

# **Pegada Carbónica na Cadeia de Valor da Indústria Automóvel**

## **Estágio curricular na empresa ACI Portugal**

**Inês Marques Figueiredo**

Relatório de Estágio para obtenção do Grau de Mestre em  
**Química Industrial**  
(2º ciclo de estudos)

Orientador Científico: Prof. Doutor Paulo Jorge da Silva Almeida  
Orientador Interno: Eng. Edgar Tavares de Sousa Graça Alexandre

**junho de 2023**



## **Declaração de Integridade**

Eu, Inês Marques Figueiredo, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição M11563 de Química Industrial da Faculdade de Ciências, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridades da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referência de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 11 /06 /2023

Inês Marques Figueiredo



# Agradecimentos

Agradeço, em primeiro lugar, ao meu orientador científico, Prof. Dr. Paulo Almeida, por todo o apoio e orientação proporcionado, não só durante a realização deste trabalho, como também ao longo de todo o meu percurso académico. Ao meu orientador interno, Eng. Edgar Alexandre, agradeço todos os conselhos e confiança que depositou em mim para desenvolver este tema, e ao Eng. Luís Poço por todo o conhecimento transmitido, toda a paciência, ajuda e todos os bons momentos partilhados ao longo do meu estágio curricular. Gostaria, também, de agradecer à entidade de acolhimento do meu estágio, ACI Portugal, e a toda a sua equipa pela excelente oportunidade que me foi proporcionada, por toda a ajuda e simpatia.

À minha família, com um agradecimento especial aos meus pais, que me acompanharam, com muito orgulho, nesta etapa e em todas as minhas pequenas conquistas, acreditando sempre nas minhas capacidades, incentivando-me a manter a cabeça erguida, mesmo nos momentos difíceis, e a fazer sempre mais e melhor com honestidade e rigor. Agradeço, igualmente, aos meus padrinhos, à Vera, ao Venâncio, aos meus tios, avós e primos, e todos os outros familiares que sempre celebraram, com o mesmo orgulho e entusiasmo, todas as metas que fui alcançando ao longo destes anos de trabalho árduo.

A todas as amigas que fui fazendo durante a minha estadia na linda cidade da Covilhã, obrigada por todo o apoio e companhia quer nos momentos mais sérios, de intenso estudo e trabalho, quer nos momentos mais descontraídos, sempre com muitas risadas e boas memórias. Agradeço, também, aos amigos que trago do meu Alentejo que, mesmo longe, estiveram sempre ao meu lado, partilhando a minha felicidade em todas as conquistas durante os meus cinco anos de universidade. Por último, mas não menos importante, um sincero bem-haja à família que criei na cidade-neve, especialmente ao meu namorado, à minha madrinha de curso e à Inês que sempre foram incansáveis comigo, ajudando-me a ultrapassar todos os momentos difíceis e a celebrar nos momentos de maior felicidade.



# Resumo

Como consequência da crise ambiental que o nosso planeta enfrenta, há uma necessidade crescente de tornar a indústria uma atividade mais sustentável, reduzindo a pegada carbónica associada às suas atividades e, assim, atingir objetivos, como a neutralidade carbónica, incentivados por várias políticas ambientais.

Deste modo, o presente relatório de estágio tem como objetivo efetuar o levantamento da situação atual da pegada carbónica de uma empresa da indústria automóvel, a *Automotive Compounding Industry Portugal*, para, posteriormente, estudar e implementar estratégias que contribuam positivamente para a redução da pegada carbónica. Os cálculos para a pegada carbónica foram efetuados tanto ao nível das atividades gerais efetuadas como ao nível dos produtos fabricados na ACI Portugal.

Os resultados obtidos demonstram que, para as atividades gerais efetuadas nesta empresa, as emissões de CO<sub>2</sub> por si geradas são bastante elevadas, tendo-se observado um aumento significativo das emissões de CO<sub>2</sub> geradas em 2022, comparativamente ao ano 2021. Quanto aos produtos fabricados, a análise foi efetuada em relação aos valores médios obtidos para cada família de produtos, estando estes entre os 1,9323 kg CO<sub>2</sub>/kg produto e os 2,8452 kg CO<sub>2</sub>/kg produto. Os valores obtidos poderão ser reduzidos através da implementação de medidas que contribuam para a redução da pegada carbónica. Algumas estratégias de redução da pegada carbónica já se encontram em fase de implementação na ACI Portugal, tanto para as atividades gerais associadas aos processos como para os produtos fabricados, tendo apresentado claras vantagens para a redução das emissões de CO<sub>2</sub>.

Num próximo passo, a ACI Portugal deverá continuar a implementar estratégias para a redução da pegada carbónica, de modo a alcançar o objetivo da neutralidade carbónica. Adicionalmente, seria de extrema importância expandir todo este procedimento às restantes fábricas do grupo, contribuindo globalmente para a prevenção e mitigação das alterações climáticas e aquecimento global.

## **Palavras-chave**

Pegada carbónica; indústria automóvel; polímeros; sustentabilidade; economia circular.



# Abstract

As a consequence of the environmental crisis our planet is facing, there is a growing need to make the industry a more sustainable activity, reducing the carbon footprint associated with its activities and thus achieve goals such as carbon neutrality, encouraged by various environmental policies.

Therefore, this internship report aims to make a survey of the current situation of the carbon footprint of a company in the automotive industry, Automotive Compounding Industry Portugal, to subsequently study and implement strategies that contribute positively to reduce the carbon footprint. The calculations for the carbon footprint were made both at the level of the plant general activities and at the level of products manufactured at ACI Portugal.

The results obtained show that, for the general activities carried out in this company, the CO<sub>2</sub> emissions generated by it are quite high, having been observed a significant increase in CO<sub>2</sub> emissions generated in 2022, compared to the year 2021. As for the manufactured products, the analysis was carried out in relation to the average values obtained for each family of products, which are between 1.9323 kg CO<sub>2</sub>/kg product and 2.8452 kg CO<sub>2</sub>/kg product. The values obtained could be reduced through the implementation of measures that contribute to the reduction of the carbon footprint. Some carbon footprint reduction strategies are already being implemented at ACI Portugal, both for the general process-related activities and manufactured products and have shown clear advantages for the reduction of CO<sub>2</sub> emissions.

In a next step, ACI Portugal should continue to implement carbon footprint reduction strategies in order to achieve the goal of carbon neutrality. Additionally, it would be of utmost importance to expand this procedure to the other factories of the group, contributing globally to the prevention and mitigation of climate change and global warming.

# **Keywords**

Carbon footprint; automotive industry; polymers; sustainability; circular economy.



# Índice

1.	Preâmbulo .....	1
1.1.	A empresa.....	1
1.2.	Produtos fabricados .....	2
1.3.	Processos produtivos.....	3
2.	Objetivos .....	8
3.	Introdução teórica.....	9
3.1.	Pegada carbónica.....	9
3.1.1.	Análise do Ciclo de Vida .....	9
3.1.2.	Sustentabilidade .....	10
3.1.3.	Economia Circular .....	11
3.2.	Alterações climáticas – políticas, objetivos e metas globais .....	12
3.2.1.	Acordo de Paris.....	12
3.2.2.	Roteiro para a neutralidade carbónica .....	13
3.3.	Indústria Automóvel .....	14
3.3.1.	Materiais de isolamento para a cablagem .....	15
3.3.2.	Estratégias de redução dos impactos ambientais na indústria automóvel.....	18
3.3.3.	Estratégias de redução dos impactos ambientais para os polímeros .....	19
4.	Metodologias utilizadas.....	25
4.1.	ISO 14060.....	25
4.2.	GHG <i>Protocol</i> .....	25
4.3.	Calculadoras de emissões de CO <sub>2</sub> .....	26

5.	Análise e interpretação dos resultados .....	27
5.1.	Levantamento da situação atual da pegada carbónica.....	27
5.1.1.	Emissões de CO2 das atividades gerais da empresa.....	27
5.1.2.	Pegada carbónica dos produtos.....	33
5.2.	Estratégias e ações de redução da pegada carbónica .....	38
6.	Conclusões e perspectivas futuras .....	42
7.	Referências Bibliográficas.....	44
8.	Anexos.....	47
	Anexo 1 .....	48
	Anexo 2.....	49
	Anexo 3.....	50



# Lista de Figuras

Figura 1: Dosificador gravimétrico utilizado no processo produtivo de referências da família dos compostos de PE e PP. ....	4
Figura 2: Extrusora utilizada no processo produtivo de referências da família dos compostos de PE e PP. ....	5
Figura 3: Extrusora utilizada no processo produtivo de referências da família dos compostos de PVC. ....	6
Figura 4: Distribuição por tamanhos do granulado obtido nos processos produtivos de referências das famílias dos compostos de PE, PP e PVC. ....	6
Figura 5: Processo produtivo de referências da família de compostos SIR. ....	7



# Lista de Tabelas

Tabela 1: Consumo de eletricidade, nos anos de 2021 e 2022, e respetivas emissões de CO <sub>2</sub> geradas. ....	27
Tabela 2: Viagens efetuadas pela frota da empresa, nos anos de 2021 e 2022, e respetivas emissões de CO <sub>2</sub> geradas. ....	28
Tabela 3: Consumo de água, nos anos de 2021 e 2022, e respetivas emissões de CO <sub>2</sub> geradas. ....	29
Tabela 4: Quantidade de resíduos recicláveis gerados, nos anos de 2021 e 2022, e respetivas emissões de CO <sub>2</sub> associadas ao seu manuseamento. ....	30
Tabela 5: Quantidade de resíduos não recicláveis gerados, nos anos de 2021 e 2022, e respetivas emissões de CO <sub>2</sub> associadas ao seu manuseamento. ....	30
Tabela 6: Viagens efetuadas de táxi, nos anos de 2021 e 2022, e respetivas emissões de CO <sub>2</sub> geradas. ....	31
Tabela 7: Viagens efetuadas de avião, nos anos de 2021 e 2022, e respetivas emissões de CO <sub>2</sub> geradas. ....	31
Tabela 8: Estadias em hotéis, nos anos de 2021 e 2022, e respetivas emissões de CO <sub>2</sub> geradas. ....	32
Tabela 9: Média da pegada carbónica de produto (PCF) total, associada às várias famílias de produtos da ACI Portugal, pegada carbónica de produto associada a cada secção e respetivas percentagens. ....	36



# Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos

ACI	<i>Automotive Compounding Industry</i>
ACV	Análise do Ciclo de Vida
ADC	<i>Administrative Distribution Centre</i>
COP 21	<i>Conference of Parties 21</i>
GEE	Gases com Efeito de Estufa
GHG	<i>Greenhouse Gas</i> (Gases com efeito de estufa)
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LED	<i>Light Emitting Diodes</i> (Díodo Emissor de Luz)
NDC	<i>Nationally Determined Contributions</i>
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
PE	Polietileno
PP	Polipropileno
PVC	Policloreto de vinilo ( <i>Polivinyll Chloride</i> )
RNC	Roteiro da Neutralidade Carbónica

SIR	Silicone
TPE	Elastómero termoplástico ( <i>Thermoplastic elastomer</i> )
UE	União Europeia
XLPE	Polietileno reticulado ( <i>Cross-linked polyethylene</i> )



# 1. Preâmbulo

O presente relatório é resultante do estágio curricular para a obtenção do grau de mestre no Mestrado em Química Industrial, da Universidade da Beira Interior. O estágio curricular decorreu na empresa ACI – *Automotive Compounding Industry*, entre os meses de setembro de 2022 e abril de 2023. A realização deste estágio curricular teve como principal propósito possibilitar o alcance de uma maior consciencialização da importância da monitorização da pegada carbónica para a redução das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) e, conseqüentemente, prevenir o aquecimento global e mitigar as alterações climáticas, através da manutenção e limitação da temperatura média mundial.

Este relatório de estágio encontra-se dividido em seis partes. A primeira parte é relativa à caracterização da empresa; a segunda destina-se à apresentação dos objetivos definidos para a realização do estágio; na terceira faz-se uma introdução teórica, onde são abordados temas importantes para uma melhor compreensão do trabalho executado no estágio; a quarta parte é referente aos métodos e procedimentos utilizados para o alcance dos respetivos objetivos; a quinta parte consiste na apresentação e conseqüente interpretação dos resultados obtidos e, por fim, a sexta e última parte é destinada a uma breve conclusão sobre todo o trabalho desenvolvido durante este estágio curricular.

## 1.1. A empresa

A ACI, *Automotive Compounding Industry*, pertencente ao grupo Perplastic, foca-se na produção de compostos poliméricos de policloreto de vinilo, poliolefinas (especialmente polietileno e polipropileno) e silicone, para o revestimento dos fios e cabos da indústria automóvel.

A ACI instalou-se na Guarda, em 2011, pela proximidade e exigência do seu principal cliente – COFICAB. Esta proximidade geográfica traz várias vantagens logísticas a nível de stocks, como a possibilidade da realização de entregas de produto diárias, parcerias ao nível de novos desenvolvimentos de compostos e maior eficiência no serviço ao cliente. Atualmente, possui duas linhas de produção de poliolefinas, uma linha de produção de polietileno reticulado (XLPE), uma linha de policloreto de vinilo (PVC) e duas de silicone.

Em 2015, a ACI expandiu-se internacionalmente, com a abertura de uma nova fábrica no México onde, inicialmente, apenas se processava compostos de PVC tendo sido posteriormente introduzidas linhas de poliolefinas e, em 2022, uma linha de silicone. Esta instalação foi feita de modo a aumentar a capacidade para o fornecimento dos clientes com unidades produtivas no México, permitindo também um serviço ao cliente mais eficiente e, adicionalmente, aumentar a proximidade aos fornecedores de matérias-primas.

Prevê-se a expansão do grupo, em 2023/2024, para outras regiões do mundo como:

- Roménia, com o intuito de fornecer o mercado leste e centro europeu. Apesar de já existir uma unidade produtiva do grupo Perplastic com linhas de compostos de PVC e um Centro de Distribuição Administrativo, *Administrative Distribution Centre* (ADC), para o fornecimento de compostos de poliolefinas, provenientes da ACI Portugal, pretende-se instalar uma linha de produção de compostos de poliolefinas para facilitar o serviço ao cliente das fábricas na Roménia.
- Tunísia, onde também já existe uma fábrica do grupo Perplastic e, devido à grande oferta de mão-de-obra, estão instaladas muitas indústrias de cablagens. Apesar de haver envio direto de poliolefinas da ACI Portugal para essas indústrias, já está localizada uma linha de produção de compostos de poliolefinas e outra de silicone, por questões logísticas e de serviço ao cliente.
- China, apesar de estar sediado um ADC, desde 2015, para o fornecimento de todos os produtos (provenientes da ACI Portugal) às fábricas localizadas na região, a instalação de uma fábrica nesta zona do mundo traz vantagens a nível logístico, de melhor serviço ao cliente e disponibilidade de matérias-primas.

Assim, com estas cinco unidades produtivas, é possível fornecer todos os continentes do mundo, tornando o fornecimento de produtos mais eficiente e mais benéfico a nível da pegada carbónica.

## 1.2. Produtos fabricados

Atualmente, a ACI Portugal fabrica mais de 100 referências de compostos isolantes diferentes. Estas estão divididas em quatro principais famílias, cada uma com propriedades e características mais adequadas para certas aplicações:

- **Polietileno (PE)**, os compostos de polietileno produzidos na ACI são, maioritariamente, compostos de polietileno reticulado (XLPE), este é obtido através de um processo que torna o polietileno, tradicionalmente termoplástico, em termoendurecido, aumentando a sua rigidez, resistência térmica e outras propriedades mecânicas. Os compostos de polietileno reticulado são concebidos para operar nas classes de temperatura T3 (-40°C a 125°C) e T4 (-40°C a 150°C). Os fios e cabos revestidos com compostos de XLPE têm propriedades excelentes de resistência dielétrica e de isolamento e, também, um baixo fator de dissipação em todas as frequências, o que torna este polímero um isolante ideal para cabos de alta transmissão de dados. Tal como já referido, os XLPE são polímeros termoendurecidos e, por isso, quando sujeitos a calor e pressão, não amolecem, nem fluem ou distorcem deformam. Na ACI são produzidas referências de compostos XLPE adequadas

para aplicações em fios e cabos para aplicação automóvel de dados e sensores, cabos de energia e, também, cabos de dados.

- **Polipropileno (PP)**, os compostos de polipropileno são produzidos com o objetivo de operar com a classe de temperatura T3 (-40°C a 125°C). Devido à excelente resistência química e propriedades mecânicas avançadas, os compostos de polipropileno são facilmente processados. Este polímero, em combinação com certos aditivos, normalmente halogéneos devido às suas propriedades retardantes de chama, cumpre com requisitos rigorosos de combustibilidade. Devido à toxicidade dos gases gerados pela combustão dos compostos de halogéneo, a ACI produz, adicionalmente, referências de compostos de PP não halogenadas. As referências de compostos de PP produzidas na ACI são adequadas para produção de fios e cabos simples e de dados para o ramo automóvel.
- **Policloreto de vinilo (PVC)**, os compostos de policloreto de vinilo têm a capacidade de atingir temperaturas da classe T2 (-40°C a 105°C) e T3 (-40°C a 125°C). Embora o PVC seja um polímero duro e rígido, quando trabalhado em conjunto com plastificantes, estabilizantes, lubrificantes e vários outros aditivos, é possível ser modificado de modo a obter as características de flexibilidade desejadas, cumprindo várias normas internacionais. Os compostos de PVC apresentam elevada resistência a uma vasta gama de compostos químicos, são também resistentes à abrasão e à chama. Na ACI, as referências de compostos de PVC produzidas podem ser utilizadas para a produção de fios e cabos simples para o ramo automóvel, cabos de energia e, também cabos de dados.
- **Silicone (SIR)**, os compostos de silicone fabricados na ACI têm o objetivo de trabalhar a temperaturas da classe T6 (-40°C a 200°C). O silicone tem uma elevada procura para a produção de cabos de bateria para a indústria automóvel devido às suas excelentes propriedades de flexibilidade, mesmo a baixas temperaturas. O silicone, com as suas propriedades físicas e mecânicas excecionais, para além da sua elevada resistência química, tem a capacidade de resistir eficazmente aos fatores de envelhecimento. As referências de compostos de silicone produzidas na ACI são maioritariamente utilizadas para aplicações automóveis, em cabos simples essencialmente de bateria, mas, também, em cabos de energia aplicáveis em eletrodomésticos.

### **1.3. Processos produtivos**

Para fabricar referências de famílias de diferentes compostos, é necessário recorrer a processos de produção distintos, de modo a respeitar as propriedades e características dos vários materiais que entram na composição das referências das diferentes famílias. Para uma melhor compreensão dos processos produtivos utilizados na ACI Portugal para o

fabrico das suas referências, segue uma breve descrição dos processos utilizados para a produção de referências de polietileno, polipropileno, policloreto de vinilo e silicone.

