LEO 2 [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: <https://www.linkalock.com/pages/leo-2-pro-specs>
 99. Shimano. Redutor SG-S700 [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: <https://bike.shimano.com/pt-PT/product/component/alfine-s700s700/SG-S700.html>
 100. Shimano. Corrente CN-NX10 [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: <https://bike.shimano.com/pt->

- PT/product/component/nexus-c3000-int7/CN-NX10.html
101. AALCO. Stainless Steel [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: https://www.aalco.co.uk/datasheets/Stainless-Steel-14301-304-Bar-and-Section_34.ashx
 102. Decathlon. SELIM BICICLETA CIDADE 100 BTWIN [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: https://www.decathlon.pt/selim-bicicleta-cidade-100-id_8389349.html
 103. Decathlon. LUZ LED FRONTAL USB BICICLETA FL 900 PRETO ELOPS [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: https://www.decathlon.pt/luz-frontal-usb-fl-900-id_8399543.html
 104. Decathlon. LUZ LED FRENTE/TRÁS USB BICICLETA SL 500 PRETO ELOPS [Internet]. [cited 2021 Jun 24]. Available from: https://www.decathlon.pt/luz-fr-tr-usb-sl-500-preto-id_8327535.html

Anexo 1

| Peça | Qty [pcs] | Densidade [kg/m ³] | Volume (unidade) [m ³] | Peso/unid. [kg] | Peso [kg] | CategorialTF | Fonte |
|---------------------------------|-----------|--------------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|-------|
| 1. Roda da frente | | | | | | | |
| Pneus 20*1,75 | 2 | N/A | N/A | $5,200 \times 10^{-1}$ | 1,040 | Borracha | (58) |
| Câmara de ar | 2 | N/A | N/A | $1,480 \times 10^{-1}$ | $2,960 \times 10^{-1}$ | Borracha | (59) |
| Aro | 2 | N/A | N/A | $3,280 \times 10^{-1}$ | $6,560 \times 10^{-1}$ | Alumínio extrudido | (60) |
| Raios | 2 | 7700 | $4,538 \times 10^{-5}$ | N/A | $6,989 \times 10^{-1}$ | Aço | (61) |
| Cubo | 2 | N/A | N/A | $2,105 \times 10^{-1}$ | $4,210 \times 10^{-1}$ | Alumínio extrudido | (62) |
| Veio/eixo | 2 | 7850 | $1,261 \times 10^{-5}$ | N/A | $1,979 \times 10^{-1}$ | Aço | (63) |
| Parafuso | 2 | N/A | N/A | $3,221 \times 10^{-2}$ | $6,442 \times 10^{-2}$ | Aço | (64) |
| Anilha pressão (mola) | 4 | N/A | N/A | $3,820 \times 10^{-3}$ | $1,528 \times 10^{-2}$ | Aço | (65) |
| Anilha normal | 4 | N/A | N/A | $6,270 \times 10^{-3}$ | $2,508 \times 10^{-2}$ | Aço | (66) |
| Porca | 2 | N/A | N/A | $2,830 \times 10^{-2}$ | $5,660 \times 10^{-2}$ | Aço | (67) |
| 2. Sistema manga de eixo | | | | | | | |
| Manga de eixo esquerda | 1 | 7800 | $4,121 \times 10^{-5}$ | N/A | $3,215 \times 10^{-1}$ | Aço | (61) |