As referências de compostos à base de PE e PP como pertencem à família das poliolefinas, têm um processo produtivo muito semelhante, sendo que a única diferença na fabricação de cada uma destas famílias de produtos são as matérias-primas utilizadas, que lhes concedem propriedades distintas. Num primeiro momento, são selecionadas as matérias-primas a serem utilizadas na formulação da referência em produção. Estas matérias-primas são divididas entre três categorias de alimentação: aditivos, cargas e polímeros, que, posteriormente, são inseridas no fuso coletor da extrusora através de um dosificador gravimétrico, seguindo a ordem ditada pela instrução técnica relativa à produção da referência específica. No fuso coletor, à medida que os materiais são inseridos pelo dosificador gravimétrico, vai sendo efetuada a mistura e fusão das matérias-primas.



**Figura 1:** Dosificador gravimétrico utilizado no processo produtivo de referências da família dos compostos de PE e PP.

Depois de todas as matérias-primas serem introduzidas no fuso e estarem homogeneamente misturadas, a mistura é arrastada pelo fuso até alcançar o fim da extrusora, onde, por meio da pressão gerada pela ação giratória do fuso, a mistura é forçada a passar através da fiação de extrusão. À medida que o material vai sendo extrudido, este é cortado pela ação de lâminas a alta velocidade, de modo a obter o formato granulado desejado e uniforme. Por último, o granulado é arrefecido, distribuído por tamanhos e, após ser verificado se este cumpre os requisitos de qualidade estipulados pelo cliente, embalado para expedição.



**Figura 2:** Extrusora utilizada no processo produtivo de referências da família dos compostos de PE e PP.

O processo produtivo para as referências de policloreto de vinilo baseia-se num processo semelhante ao utilizado para a fabricação das referências das famílias do polietileno e polipropileno. À semelhança do processo anterior, em primeiro lugar são escolhidas as matérias-primas a serem utilizadas na formulação da referência em produção. Neste caso, as matérias-primas são todas inseridas no mesmo posto de alimentação (não havendo, como acontece no processo das poliolefinas, divisão por categorias), sendo que poderão ser alimentadas ao processo por ação manual ou automática, dependendo das características das matérias-primas a serem utilizadas. A mistura das matérias-primas é inserida, através do posto de alimentação, numa misturadora, denominada de *turbo-mixer*, onde é efetuada a mistura dos vários componentes. Quando todas as matérias-primas se encontram numa mistura homogênea, esta é transportada para um refrigerador, de modo a reduzir ligeiramente a temperatura da mistura, evitando a degradação térmica dos componentes presentes na mesma. Após este arrefecimento ligeiro, a mistura é introduzida num silo que a vai dosificando para o fuso coletor da extrusora e, posteriormente, a mistura é arrastada até alcançar o fim da extrusora, onde, por meio da pressão gerada pela ação giratória do fuso, a mistura é forçada a passar através da feira de extrusão.



**Figura 3:** Extrusora utilizada no processo produtivo de referências da família dos compostos de PVC.

À medida que o material vai sendo extrudido, este é cortado pela ação de lâminas a alta velocidade, de modo a obter o formato granulado desejado. Por último, o granulado é arrefecido, distribuído por tamanhos e, após ser verificado se este cumpre os requisitos de qualidade estipulados, é embalado para expedição.



**Figura 4:** Distribuição por tamanhos do granulado obtido nos processos produtivos de referências das famílias dos compostos de PE, PP e PVC.

Para a produção das referências da família do silicone, o processo tem algumas diferenças significativas em relação aos processos efetuados para as restantes famílias de produtos já apresentados. Primeiramente, são selecionadas e, quando aplicável, pesadas, as matérias-primas consoante a formulação a produzir. As matérias-primas são inseridas, nas devidas quantidades, no misturador, sendo que, ao contrário dos restantes processos já apresentados, neste caso, as matérias-primas vão sendo introduzidas uma a uma no misturador, numa ordem sequencial específica, e misturadas umas com as outras em fases diferentes. Este processo dá-se a uma temperatura bastante mais baixa que os restantes processos, de modo a manter as propriedades dos materiais utilizados e evitando ao máximo a degradação do silicone. Após todas as matérias-primas terem sido introduzidas e misturadas homogeneamente, o material é empurrado por uma fieira e, à medida que vai

sendo extrudido, é imediatamente embrulhado numa película plástica para que evitar que adira às superfícies ou a ele próprio. Por último, o material é colocado em caixas de tampo aberto para que possa sofrer a maturação e, posteriormente, é embalado em caixas específicas para manter a baixa temperatura e, assim, evitar que o silicone vulcanize.



**Figura 5:** Processo produtivo de referências da família de compostos SIR.

## 2. Objetivos

O presente relatório de estágio tem como principal objetivo efetuar o levantamento da situação atual da pegada carbónica da empresa ACI - *Automotive Compounding Industry*, Portugal, determinando este parâmetro não só para todos os produtos fabricados na ACI Portugal, mas também para as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) geradas pelas atividades gerais desta empresa. Após ser efetuado o levantamento da situação da pegada carbónica na ACI Portugal, é igualmente objetivo estudar estratégias e ações para a redução da pegada carbónica e, posteriormente, implementá-las, analisando a sua eficácia na redução das emissões de CO<sub>2</sub> da fábrica, dos seus processos e produtos, no consumo de recursos de fontes renováveis e não renováveis e, também, dos desperdícios e resíduos gerados. Ao trabalhar para a economia circular e desenvolvimento sustentável, pretende-se atingir os objetivos de neutralidade carbónica estipulados em políticas ambientais nacionais, como o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 – RNC2050, e internacionais, como o Acordo de Paris.

## **3. Introdução teórica**

### **3.1. Pegada carbónica**

A pegada carbónica pode ser definida como uma medida da quantidade total de emissões de dióxido de carbono causadas direta e indiretamente pela atividade acumulada de um produto ao longo das suas fases de vida, sendo que este conceito também pode ser aplicado em relação às atividades realizadas por organizações, empresas, indústrias, entre outros. Esta expressão está cada vez mais presente na nossa sociedade, principalmente devido à sua importância no combate ao aquecimento global e alterações climáticas, onde a sua redução é imperativa para atingir os objetivos desejados de redução das emissões de CO<sub>2</sub> e outros gases com efeito de estufa (Durojaye et al., 2020; Shi and Yin, 2021).

Enquanto importante indicador do efeito dos comportamentos humanos no ambiente, a pegada carbónica proporciona-nos uma forma de analisar como implementar e promover o desenvolvimento sustentável e, para além disso, também é de extrema importância para o estudo de ações de redução das emissões de CO<sub>2</sub>, permitindo compreender como é que determinadas estratégias de redução se comportam nas indústrias, empresas e organizações onde são implementadas. De modo a atingir a redução da pegada carbónica, devem ser implementadas determinadas estratégias que a auxiliem como, por exemplo, a economia circular e os modelos de sustentabilidade. Adicionalmente, é fundamental realizar medições e análises frequentes à pegada carbónica, através de técnicas como a análise do ciclo de vida (ACV). Neste tópico, a fim de compreender a importância da pegada carbónica, serão abordadas com mais profundidade tanto a ferramenta de análise do ciclo de vida como também as estratégias de sustentabilidade e economia circular (Durojaye et al., 2020; Shi and Yin, 2021).

#### **3.1.1. Análise do Ciclo de Vida**

A análise do ciclo de vida (ACV) é uma ferramenta muito útil para a medição da pegada de carbono de um determinado produto (Alsabri and Al-Ghamdi, 2020), fazendo uma análise completa a todo o seu ciclo de vida, incluindo a extração e seleção de matérias-primas, processos de fabrico, transporte, operação, utilização, manutenção, reciclagem e eliminação na fase final do ciclo de vida (Hirz and Nguyen, 2022; Li et al., 2022). É também um processo significativo para avaliar e quantificar os impactos ambientais de qualquer tipo de produto. De acordo com estudos recentes, este processo foi utilizado para avaliar os impactos ambientais de vários tipos de polímeros (Alsabri and Al-Ghamdi, 2020; Naffin et al., 2023). Os métodos baseados na análise do ciclo de vida são, também, comumente

utilizados para a avaliação do desempenho da economia circular e como instrumentos de avaliação de fornecedores (Aguilar Esteva et al., 2021; Naffin et al., 2023).

Na indústria automóvel, os processos de análise de ciclo de vida são normalmente aplicados de acordo com as normas ISO 14040 e ISO 14044. A análise de ciclo de vida procede-se em quatro principais etapas, sendo elas: definição dos objetivos e do âmbito do estudo (o âmbito depende do objetivo do estudo, deve ser feita uma descrição do produto, definição da unidade funcional e dos limites e condições do sistema); análise do inventário (devem ser enumerados todos os *inputs* e *outputs* relativos ao sistema em causa, por exemplo, matérias-primas, água e energia utilizadas no processo produtivo); avaliação do impacto (todos os *inputs* e *outputs* enumerados e descritos na fase anterior são avaliados em termos de impacto, através de fatores de impacto e indicadores de desempenho) e interpretação (os resultados são resumidos e discutidos de modo a retirar conclusões e recomendações relevantes para a tomada de decisões acerca do produto em causa) (Hirz and Nguyen, 2022; ISO, 2006a, b).

### **3.1.2. Sustentabilidade**

A sustentabilidade apresenta-se como um novo propósito crítico para as empresas e países onde operam e uma questão estratégica para organizações individuais e cadeias de fornecimento, contribuindo para a satisfação das necessidades humanas e preservando o ambiente para as gerações presentes e futuras (Salvado et al., 2015). Em 2015, as Nações Unidas validaram a Agenda para o Desenvolvimento Sustentável de 2030 e os seus 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). As alterações climáticas e a degradação ambiental têm vindo a afetar o nosso planeta e todas as suas comunidades. Assim, devido ao âmbito global desta agenda, todos os países estão incluídos de modo a atingirmos, conjuntamente, um modelo de desenvolvimento mais sustentável, que inclua medidas não só de combate às alterações climáticas, mas também medidas sociais e económicas como a redução do desemprego e a promoção da igualdade de género. Este modelo requer um equilíbrio do crescimento económico, equidade social e gestão ambiental uma vez que as decisões tomadas em qualquer uma destas áreas terão impacto nos resultados das outras (Gupta and Patel, 2022).

Na indústria automóvel, a sustentabilidade pode ser mais complexa e difícil de alcançar, comparando com outros setores transformadores, uma vez que esta indústria e os seus produtos têm um impacto significativo no ambiente devido não só aos componentes utilizados na montagem dos automóveis, mas também ao consumo intensivo de recursos para a fabricação dos diversos componentes que os constituem e todo o desperdício gerado neste processo (Khan et al., 2022). Assim, e caminhando no sentido da sustentabilidade, as empresas estão a mudar de uma perspetiva económica pura para uma perspetiva que inclui

um desenvolvimento mais sustentável, acrescentando preocupações económicas, sociais e ambientais às suas operações comerciais, que são as três dimensões associadas ao desenvolvimento sustentável (Vaz et al., 2017). Este conceito também evoluiu para ser aplicado a uma perspetiva global da cadeia de fornecimento, potenciando também o desenvolvimento e utilização de novas tecnologias e modelos económicos, sendo crucial para aumentar a eficácia organizacional, a competitividade, o serviço ao cliente e a rentabilidade, influenciando o desenvolvimento empresarial sustentável (Gupta and Patel, 2022; Khan et al., 2022; Salvado et al., 2015).

A medição da sustentabilidade é um motor para a sua inclusão como uma questão importante no processo de tomada de decisão e na atividade do sistema de organização. A classificação da sustentabilidade pode ser realizada através de um índice ou de um conjunto de indicadores (Salvado et al., 2015). Estes indicadores são reconhecidos como ferramentas úteis para avaliar e antecipar o desempenho e tendências da produção, fornecendo informação de alerta precoce e ajudando a evitar danos ambientais, económicos e sociais. A monitorização do nível de sustentabilidade tornou-se uma parte determinante do apoio à decisão em qualquer sistema de gestão. A unidade de medida utilizada para a sustentabilidade não é relevante, uma vez que a sua função é a mesma, nomeadamente ajudar a tomar decisões responsáveis para avaliar o desempenho da empresa em termos de sustentabilidade, bem como fornecer informações que permitam o planeamento futuro (Salvado et al., 2015).

### **3.1.3. Economia Circular**

A economia circular é um conceito que tem despertado o interesse crescente das empresas de várias indústrias, incluindo a automóvel, por se apresentar como um conceito promissor para melhorar a sustentabilidade e o potencial económico, auxiliando a passagem de um consumo linear para um consumo circular (Kayikci et al., 2021; Khan et al., 2022). O conceito de economia circular é definido como uma estratégia que procura reinventar o crescimento económico, fechando os ciclos e fluxos de materiais e energia ao longo da produção, contrariando o atual paradigma industrial de *take-make-waste*, dando oportunidade a prolongar a vida de um produto, facilitando a sua refabricação e reutilização. Aproveitando as energias renováveis e os materiais reciclados, as estratégias da economia circular podem, para além de reduzir o consumo de recursos já estipulado por esta estratégia, ajudar a reduzir as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) ao longo do ciclo de vida (Aguilar Esteva et al., 2021; Gupta and Patel, 2022; Kayikci et al., 2021).

É importante realçar que a economia circular contribui largamente quer para a realização dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), principalmente os objetivos relativos à água potável e o seu saneamento e ao consumo e produção responsáveis, quer para atingir

objetivos específicos da União Europeia como o de um ambiente livre de substâncias tóxicas. Adicionalmente, é de realçar que, ao integrar a economia circular com a sustentabilidade, denominando-se economia circular sustentável, é possível alcançar muitos impactos benéficos, tais como a recuperação de energia, eficiência de recursos, crescimento económico contínuo, consumo sustentado e circularidade a nível macro (Kayikci et al., 2021; van Bruggen et al., 2022).

No setor automóvel, a ideia de economia circular ainda está em evolução, com o objetivo de transformar esta indústria no sentido do desenvolvimento de componentes de veículos através da reciclagem de produtos e materiais, permitindo a sua reutilização e, consequentemente, redução do desperdício gerado (Khan et al., 2022). Outras estratégias de economia circular podem ser aplicadas, de modo a atingir um desenvolvimento sustentável, tais como a utilização de combustíveis de queima mais limpa, a alteração de vários tipos de lâmpadas para Díodos Emissores de Luz, *Light Emitting Diodes* (LED), utilização de energias renováveis e redução da utilização de água como consequência da sua reciclagem e tratamento na fábrica (Aguilar Esteva et al., 2021). A implementação de estratégias de economia circular vai promover o crescimento do capital económico, natural e social através da dissociação gradual do consumo de recursos não renováveis, favorecendo logicamente o uso de recursos renováveis e a eliminação de desperdícios através da reutilização de materiais já existentes no nosso planeta (Gupta and Patel, 2022). Para garantir que a economia circular apresenta benefícios ambientais, é necessário avaliar a sua eficácia através de ferramentas de análise de ciclo de vida, de modo a determinar que estratégias geram maiores reduções nas emissões de GEE e de utilização de recursos e, consequentemente, auxiliar na tomada de decisões em relação a cada estratégia em implementação (Aguilar Esteva et al., 2021).

### **3.2. Alterações climáticas – políticas, objetivos e metas globais**

De modo a prevenir o aquecimento global e mitigar as alterações climáticas, é necessário que sejam estabelecidas políticas, objetivos e metas claras e concisas sobre como deverá ser controlada e reduzida a pegada carbónica e as emissões de dióxido de carbono de cada país, com o objetivo de reduzir as emissões de gases com efeito de estufa e incentivar modelos de gestão ambiental como a economia circular e a sustentabilidade.

#### **3.2.1. Acordo de Paris**

O Acordo de Paris, adotado em 2015, resultante da *Conference of Parties 21 - COP21*, é o primeiro acordo global sobre alterações climáticas que contém obrigações políticas para todos os países, sendo que 195 dos países presentes na conferência adotaram este acordo

(Liobikiené and Butkus, 2017). Os principais objetivos globais estipulados por este acordo são: limitar o aumento médio da temperatura global bem abaixo dos 2°C e prosseguir com esforços para limitar o aumento médio da temperatura global a 1,5°C; aumentar a capacidade de adaptação aos impactos adversos das alterações climáticas, promovendo a resiliência climática e os desenvolvimentos baixos em carbono; e tornar os fluxos financeiros consistentes com trajetórias de desenvolvimento resilientes e de baixo carbono (Dimitrov, 2016; Ministros, 2019).

A União Europeia (UE) foi a primeira grande economia a apresentar o seu contributo previsto para o novo acordo e também o objetivo vinculativo de reduzir em, pelo menos, 40% das emissões de GEE até 2030. Após ter sido ratificado formalmente, este acordo entrou em vigor em dezembro de 2016 (Liobikiené and Butkus, 2017).

Reconhecendo que é necessária uma ação acelerada para limitar o aquecimento global a 1,5°C, a decisão de cobertura da COP27 solicita às partes que revejam e reforcem as metas para 2030 nas suas Contribuições Nacionalmente Determinadas, *Nationally Determined Contributions* (NDC), a fim de as alinhar com o objetivo de temperatura do Acordo de Paris até ao final de 2023, tendo em conta as diferentes circunstâncias nacionais. Apesar da necessidade de ser efetuado um reforço nas ações no domínio das alterações climáticas, nos anos que decorreram desde a entrada em vigor do Acordo de Paris, foram criadas várias tecnologias de baixo carbono e cada vez mais países, regiões, cidades e empresas estão a estabelecer objetivos de neutralidade de carbono. As soluções de carbono zero estão a tornar-se competitivas e decisivas em sectores económicos que representam 25% das emissões (Ministros, 2019; Nations, 2015).

### **3.2.2. Roteiro para a neutralidade carbónica**

Em 2016, o Governo português comprometeu-se a assegurar a neutralidade das suas emissões até ao final de 2050, traçando uma visão clara relativamente à descarbonização profunda da economia nacional, enquanto contributo para o acordo de Paris, conciliando-a com os esforços em curso a nível internacional. O cumprimento do objetivo de neutralidade carbónica, que significa alcançar um balanço neutro entre as emissões de GEE e o sequestro de carbono, em 2050 assenta numa visão estratégica que tenciona promover a descarbonização da economia e a transição energética. Esta visão estratégica é desenvolvida no Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050) que identifica os principais vetores de descarbonização em todos os sectores da economia e a trajetória de redução de emissões para atingir este fim, em diferentes cenários de desenvolvimento socioeconómico (Portuguesa, 2019).

A concretização desta visão estratégica assenta em oito premissas fundamentais, sendo elas: a promoção da transição para uma economia competitiva, circular, resiliente e neutra em carbono, gerando mais riqueza, emprego e bem-estar; a identificação de vetores de descarbonização e linhas de atuação subjacentes a trajetórias para a neutralidade carbónica em 2050; a contribuição para a resiliência e para a capacidade nacional de adaptação às vulnerabilidades e impactos das alterações climáticas; a estimulação da investigação, da inovação e da produção de conhecimento em áreas-chave para a concretização do objetivo da neutralidade carbónica; a garantia de condições de financiamento e um aumento dos níveis de investimento; o asseguramento de uma transição justa e coesa que contribua para a valorização do território; a garantia de condições eficazes de acompanhamento do progresso alcançado rumo ao objetivo da neutralidade carbónica e o asseguramento da integração dos objetivos de neutralidade carbónica nos domínios sectoriais; o envolvimento da sociedade nos desafios das alterações climáticas, apostando na educação, informação e sensibilização, contribuindo para aumentar a ação individual e coletiva (Ministros, 2019; Portuguesa, 2019).