| Manga de eixo direita | 1 | 7800 | $3,607 \times 10^{-5}$ | N/A | $2,814 \times 10^{-1}$ | Aço | (61) |
| Espaçador de disco | 2 | 7800 | $1,168 \times 10^{-6}$ | N/A | $1,822 \times 10^{-2}$ | Aço | (61) |
| Disco de travão | 2 | N/A | N/A | $1,350 \times 10^{-1}$ | $2,700 \times 10^{-1}$ | Aço | (68) |
| Pinças de travão | 2 | N/A | N/A | $3,200 \times 10^{-1}$ | $6,400 \times 10^{-1}$ | Aço | (69) |
| Suporte para lamas esquerdo | 1 | 7800 | $8,532 \times 10^{-6}$ | N/A | $6,655 \times 10^{-2}$ | Aço | (61) |
| Suporte para lamas dir. | 1 | 7800 | $9,343 \times 10^{-6}$ | N/A | $7,288 \times 10^{-2}$ | Aço | (61) |
| Para lamas esquerdo | 1 | 1020 | $2,743 \times 10^{-4}$ | N/A | $2,797 \times 10^{-1}$ | Plástico | (70) |

| Peça | Qty [pcs] | Densidade [kg/m ³] | Volume (unidade) [m ³] | Peso/unid. [kg] | Peso [kg] | CategoriaITF | Fonte |
|-------------------------------|-----------|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|-------|
| Pára lamas direiro | 1 | 1020 | 2,743 X 10 ⁻⁴ | N/A | 2,797 X 10 ⁻¹ | Plástico | (70) |
| Rebites para fixar para lamas | 2 | N/A | N/A | 1,400 X 10 ⁻³ | 2,800 X 10 ⁻³ | Alumínio extrudido | (71) |
| Parafuso p/fixação sup. Lamas | 4 | N/A | N/A | 3,000 X 10 ⁻³ | 1,200 X 10 ⁻² | Aço | (64) |
| Porcas p/fixação sup. Lamas | 4 | N/A | N/A | 5,201 X 10 ⁻³ | 2,080 X 10 ⁻² | Aço | (72) |
| Parafuso p/fixação pinças T | 4 | N/A | N/A | 6,500 X 10 ⁻³ | 2,600 X 10 ⁻² | Aço | (64) |
| Porcas p/fixação pinças | 4 | N/A | N/A | 2,774 X 10 ⁻³ | 1,110 X 10 ⁻² | Aço | (72) |
| Anilhas | 8 | N/A | N/A | 1,020 X 10 ⁻³ | 8,160 X 10 ⁻³ | Aço | (66) |
| 3. Sistema pendular | | | | | | | |
| Braço pendular | 2 | 2700 | 5,869 X 10 ⁻⁵ | N/A | 3,169 X 10 ⁻¹ | Alumínio fundido | (73) |
| Anilhas de calibração | 4 | 7800 | 2,324 X 10 ⁻⁷ | N/A | 7,252 X 10 ⁻³ | Aço | (61) |
| Rolamento | 4 | N/A | N/A | 1,600 X 10 ⁻² | 6,400 X 10 ⁻² | Aço | (74) |
| Rotula | 4 | N/A | N/A | 9,000 X 10 ⁻² | 3,600 X 10 ⁻¹ | Aço | (75) |
| Pernos | 4 | 8050 | 1,508 X 10 ⁻⁶ | N/A | 4,856 X 10 ⁻² | Aço | (76) |
| Casquilho de indexagem | 2 | 2700 | 8,829 X 10 ⁻⁶ | N/A | 4,768 X 10 ⁻² | Alumínio extrudido | (73) |
| Parafuso | 2 | N/A | N/A | 2,090 X 10 ⁻² | 4,180 X 10 ⁻² | Aço | (64) |
| Suporte de bagagem | 2 | 2700 | 5,040 X 10 ⁻⁶ | N/A | 2,722 X 10 ⁻² | Alumínio fundido | (73) |
| Mola de torção | 2 | 7700 | 8,705 X 10 ⁻⁶ | N/A | 1,341 X 10 ⁻¹ | Aço | (77) |
| Parafuso | 6 | N/A | N/A | 2,300 X 10 ⁻³ | 1,380 X 10 ⁻² | Aço | (64) |
| 4. Sistema de direção | | | | | | | |
| Estrutura frontal | 1 | 7800 | 2,753 X 10 ⁻⁴ | N/A | 2,147 | Aço | (61) |
| Caixa de direção | 1 | N/A | N/A | 1,500 X 10 ⁻¹ | 1,500 X 10 ⁻¹ | Aço | (78) |
| Tubo interior direção | 1 | 7850 | 7,864 X 10 ⁻⁵ | N/A | 6,174 X 10 ⁻¹ | Aço | (63) |

| Peça | Qty [pcs] | Densidade [kg/m ³] | Volume (unidade) [m ³] | Peso/unid. [kg] | Peso [kg] | CategoriaITF | Fonte |
|---------------------------------|-----------|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|-------|
| Pendulo direção | 1 | 7800 | 3,536 X 10 ⁻⁵ | N/A | 2,758 X 10 ⁻¹ | Aço | (61) |
| Rótulas | 4 | N/A | N/A | 4,900 X 10 ⁻² | 1,960 X 10 ⁻¹ | Aço | (79) |
| Anilhas de calibração | 4 | 7800 | 9,817 X 10 ⁻⁸ | N/A | 3,063 X 10 ⁻³ | Aço | (61) |
| Haste | 2 | 2700 | 1,299 X 10 ⁻⁵ | N/A | 7,013 X 10 ⁻² | Alumínio extrudido | (73) |
| Pernos | 4 | 8050 | 3,456 X 10 ⁻⁶ | N/A | 1,113 X 10 ⁻¹ | Aço | (76) |
| Porcas | 4 | N/A | N/A | 9,044 X 10 ⁻³ | 3,618 X 10 ⁻² | Aço | (72) |
| Anilhas de altura | 4 | 7800 | 3,539 X 10 ⁻⁷ | N/A | 1,104 X 10 ⁻² | Aço | (61) |
| Avanço guiador (conjunto) | 1 | N/A | N/A | 3,400 X 10 ⁻¹ | 3,400 X 10 ⁻¹ | Aço | (80) |
| Guiador | 1 | N/A | N/A | 1,600 X 10 ⁻¹ | 1,600 X 10 ⁻¹ | Alumínio extrudido | (81) |
| Punhos | 2 | N/A | N/A | 2,600 X 10 ⁻² | 5,200 X 10 ⁻² | Outros | (82) |
| Manete de travão | 1 | N/A | N/A | 3,200 X 10 ⁻¹ | 3,200 X 10 ⁻¹ | Alumínio extrudido | (83) |
| Manete caixa de velocidades | 1 | N/A | N/A | 1,417 X 10 ⁻¹ | 1,417 X 10 ⁻¹ | Plástico | (84) |
| Batente fim de curso tubo selim | 1 | 1020 | 1,700 X 10 ⁻⁶ | N/A | 1,734 X 10 ⁻³ | Plástico | (70) |
| 5. Sistema de bateria | | | | | | | |
| Suporte bateria | 1 | 1000 | 1,382 X 10 ⁻⁴ | N/A | 1,382 X 10 ⁻¹ | Plástico | (70) |
| Bateria | 1 | N/A | N/A | 3,000 | 3,000 | N/A | (46) |
| 6. Sistema articular | | | | | | | |
| Manga de engate esq. | 1 | 7800 | 2,435 X 10 ⁻⁵ | N/A | 1,899 X 10 ⁻¹ | Aço | (61) |
| Manga de engate dir. | 1 | 7800 | 2,435 X 10 ⁻⁵ | N/A | 1,899 X 10 ⁻¹ | Aço | (61) |
| Mola de compressão | 1 | N/A | N/A | 4,200 X 10 ⁻³ | 4,200 X 10 ⁻³ | Aço | (85) |
| Perno | 2 | 7850 | 7,069 X 10 ⁻⁷ | N/A | 1,110 X 10 ⁻² | Aço | (63) |
| Pega esférica | 2 | N/A | N/A | 7,000 X 10 ⁻³ | 1,400 X 10 ⁻² | Aço | (86) |

| Peça | Qty [pcs] | Densidade [kg/m ³] | Volume (unidade) [m ³] | Peso/unid. [kg] | Peso [kg] | CategorialTF | Fonte |
|-------------------------------|-----------|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|-------|
| Estrutura central (Aço) | 1 | 7800 | 1,235 X 10 ⁻⁴ | N/A | 9,632 X 10 ⁻¹ | Aço | (61) |