### **3.3. Indústria Automóvel**

O aumento da população e a urbanização conduziram a uma maior necessidade de produção em várias indústrias. Da intensa utilização da energia e de muitos recursos naturais, advém o aquecimento global, as alterações climáticas, a poluição ambiental e outras consequências problemáticas (Giampieri et al., 2019; Gupta and Patel, 2022). A indústria automóvel tem contribuído significativamente para o agravamento destes problemas uma vez que uma boa parte das emissões globais de gases com efeito de estufa provém deste sector, sendo que os processos de produção dos automóveis têm uma contribuição bastante relevante nas emissões geradas. Adicionalmente, a indústria automóvel é, também, um dos principais produtores de resíduos industriais. Além disso, as emissões de CO<sub>2</sub> são, entre os GEE, o fator que mais contribui para o aquecimento global e as emissões para a atmosfera provenientes das indústrias e da combustão de combustíveis fósseis contribuíram para aproximadamente 78% do total das emissões de GEE entre 1970-2010 (Dubey and Arora, 2022; Gohoungodji et al., 2020; Villanueva-Rey et al., 2018).

Em resposta aos incentivos de redução da poluição, a indústria automóvel tem procurado reduzir as emissões de gases através de várias estratégias que, de algum modo, possam contribuir para que esta indústria diminua o seu impacto ambiental (Gohoungodji et al., 2020). Por exigência da Organização Internacional de Normas (ISO), os fabricantes de automóveis começaram a implementar sistemas de gestão energética, ambiental e de qualidade, para cumprirem os requisitos da política energética e ambiental. Com a implementação de um sistema de gestão sistemático, planeado e bem documentado, os

fabricantes de automóveis podem beneficiar de poupanças notáveis em termos de consumo de energia e de materiais (Giampieri et al., 2019; Gupta and Patel, 2022).

Uma das formas que a indústria automóvel encontrou para alcançar os objetivos da redução das emissões dos gases de efeito de estufa e ajudar no combate às alterações climáticas é produzir veículos mais eficientes do ponto de vista energético (Martinez Sanz et al., 2022; Patil et al., 2017). Este desiderato pode ser conseguido, aumentando a utilização de materiais plásticos nos componentes dos automóveis, substituindo metais ou usando produtos com dimensões reduzidas mas com a mesma eficiência e outros componentes para reduzir o peso, o que diminui o consumo de combustível, apresenta um custo de produção mais baixo, emite menos gases perigosos, mantendo a segurança e o conforto do veículo e proporcionando ainda durabilidade, resistência à corrosão, tenacidade, flexibilidade no *design* e alto desempenho (Czerwinski, 2021; Martinez Sanz et al., 2022; Pradeep et al., 2017; Shah et al., 2022).

Além disso, a indústria está também a cumprir objetivos ambientais específicos, contribuindo para a eliminação da poluição e do desperdício, através da reutilização e reciclagem de várias peças em novos componentes (Vieyra et al., 2022). Uma maior ênfase na circularidade pode aumentar a eficiência dos recursos e levar a poupanças significativas de custos. O objetivo da indústria deve ser o de permitir cadeias de abastecimento totalmente sustentáveis, reconhecendo e respeitando todos os participantes (Gohoungodji et al., 2020; Gupta and Patel, 2022).

O sector automóvel tem procurado aplicar intensivamente práticas sustentáveis nas suas operações internas e na cadeia de abastecimento, com o objetivo de gerar vários benefícios tais como: redução dos custos, devido a técnicas de produção e inovação limpas; cumprimento das normas legais; possibilidade de aumento das vendas e maior acesso ao financiamento (Drohomeretski et al., 2015). Na sua maioria, é importante que as necessidades da geração atual sejam satisfeitas sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem também as suas, o que significa que a procura de recursos e serviços para as gerações atuais e futuras deverá ser possibilitada sem comprometer a saúde dos ecossistemas que os proporcionaram (Hovorun et al., 2017; Salvado et al., 2015).

### **3.3.1. Materiais de isolamento para a cablagem**

Os polímeros são materiais de significativo valor na indústria automóvel, sendo habitualmente utilizados como materiais de isolamento nos veículos e, atualmente, noutros componentes também, devido ao baixo custo associado a estes materiais e, principalmente, ao seu peso, que permite o fabrico de veículos mais leves e, conseqüentemente mais eficientes energeticamente, reduzindo as emissões geradas por estes (Gilbert, 2017;

Hovorun et al., 2017). Apesar das excelentes vantagens que a substituição de peças metálicas por plásticos traz, paradoxalmente, também aumenta a acumulação de resíduos de plástico no nosso planeta (Patil et al., 2017; Vieyra et al., 2022). A produção global de plástico cresceu exponencialmente entre 1950 e 2015, resultando num grave problema ambiental devido ao facto de a sua acumulação no ambiente ser uma questão preocupante para o ecossistema e a saúde humana dado que estes materiais, e produtos derivados, têm sido na sua maioria incorretamente colocados em aterros (Sohn et al., 2020; Vieyra et al., 2022; Zheng and Suh, 2019).

A utilização de plásticos nos veículos está dividida em quatro áreas (Greene, 2021; Martinez Sanz et al., 2022; Pradeep et al., 2017):

- Interiores, especialmente portas, consolas, forros de cabeça, bancos e painéis de instrumentos.
- Exterior, em para-choques, painéis de carroçaria, portas, capotas, painéis traseiros, guarda-lamas.
- Debaixo do capô, como o motor, a bateria, o suporte do radiador e outros.
- Sistema elétrico/luzes, especialmente isolamento de cabos e iluminação.

É possível afirmar que os polímeros estão presentes em muitos componentes dos veículos. Um componente onde a presença de polímeros é de extrema importância é nos cabos e fios, como materiais de isolamento, que asseguram o funcionamento e proteção da parte elétrica do automóvel. (Beyer, 2021; Pradeep et al., 2017).

Para que os polímeros possam ser utilizados como materiais de isolamento, é necessário que possuam certas características e propriedades importantes de modo a cumprir eficazmente as suas funções. Os principais polímeros utilizados como materiais de isolamento de cabos na indústria automóvel são:

- O policloreto de vinilo (PVC) é um dos polímeros termoplásticos mais utilizados na indústria automóvel, especialmente no isolamento de cabos, devido à sua durabilidade, acessibilidade e trabalhabilidade. Além disso, devido à sua elevada polaridade, tem propriedades de isolamento satisfatórias, sendo utilizado para componentes de baixa ou média tensão. Este material é ignífugo e tem uma boa estabilidade térmica. Tem também uma boa resistência a produtos químicos e solventes. Devido ao seu teor em vinilo, este polímero tem uma boa resistência à tração e, em alguns casos, pode ser mais flexível. Em geral, é um plástico polivalente amplamente utilizado na construção civil e muitos outros produtos de consumo (Alsabri and Al-Ghamdi, 2020; Greene, 2021; Patil et al., 2017).

- O polietileno (PE) pertence à família das poliolefinas e é, de longe, o polímero comercial de maior volume, sendo o plástico mais utilizado em todo o mundo devido à sua adaptabilidade, baixo custo, facilidade de processamento, resistência à humidade e reciclabilidade. Este termoplástico está disponível em várias formas com diferentes flexibilidades e outras propriedades, dependendo do processo de produção, sendo o polietileno de alta densidade (HDPE) o mais rígido e o polietileno de baixa densidade (LDPE) o mais flexível. O polietileno linear de baixa densidade (LLDPE) é também muito flexível e tem vindo a substituir o LDPE porque oferece melhores propriedades mecânicas e custos de produção mais baixos (Alsabri and Al-Ghamdi, 2020; Beyer, 2021; Greene, 2021; Patil et al., 2017).
- O polietileno reticulado (XLPE) é a versão termoendurecida do polietileno tradicional, que é normalmente termoplástico. O XLPE é produzido através da formação de ligações covalentes entre moléculas de PE únicas tanto na fase cristalina como na fase amorfa da matriz polimérica, que conduz a uma rede tridimensional com propriedades físicas melhoradas (Beyer, 2021; Greene, 2021; Li et al., 2022).
- O polipropileno (PP) também pertence à família das poliolefinas e tem demonstrado algumas vantagens em termos de maior resistência, rigidez e capacidade de temperatura mais elevada em relação ao polietileno. Além disso, é um dos plásticos mais leves e versáteis disponíveis no mercado. É extremamente resistente quimicamente e quase completamente impermeável à água. Além disso, a sua elevada resistência à tração, melhor acabamento superficial, propriedades de barreira superiores e baixo custo tornam-no um material muito interessante para uma vasta gama de aplicações (Alsabri and Al-Ghamdi, 2020; Greene, 2021; Patil et al., 2017).
- Os elastómeros termoplásticos (TPE) são polímeros com características muito semelhantes aos elastómeros, como a suavidade e a flexibilidade, mas podem ser processados como os termoplásticos (Beyer, 2021; Lokensgard, 2016; Pradeep et al., 2017).
- O silicone, é um material naturalmente elastómero, sendo muito popular pela sua elevada flexibilidade e resistência térmica, características muito importante para os cabos de isolamento. Para otimizar as suas propriedades térmicas, estes polímeros sofrem podem sofrer processos de reticulação (Beyer, 2021; Greene, 2021).

Os produtos plásticos comuns podem ser facilmente reciclados. Infelizmente, os materiais de isolamento para cabos e fios e outros compósitos poliméricos em aplicações automóveis têm fortes ligações a outros componentes, como metais, e são, assim, difíceis de libertar para fins de reciclagem. Devido ao elevado valor dos metais, estes materiais são os mais recuperados nos centros de desmantelamento de veículos

em fim de vida (*end-of-life vehicles*, ELV) (Martinez Sanz et al., 2022; Merrington, 2017). Além disso, polímeros reticulados como o XLPE, que sofre um processo de reticulação que transforma o polietileno termoplástico em termoendurecido, o que torna muito difícil a sua reciclagem e, também, como o silicone que, na sua produção, sofre um processo de vulcanização que impossibilita a reciclagem deste material sem recorrer a processos dispendiosos e pouco amigos do ambiente. Os métodos tradicionais de eliminação do XLPE e do silicone são a queima, pirólise ou aterro, que não só consomem muita energia como também causam impactos negativos no ambiente (da Silva and Wiebeck, 2020; Li et al., 2022; Merrington, 2017).

### **3.3.2. Estratégias de redução dos impactos ambientais na indústria automóvel**

Com o objetivo de atenuar os problemas ambientais associados às consequências da utilização intensiva de plásticos e alcançar os objetivos estabelecidos pelas várias políticas e legislações para a redução da poluição e combate às alterações climáticas, a indústria automóvel tem vindo a tomar algumas ações e estratégias (Mohanty et al., 2022; Staniszewska et al., 2020).

As práticas ambientais mais comuns da indústria automóvel são:

O **eco-design**, geralmente definido como a integração dos aspetos ambientais na concepção e desenvolvimento de produtos com características mais amigas do ambiente como, maior facilidade na reciclagem e reutilização, tem como objetivo reduzir os impactos ambientais causados pelo consumo e atividades de produção dos produtos (Staniszewska et al., 2020).

**Utilização de combustíveis mais limpos** com menores emissões de poluentes, tendo um impacto menor no aquecimento global, uma vez que há menos emissões de gases com efeito de estufa provenientes desses combustíveis (Drohomeretski et al., 2015).

**Incorporação de energias renováveis**, tem como objetivo a incorporação de energias renováveis no cabaz energético utilizado pela empresa aumente gradualmente, atingindo, eventualmente, 100% de energias renováveis (Zheng and Suh, 2019).

**Melhorias nos processos de produção e a redução de resíduos**, com a implementação de processos de gestão da produção, como o *lean manufacturing*, podem ajudar a melhorar os processos de produção e, conseqüentemente, gerar menos resíduos (ou sucata) e consumir menos recursos naturais (Drohomeretski et al., 2015; Vaz et al., 2017).

A **reutilização de material** através da reciclagem e reutilização de embalagens, por exemplo, e redesenho de produtos já utilizados aproxima a indústria automóvel do objetivo da economia circular, o que é uma boa prática, uma vez que reduz o impacto do aquecimento global e o esgotamento dos recursos fósseis (Drohomeretski et al., 2015; Vieyra et al., 2022).

**Controlo das emissões de gases**, com muitas empresas da indústria automóvel a controlar as suas emissões de gás em várias fases do seu processo, tais como nos processos de transporte quer de matérias-primas quer na entrega de produtos acabados, bem como nos sistemas de produção de si próprios e dos seus fornecedores (Drohomeretski et al., 2015; Vaz et al., 2017). Estas práticas são normalmente aplicadas por uma empresa da cadeia de abastecimento, desenvolvendo-a em parceria com fornecedores, clientes e, em alguns casos, com o envolvimento de diferentes níveis da cadeia de abastecimento do lado do fornecedor e do cliente (Drohomeretski et al., 2015).

As tecnologias avançadas de captura de carbono são também uma prática que podem ser úteis para a atividade industrial, contribuindo para a mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>, embora, este tipo de tecnologias ainda exija algum desenvolvimento antes da sua implementação a uma escala industrial (Dubey and Arora, 2022). A energia com baixo teor de carbono é outra estratégia para reduzir as emissões de GEE do ciclo de vida dos plásticos e polímeros (Zheng and Suh, 2019). É muito importante acompanhar a forma como as ações estão a ser aplicadas, sendo crucial a medição da evolução destas ações ambientais. Normalmente, neste tipo de casos, os dados são, de forma geral, recolhidos através de auditorias (Drohomeretski et al., 2015).

### **3.3.3. Estratégias de redução dos impactos ambientais para os polímeros**

A indústria está a agir não só de uma forma geral, mas também especificamente em relação aos polímeros utilizados nos veículos, como os materiais de isolamento de cabos e fios, com recurso a várias estratégias.

A **reciclagem dos componentes plásticos** é uma ação ambiental muito importante para a indústria automóvel, uma vez que reduz, em parte, a produção intensiva em carbono de polímeros virgens, ao mesmo tempo que evita as emissões de GEE de alguns processos em fim de vida, tais como a incineração (da Silva and Wiebeck, 2020; Martinez Sanz et al., 2022). Apesar do aumento da quantidade de grandes peças de plástico recuperadas de veículos em fim de vida nos últimos anos, a reciclagem de polímeros continua a apresentar algumas preocupações porque, se os materiais não forem cuidadosamente separados antes

do processo de retalhamento, podem acabar por ser misturados com outros componentes, tornando-se muito difícil reciclá-los eficazmente (Merrington, 2017; Zheng and Suh, 2019).

Os principais tipos de reciclagem disponíveis são a reciclagem mecânica e a reciclagem química (Martinez Sanz et al., 2022). Estes dois tipos de métodos têm sido considerados eficazes para a reciclagem de polímeros, mas ainda apresentam algumas falhas, tais como:

- Reciclagem mecânica: os polímeros são regenerados em partículas com tamanho adequado para alimentar a extrusora, onde o material termoplástico é fundido e homogeneizado para obter *pellets* para moldagem por injeção ou extrusão de novos produtos plásticos (Mohanty et al., 2022). Embora este tipo de reciclagem não altere a estrutura e composição do polímero, pode ainda assim resultar numa degradação das propriedades do polímero devido a elevadas tensões mecânicas (Kulkarni, 2018; Martinez Sanz et al., 2022).
- Reciclagem química: consiste em alterar a estrutura polimérica básica do plástico e produzir moléculas de matéria-prima mais pequenas a partir das quais os plásticos podem ser novamente produzidos (Mohanty et al., 2022). Os métodos mais utilizados de reciclagem química são a solvólise (decomposição do polímero nos seus monómeros para ser novamente polimerizado) e a termólise (gera misturas de petróleo e gás que podem ser devolvidas às matérias-primas químicas para o fabrico de petroquímicos/polímeros). Uma vez que este processo altera a estrutura dos polímeros, afeta as suas propriedades, degradando-as (Kulkarni, 2018; Martinez Sanz et al., 2022).

A reciclagem é uma estratégia ambiental muito importante e permite a gestão mais eficaz dos polímeros após o seu fim de vida, com o objetivo, neste caso, de devolver os materiais de polímeros utilizados em cabos e fios à sua forma original, dando-lhes a oportunidade de serem reincluídos no ciclo de produção, aplicando uma abordagem de economia circular e reduzindo a pegada de carbono (da Silva and Wiebeck, 2020; Hovorun et al., 2017; Vieyra et al., 2022). Esta estratégia precisa ainda de ser desenvolvida para que polímeros e misturas de polímeros com diferentes propriedades e composições não percam as suas propriedades, como a resistência mecânica e química, ao serem reintroduzidas para utilização no isolamento de cabos (Martinez Sanz et al., 2022; Merrington, 2017; Zheng and Suh, 2019).

**Incorporação de materiais reciclados** na composição dos polímeros utilizados para aplicações de isolamento de cabos (Martinez Sanz et al., 2022). Há uma necessidade crescente de incorporar uma maior quantidade de materiais reciclados nos componentes plásticos, como uma tentativa de reforçar as vantagens da economia circular e reduzir a pegada de carbono (Sohn et al., 2020).

A utilização extensiva e as taxas de crescimento rápido na utilização de plásticos de engenharia em aplicações automóveis resultaram em grandes quantidades de resíduos plásticos (Ghosh et al., 2020). Felizmente, as propriedades muito satisfatórias e as características de alto desempenho ainda presentes após uma vida útil, fazem com que os plásticos de engenharia sejam reutilizados eficazmente após a reciclagem (Sohn et al., 2020). A adição de plásticos reciclados a componentes de plástico virgem pode produzir novas peças automóveis com boas propriedades mecânicas, e muitos materiais plásticos reciclados já estão a ser utilizados na indústria automóvel (Mohanty et al., 2022). Para materiais de isolamento de cabos e fios, a integração de componentes reciclados nos polímeros pode ser uma boa perspectiva, uma vez que possibilita a melhoria das propriedades mecânicas e a redução da pegada de carbono associada a estes materiais (Hovorun et al., 2017; Vieyra et al., 2022).