| Estrutura central (Alumínio) | 1 | 2700 | 7,493 X 10 ⁻⁵ | N/A | 2,023 X 10 ⁻¹ | Alumínio fundido | (73) |
| Reforço dent. Interior | 2 | 7800 | 4,385 X 10 ⁻⁵ | N/A | 6,840 X 10 ⁻¹ | Aço | (61) |
| Parafuso | 6 | N/A | N/A | 1,800 X 10 ⁻³ | 1,080 X 10 ⁻² | Aço | (87) |
| Veio/eixo calibrado | 1 | 7800 | 1,268 X 10 ⁻⁵ | N/A | 9,890 X 10 ⁻² | Aço | (61) |
| Anilhas bronze | 2 | 8940 | 6,084 X 10 ⁻⁷ | N/A | 1,088 X 10 ⁻² | Cobre/Latão | (88) |
| Anilha | 2 | 8940 | 6,084 X 10 ⁻⁷ | N/A | 1,088 X 10 ⁻² | Cobre/Latão | (88) |
| Parafuso | 2 | N/A | N/A | 3,930 X 10 ⁻² | 7,860 X 10 ⁻² | Aço | (64) |
| Veio fecho central | 1 | 7800 | 6,815 X 10 ⁻⁷ | N/A | 5,316 X 10 ⁻³ | Aço | (61) |
| Tampas laterais | 2 | 1020 | 8,020 X 10 ⁻⁷ | N/A | 1,636 X 10 ⁻³ | Plástico | (70) |
| Conjunto fecho pressão | 1 | N/A | N/A | 5,000 X 10 ⁻² | 5,000 X 10 ⁻² | Plástico | (89) |
| Mola | 1 | 7700 | 2,322 X 10 ⁻⁸ | N/A | 1,788 X 10 ⁻⁴ | Aço | (77) |
| 7. Motoredutor | | | | | | | |
| Motor | 1 | N/A | N/A | 2,790 | 2,790 | N/A | (90) |
| Conjunto coroa | 1 | N/A | N/A | 9,000 X 10 ⁻² | 9,000 X 10 ⁻² | Alumínio extrudido | (91) |
| Hastes | 1 | N/A | N/A | 9,000 X 10 ⁻² | 9,000 X 10 ⁻² | Alumínio extrudido | (92) |
| Conjunto pedais | 2 | N/A | N/A | 1,400 X 10 ⁻¹ | 2,800 X 10 ⁻¹ | Plástico | (93) |
| Parafusos p/hastes | 2 | N/A | N/A | 5,780 X 10 ⁻³ | 1,156 X 10 ⁻² | Aço | (94) |
| 8. Sistema de descanço | | | | | | | |
| Descanço central | 1 | 7800 | 1,166 X 10 ⁻⁵ | N/A | 9,094 X 10 ⁻² | Aço | (61) |
| Parafuso | 2 | N/A | N/A | 1,336 X 10 ⁻² | 2,671 X 10 ⁻² | Aço | (95) |
| Casquilho | 2 | 8830 | 8,129 X 10 ⁻⁷ | N/A | 1,436 X 10 ⁻² | Cobre/Latão | (96) |

| Peça | Qty [pcs] | Densidade [kg/m ³] | Volume (unidade) [m ³] | Peso/unid. [kg] | Peso [kg] | CategoriaITF | Fonte |
|--|-----------|--------------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|-------|
| Anilhas Nylon | 6 | N/A | N/A | $6,000 \times 10^{-5}$ | $3,600 \times 10^{-4}$ | Outros | (97) |
| Mola | 1 | 7700 | $6,965 \times 10^{-8}$ | N/A | $5,363 \times 10^{-4}$ | Aço | (77) |
| Porca | 2 | N/A | N/A | $2,427 \times 10^{-3}$ | $4,854 \times 10^{-3}$ | Aço | (72) |
| 9. Sistema traseiro | | | | | | | |
| Estrutura traseira (7 componetes soldados) | 1 | 2700 | $2,076 \times 10^{-4}$ | N/A | $5,607 \times 10^{-1}$ | Alumínio extrudido | (73) |
| Suporte de cadeado | 2 | 7850 | $7,126 \times 10^{-6}$ | N/A | $1,119 \times 10^{-1}$ | Aço | (63) |
| Cadeado | 1 | N/A | N/A | $8,000 \times 10^{-1}$ | $8,000 \times 10^{-1}$ | Alumínio extrudido | (98) |