Infelizmente, os custos estimados, as eficiências e o impacto ambiental são fatores críticos na reciclagem de plásticos na indústria automóvel (Ghosh et al., 2020). Alguns dos plásticos tipicamente utilizados na indústria são relativamente baratos de reciclar, mas podem ter um impacto elevado no ambiente no que diz respeito à pegada de carbono, devido à quantidade de CO<sub>2</sub> que estes libertam no ambiente, tornando, assim, alguns plásticos inadequados para reciclagem (Hovorun et al., 2017; Vieyra et al., 2022)

Existem ainda alguns desafios que impedem o sucesso completo da reciclagem de resíduos de plástico automóvel para reutilização. Alguns dos problemas encontrados na implementação do plástico reciclado na indústria automóvel são, por exemplo, económicas (incerteza quanto à evolução dos preços e preocupações com a procura e a oferta), organizacionais (conhecimento, comunicação e troca de informações insuficientes) e técnicas (as diferentes propriedades do material são difíceis de alcançar com o plástico reciclado, em comparação com o material original) (Ghosh et al., 2020; Martinez Sanz et al., 2022). Além destas barreiras e preocupações, durante o processo de reciclagem mecânica, os plásticos suportam altas temperaturas e forças de cisalhamento que poderiam levar à degradação térmica e mecânica do próprio polímero e dos aditivos presentes na sua formulação (Sohn et al., 2020). Como resultado, alguns materiais poliméricos com propriedades mecânicas e térmicas mais fracas podem sofrer degradação, levando a uma qualidade reduzida dos plásticos reciclados o que, nos fios e cabos automóveis, pode afetar muitos dos requisitos dos fabricantes (da Silva and Wiebeck, 2020; Martinez Sanz et al., 2022).

**Os plásticos de base biológica** estão gradualmente a ser utilizados para substituir os plásticos habituais derivados de combustíveis fósseis (Pradeep et al., 2017). Os plásticos de base biológica têm alguns benefícios claros, tais como um ciclo de vida mais baixo de emissões de GEE do que o seu homólogo baseado em combustíveis fósseis, sendo uma

solução de peso reduzido e de gestão de resíduos mais fácil, resolvendo também as questões ambientais em torno da eliminação de plásticos (Rujnić-Sokele and Pilipović, 2017; Zheng and Suh, 2019).

As alternativas atuais dentro da categoria dos plásticos de base biológica são os bioplásticos, compósitos plásticos reforçados com fibras naturais/celulósicas, e polímeros altamente biodegradáveis (Mohanty et al., 2022; Vieyra et al., 2022).

Os bioplásticos são uma família de materiais de base biológica e biodegradável. Estes plásticos são geralmente macromoléculas orgânicas processadas a partir de fontes renováveis, tais como milho, batata, trigo, óleo vegetal e muitos outros, através de processos químicos ou biológicos embora também existam alternativas sintéticas (ou de origem humana) (Nadda, 2022). Os bioplásticos são considerados biodegradáveis uma vez que são submetidos a um processo químico durante o qual os microrganismos no ambiente decompõem os materiais em substâncias naturais como a água, o dióxido de carbono e o metano, processo este denominado por biodegradação (Sohn et al., 2020; Vieyra et al., 2022). Para a sua aplicação como materiais de isolamento de cabos e fios, os bioplásticos podem ser promissores porque utilizam as mesmas tecnologias de fabrico que os plásticos atualmente utilizados na indústria, têm menor pegada de carbono e impacto ambiental, mas ainda são muito limitados para estas aplicações, principalmente devido às suas baixas propriedades mecânicas. Além disso, alguns biopolímeros sofrem degradação térmica a baixas temperaturas (Mohanty et al., 2022; Rujnić-Sokele and Pilipović, 2017). Assim, é importante notar que tem de haver uma análise cuidadosa na escolha de bioplásticos adequados para esta indústria, uma vez que é vital que as propriedades dos biopolímeros sejam semelhantes às obtidas com os polímeros comumente utilizados para o isolamento de cabos (Al Mamun and Chen, 2020; Barillari and Chini, 2020).

Os compósitos plásticos reforçados com fibras, embora sejam muito interessantes em termos de propriedades (combinação de um elevado desempenho mecânico e físico das fibras com o aspeto e propriedades físicas dos polímeros), apresentam falta de biodegradabilidade das fibras nelas utilizadas (Hovorun et al., 2017; Mohanty et al., 2022). A substituição das fibras não degradáveis normalmente utilizadas nestes compósitos por fibras vegetais celulósicas, que são diretamente isoladas das plantas, poderia ser muito benéfica, uma vez que têm um baixo custo, baixo impacto ambiental, são propriedades leves e relativamente comparáveis a alguns metais e outros compósitos. Outra vantagem da utilização de fibras naturais para a produção de compósitos é a redução da emissão de CO<sub>2</sub> (Mohanty et al., 2022; Vieyra et al., 2022). Normalmente, os compósitos são utilizados em aplicações mais estruturais, tais como portas, capôs, tampa do porta-bagagens e coberturas de assentos (e outros componentes dos estofos), não sendo um material muito comum para o isolamento de cabos e fios. No entanto, a substituição das fibras normalmente utilizadas

por fibras celulósicas é um feito muito promissor devido às suas várias vantagens (Al Mamun and Chen, 2020; Hovorun et al., 2017).

Polímeros altamente biodegradáveis, tais como certos poliésteres alifáticos, não só são muito biodegradáveis como também neutros em carbono (Mohanty et al., 2022; Nadda, 2022). Infelizmente, devido à baixa capacidade de produção, propriedades mecânicas pouco satisfatórias e custos elevados, as aplicações generalizadas destes polímeros não são viáveis, uma vez que continuam a ser incapazes de muitas aplicações a longo prazo. Assim, por enquanto, esta alternativa não é muito explorada, até que a investigação e desenvolvimento sejam capazes de sustentar o uso dos bioplásticos para estes fins (Barillari and Chini, 2020; Vieyra et al., 2022).

Os bioplásticos são definitivamente a alternativa mais promissora, mas ainda há muito a fazer em termos de investigação e desenvolvimento para os tornar mais satisfatórios (Mohanty et al., 2022; Nadda, 2022; Vieyra et al., 2022) Para aplicações na indústria automóvel, são necessárias novas tecnologias de produção que permitam a economia de escala para a produção em massa e devem ainda ser enfrentados os desafios de prevenção da degradação dos biopolímeros durante a vida útil do automóvel (Barillari and Chini, 2020; Rujnić-Sokele and Pilipović, 2017). Para superar as baixas propriedades mecânicas e a degradação térmica a baixas temperaturas dos bioplásticos, reforçá-los, misturando ou adicionando outros polímeros ou cargas, poderá ajudar a reduzir alguns destes inconvenientes. Embora as propriedades dos biopolímeros, por si só, não sejam tão satisfatórias para as aplicações automóveis, quando utilizados em compósitos (como a matriz), podem melhorar significativamente as propriedades mecânicas finais, o comportamento térmico e os mecanismos de degradação através de uma tecnologia de processamento rentável, acessível e prontamente disponível (Ghosh et al., 2020; Rujnić-Sokele and Pilipović, 2017).

Para concluir, a substituição dos plásticos de base fóssil por polímeros biológicos ou reciclados e torná-los totalmente recicláveis são estratégias essenciais não só para a redução da pegada de carbono e do impacto ambiental, mas também para a implementação da abordagem de economia circular, muito necessária para a indústria automóvel (Hovorun et al., 2017; Mohanty et al., 2022; Sohn et al., 2020). Os biopolímeros criam uma oportunidade de progresso ambiental devido às suas características biodegradáveis para além do baixo peso, o que também é importante para os objetivos de eficiência energética que a indústria estabeleceu (Barillari and Chini, 2020; Nadda, 2022; Vieyra et al., 2022). A economia circular incentiva o redesenho de materiais e tecnologias para se alinharem com o bem-estar económico e ambiental como, por exemplo, a reciclagem, a prevenção da eliminação de resíduos plásticos em aterros e desincentivando a utilização de outras

técnicas mais consumidoras de energia e menos amigas do ambiente (Ghosh et al., 2020; Pradeep et al., 2017; Rujnić-Sokele and Pilipović, 2017).

## 4. Metodologias utilizadas

Para avaliar corretamente a pegada carbônica de um produto ou de uma empresa, é preciso recorrer a normas ou guias que definam que dados são relevantes para o estudo a realizar, como os devemos distribuir e calcular. No âmbito deste relatório foram explorados dois métodos, o estipulado na família de normas ISO 14060 e o descrito no *Greenhouse Gas (GHG) Protocol*, sendo que os cálculos efetuados no âmbito deste relatório de estágio foram realizados maioritariamente seguindo a metodologia descrita no *Greenhouse Gas Protocol*.

Posteriormente, todos os cálculos referentes à pegada carbônica dos produtos fabricados, das atividades gerais da empresa e associados à análise das ações de redução das emissões de CO<sub>2</sub> a implementar nos processos e produtos foram efetuados na ferramenta de cálculo Microsoft Excel.

### 4.1. ISO 14060

A família de normas ISO 14060 permite quantificar, monitorizar, reportar e validar, consistentemente, as emissões de gases com efeito de estufa, apoiando o desenvolvimento sustentável e baixo em carbono. Esta família de normas é principalmente utilizada para a tomada de decisões acerca de oportunidades de redução de emissões de GEE, gestão de risco de carbono e mercados de GEE (ISO, 2018).

Cada uma das normas presentes na família ISO 14060 especifica os fundamentos e requerimentos para uma determinada categoria relativa aos gases com efeito de estufa. Sendo que a norma ISO 14067:2018 detalha os fundamentos para a quantificação da pegada carbônica dos produtos (ISO, 2018).

### 4.2. GHG Protocol

O *Greenhouse Gas (GHG) Protocol* foi lançado em 1998 com o objetivo de desenvolver normas e ferramentas de comunicação das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) internacionalmente utilizadas, promovendo a sua adoção de modo a alcançar uma redução significativa nas emissões de GEE em todo o mundo (GHG, 2011).

De modo a facilitar a delimitação das fontes de emissão diretas e indiretas, melhorar a transparência e fornecer utilidade para diferentes tipos de organizações e de políticas climáticas, o *GHG Protocol* define três “âmbitos” distintos:

- Âmbito 1 - Emissões diretas de GEE: abrange todas as emissões diretas de gases com efeito de estufa que ocorram a partir de fontes pertencentes à empresa, ou que

sejam controladas pela mesma. Alguns exemplos de emissões que se enquadram neste âmbito são emissões de combustão de caldeiras ou fornos, emissões provenientes de veículos que pertençam à empresa e emissões provenientes do processo produtivo da empresa (GHG, 2015).