| Parafuso p/fix cadeado | 4 | N/A | N/A | $2,700 \times 10^{-3}$ | $1,080 \times 10^{-2}$ | Aço | (64) |
| Casquilhos fix motor | 4 | 8940 | $8,129 \times 10^{-7}$ | N/A | $2,907 \times 10^{-2}$ | Cobre/Latão | (88) |
| Parafusos | 4 | N/A | N/A | $2,410 \times 10^{-2}$ | $9,640 \times 10^{-2}$ | Aço | (87) |
| Anilha | 4 | N/A | N/A | $3,570 \times 10^{-3}$ | $1,428 \times 10^{-2}$ | Aço | (66) |
| Anilha pressão | 4 | N/A | N/A | $2,530 \times 10^{-3}$ | $1,012 \times 10^{-2}$ | Aço | (65) |
| Porca | 4 | N/A | N/A | $1,648 \times 10^{-2}$ | $6,591 \times 10^{-2}$ | Aço | (72) |
| Suporte tubo selim | 1 | 2700 | $7,754 \times 10^{-5}$ | N/A | $2,093 \times 10^{-1}$ | Alumínio extrudido | (73) |
| Parafuso | 4 | N/A | N/A | $4,900 \times 10^{-3}$ | $1,960 \times 10^{-2}$ | Aço | (87) |
| Porca | 4 | N/A | N/A | $2,427 \times 10^{-3}$ | $9,708 \times 10^{-3}$ | Aço | (72) |
| Anilha | 8 | N/A | N/A | $4,430 \times 10^{-4}$ | $3,544 \times 10^{-3}$ | Aço | (66) |
| Fecho tubo selim | 1 | 2700 | $2,413 \times 10^{-5}$ | N/A | $6,516 \times 10^{-2}$ | Alumínio fundido | (73) |
| Conjunto fecho pressão | 1 | N/A | N/A | $5,000 \times 10^{-2}$ | $5,000 \times 10^{-2}$ | Plástico | (89) |
| Para lamas traseiro | 1 | 1020 | $1,740 \times 10^{-4}$ | N/A | $1,775 \times 10^{-1}$ | Plástico | (70) |
| Hastes sup para lamas | 2 | 2700 | $7,200 \times 10^{-6}$ | N/A | $3,888 \times 10^{-2}$ | Alumínio extrudido | (73) |

| Peça | Qty [pcs] | Densidade [kg/m ³] | Volume (unidade) [m ³] | Peso/unid. [kg] | Peso [kg] | CategoriaITF | Fonte |
|---|-----------|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|-------|
| Rebites para fixar para lamas | 2 | N/A | N/A | 1,400 X 10 ⁻³ | 2,800 X 10 ⁻³ | Alumínio extrudido | (71) |
| Tampa lateral esquerda | 1 | 1020 | 8,887 X 10 ⁻⁵ | N/A | 9,065 X 10 ⁻² | Plástico | (70) |
| Tampa lateral corrente | 1 | 1020 | 2,007 X 10 ⁻⁴ | N/A | 2,047 X 10 ⁻¹ | Plástico | (70) |
| 10. Roda de trás | | | | | | | |
| Pneus 20*1,75 | 1 | N/A | N/A | 5,200 X 10 ⁻¹ | 5,200 X 10 ⁻¹ | Borracha | (58) |
| Camara de ar | 1 | N/A | N/A | 1,480 X 10 ⁻¹ | 1,480 X 10 ⁻¹ | Borracha | (59) |
| Aro | 1 | N/A | N/A | 3,280 X 10 ⁻¹ | 3,280 X 10 ⁻¹ | Alumínio extrudido | (60) |
| Raios | 1 | 7800 | 4,538 X 10 ⁻⁵ | N/A | 3,494 X 10 ⁻¹ | Aço | (61) |
| Caixa de velocidades | 1 | N/A | N/A | 1,730 | 1,730 | Aço | (99) |
| Carreto SG-C6001 Offset 10mm CLASSIC CYCLE Y599 (18 dentes) | 1 | 7700 | 1,534 X 10 ⁻⁵ | N/A | 1,181 X 10 ⁻¹ | Aço | (77) |
| Anilhas pressão | 2 | N/A | N/A | 2,530 X 10 ⁻³ | 5,060 X 10 ⁻³ | Aço | (65) |
| Porca | 2 | N/A | N/A | 2,010 X 10 ⁻² | 4,020 X 10 ⁻² | Aço | (67) |
| Corrente | 1 | N/A | N/A | 3,580 X 10 ⁻¹ | 3,580 X 10 ⁻¹ | Aço | (100) |
| 11. Selim | | | | | | | |
| Tubo selim | 1 | 8000 | 5,405 X 10 ⁻⁵ | N/A | 4,324 X 10 ⁻¹ | Aço inoxidável | (101) |
| Parafuso | 1 | N/A | N/A | 3,500 X 10 ⁻³ | 3,500 X 10 ⁻³ | Aço | (87) |
| Anilha | 1 | N/A | N/A | 1,020 X 10 ⁻³ | 1,020 X 10 ⁻³ | Aço | (66) |
| Suporte selim | 1 | 2700 | 5,098 X 10 ⁻⁵ | N/A | 1,377 X 10 ⁻¹ | Alumínio extrudido | (73) |
| Placa aperto selim | 1 | 2700 | 2,091 X 10 ⁻⁵ | N/A | 5,647 X 10 ⁻² | Alumínio extrudido | (73) |
| Selim | 1 | N/A | N/A | 4,580 X 10 ⁻¹ | 4,580 X 10 ⁻¹ | Outros | (102) |
| Parafuso | 2 | N/A | N/A | 4,000 X 10 ⁻³ | 8,000 X 10 ⁻³ | Aço | (64) |

| Peça | Qty [pcs] | Densidade [kg/m ³] | Volume (unidade) [m ³] | Peso/unid. [kg] | Peso [kg] | CategoriaITF | Fonte |
|------------------------------------|-----------|--------------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|-------|
| Porca | 2 | N/A | N/A | $2,427 \times 10^{-3}$ | $4,854 \times 10^{-3}$ | Aço | (72) |
| 12. Suporte de bagagem | | | | | | | |
| Peça 1 (parte da frente) | 1 | 2700 | $6,539 \times 10^{-5}$ | N/A | $1,766 \times 10^{-1}$ | Alumínio extrudido | (73) |
| Peça 2 (parte de trás) | 1 | 2700 | $7,943 \times 10^{-5}$ | N/A | $2,145 \times 10^{-1}$ | Alumínio extrudido | (73) |
| Peça 3 (base frente) | 1 | 2700 | $4,045 \times 10^{-5}$ | N/A | $1,092 \times 10^{-1}$ | Alumínio extrudido | (73) |
| Peça 4 (base trás) | 1 | 2700 | $4,465 \times 10^{-5}$ | N/A | $1,206 \times 10^{-1}$ | Alumínio extrudido | (73) |
| Dobradiças (2 dobradiças laterais) | 2 | 7700 | $6,093 \times 10^{-6}$ | N/A | $9,383 \times 10^{-2}$ | Aço | (77) |
| Porca | 2 | N/A | N/A | $2,010 \times 10^{-2}$ | $4,020 \times 10^{-2}$ | Aço | (67) |
| 13. Sistema de iluminação | | | | | | | |
| Iluminação frontal | 2 | N/A | N/A | $3,500 \times 10^{-1}$ | $7,000 \times 10^{-1}$ | Plástico | (103) |
| Iluminação traseira | 1 | N/A | N/A | $3,500 \times 10^{-1}$ | $3,500 \times 10^{-1}$ | Plástico | (104) |
| Cabos | 1 | N/A | N/A | $2,000 \times 10^{-1}$ | $2,000 \times 10^{-1}$ | Cobre/Latão | * |
| 14. Sistema eletrônico | | | | | | | |
| Placa | 1 | N/A | N/A | $2,500 \times 10^{-1}$ | $2,500 \times 10^{-1}$ | Outros | * |
| Cabos motor | 1 | N/A | N/A | $4,500 \times 10^{-1}$ | $4,500 \times 10^{-1}$ | Cobre/Latão | * |
| Cabos bateria | 1 | N/A | N/A | $4,000 \times 10^{-1}$ | $4,000 \times 10^{-1}$ | Cobre/Latão | * |

*Dados definidos pelo autor