- Âmbito 2 – Emissões indiretas de GEE: contabiliza todas as emissões de gases com efeito de estufa provenientes da produção de eletricidade, por entidades exteriores, comprada e, posteriormente, consumida pela empresa (GHG, 2015).
- Âmbito 3 – Outras emissões indiretas de GEE: neste âmbito, incluem-se todas as emissões que são consideradas uma consequência das atividades da empresa, mas que ocorrem em fontes não controladas pela mesma. Enquadram-se, por exemplo, as emissões provenientes da extração, produção e transporte de matérias-primas compradas pela empresa e emissões provenientes de viagens realizadas pelos colaboradores da empresa em meios de transporte não controlados pela mesma (GHG, 2015).

Esta definição de diferentes âmbitos para diferentes tipos e fontes de emissões de gases com efeito de estufa permite que as emissões geradas não sejam contabilizadas repetidamente por duas ou mais empresas (GHG, 2015).

### **4.3. Calculadoras de emissões de CO<sub>2</sub>**

Como o projeto de levantamento da pegada carbónica da ACI Portugal ainda se encontra numa fase inicial, não é possível efetuar os cálculos detalhados para os fatores de emissão referentes a cada parâmetro específico das atividades desta empresa. Assim, recorreu-se a calculadoras das emissões de CO<sub>2</sub> que nos fornecem valores estimados para os fatores de emissão dos vários parâmetros. As calculadoras utilizadas para os cálculos da pegada carbónica foram: *Carboncare – CO<sub>2</sub> Emissions Calculator* (para o cálculo dos fatores de emissão referentes aos transportes de matérias-primas e produto acabado) e *MéxiCO<sub>2</sub> - Plataforma Mexicana de Carbono* (para o cálculo dos fatores de emissão referentes à água, eliminação de resíduos e viagens de negócios).

## 5. Análise e interpretação dos resultados

### 5.1. Levantamento da situação atual da pegada carbónica

Inicialmente, de modo a compreender qual a situação atual da pegada carbónica da ACI Portugal, foi necessário efetuar o levantamento deste parâmetro quer para as atividades gerais da empresa, quer para cada um dos produtos fabricados na mesma.

#### 5.1.1. Emissões de CO<sub>2</sub> das atividades gerais da empresa

Foram consideradas emissões de CO<sub>2</sub> geradas pelas atividades gerais da empresa, as emissões associadas ao consumo de eletricidade, água, manuseamento de resíduos gerados (tanto resíduos recicláveis como não recicláveis), viagens efetuadas com a frota da empresa, viagens de negócios e estadias em hotéis. Separando por âmbitos, como descrito no GHG Protocol, as emissões geradas pelas viagens efetuadas com a frota da empresa pertencem ao âmbito 1; ao âmbito 2, pertencem as emissões geradas pelo consumo de energia e, por último, as restantes emissões enumeradas acima (consumo de água, manuseamento de resíduos gerados, viagens de negócios e estadias em hotéis) são consideradas como âmbito 3. Os anos ponderados para este estudo foram 2021 e 2022, tendo em conta que são os anos mais recentes, sendo possível obter informações detalhadas acerca dos mesmos.

**Eletricidade:** Para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> associadas ao consumo de eletricidade, fez-se a multiplicação do consumo de eletricidade (em kWh) de cada ano pelo fator de emissão associado à eletricidade, disponibilizado pelo fornecedor de energia da ACI Portugal. No caso, o fator de emissão é de 273,05 g CO<sub>2</sub>/kWh, ou 0,27305 kg CO<sub>2</sub>/kWh, tendo-se obtidos os seguintes valores para as emissões de CO<sub>2</sub> geradas por este parâmetro:

**Tabela 1:** Consumo de eletricidade, nos anos de 2021 e 2022, e respetivas emissões de CO<sub>2</sub> geradas.

	Consumo de eletricidade (kWh)	Emissões de CO <sub>2</sub> (kg)
2021	5510189	1504281,60
2022	6110935	1668285,26

Como é possível observar na tabela 1, houve um aumento nas emissões de CO<sub>2</sub> geradas pelo consumo de eletricidade do ano 2021 para o ano 2022, devido ao maior consumo de eletricidade no ano 2022. Este maior consumo de eletricidade está diretamente ligado ao aumento da produção da ACI Portugal no ano de 2022, dado que, quanto maior a produção, maior será o gasto de recursos. Espera-se que, no ano 2023, seja possível reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> geradas pelo consumo de eletricidade, através da implementação de estratégias de redução das emissões de CO<sub>2</sub> associadas a este parâmetro (por exemplo, instalação de painéis solares ou aumento da percentagem de energias renováveis no *mix* energético disponibilizado pelo fornecedor de energia) sem prejuízo do aumento da produção da ACI Portugal.

**Viagens efetuadas com a frota da empresa:** Para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> associadas às viagens efetuadas com a frota da empresa (em km percorridos), fez-se a multiplicação das viagens efetuadas com estes veículos (em km percorridos), em cada ano, pelo fator de emissão associado a este tipo de viagens. Para obter o valor do fator de emissão, foi efetuada uma estimativa através da calculadora MéxiCO<sub>2</sub> - Plataforma Mexicana de Carbono, o fator de emissão utilizado foi de 0,1913 kg CO<sub>2</sub>/km. Obtiveram-se os seguintes valores para as emissões de CO<sub>2</sub> geradas por este parâmetro:

**Tabela 2:** Viagens efetuadas pela frota da empresa, nos anos de 2021 e 2022, e respetivas emissões de CO<sub>2</sub> geradas.

	Viagens na frota da empresa (km percorridos)	Emissões de CO <sub>2</sub> (kg)
2021	19651	3759,24
2022	22349	4375,36

Como é possível observar na tabela 2, houve um aumento nas emissões de CO<sub>2</sub> associadas a este parâmetro do ano 2021 para o ano 2022, devido a uma maior utilização dos veículos pertencentes à frota da empresa.

**Água:** Para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> associadas ao consumo de água (em litros), como o fator de emissão associado a este parâmetro não é disponibilizado pelo fornecedor de água da ACI Portugal, foi efetuada uma estimativa do fator de emissão da água através da calculadora MéxiCO<sub>2</sub> - Plataforma Mexicana de Carbono, o fator de emissão utilizado foi de 0,3340 kg CO<sub>2</sub>/l. Multiplicando o consumo de água de cada ano em estudo pelo fator de emissão associado à água, obtiveram-se os seguintes valores para as emissões de CO<sub>2</sub> geradas por este parâmetro:

**Tabela 3:** Consumo de água, nos anos de 2021 e 2022, e respetivas emissões de CO<sub>2</sub> geradas.

	Consumo de água (litros)	Emissões de CO <sub>2</sub> (kg)
2021	4117000	1358610
2022	5077000	1675410

Tal como demonstra a tabela 3, houve um aumento nas emissões de CO<sub>2</sub> geradas pelo consumo de água do ano 2021 para o ano 2022, devido ao maior consumo de água no ano 2022. Este maior consumo de água está diretamente ligado ao aumento da produção da ACI Portugal no ano de 2022 e, conseqüentemente, maior utilização de linhas de produção com maiores consumos de água sendo que, como é de esperar, quanto maior a produção, maior será o gasto de recursos. Espera-se que, no ano 2023, seja possível reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> geradas pelo consumo de água, através da implementação de estratégias de redução das emissões de CO<sub>2</sub> associadas a este parâmetro (por exemplo, reaproveitamento da água utilizada nas linhas de produção com a criação de circuitos fechados de arrefecimento) e, mesmo assim, aumentar a produção da ACI Portugal.

**Manuseamento dos resíduos gerados:** Para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> associadas ao manuseamento dos resíduos gerados, fez-se a multiplicação da quantidade de resíduos gerados (em kg) recicláveis e não recicláveis, de cada ano, pelo fator de emissão associado aos resíduos recicláveis e não recicláveis, respetivamente. Os fatores de emissão associados aos dois tipos de resíduos gerados provêm de uma estimativa efetuada através da calculadora MéxiCO<sub>2</sub> - Plataforma Mexicana de Carbono, visto que estes fatores não são disponibilizados pelos operadores de resíduos da ACI Portugal. Os fatores de emissão utilizados foram de 0,021 kg CO<sub>2</sub>/kg de resíduo reciclável e 0,456 kg CO<sub>2</sub>/kg de resíduo não reciclável. Obtiveram-se os seguintes valores para as emissões de CO<sub>2</sub> geradas por este parâmetro:

**Tabela 4:** Quantidade de resíduos recicláveis gerados, nos anos de 2021 e 2022, e respetivas emissões de CO<sub>2</sub> associadas ao seu manuseamento.

	Quantidade de resíduos gerados recicláveis (kg)	Emissões de CO <sub>2</sub> (kg)
2021	373055	7930
2022	576987	11539,74

**Tabela 5:** Quantidade de resíduos não recicláveis gerados, nos anos de 2021 e 2022, e respetivas emissões de CO<sub>2</sub> associadas ao seu manuseamento.

	Quantidade de resíduos gerados não recicláveis (kg)	Emissões de CO <sub>2</sub> (kg)
2021	22636,64	9400
2022	40644	18696,24

Como é possível observar nas tabelas 4 e 5, houve um aumento nas emissões de CO<sub>2</sub> associadas ao manuseamento dos resíduos gerados do ano 2021 para o ano 2022, devido ao aumento de resíduos gerados no ano 2022. Este aumento na quantidade de resíduos gerados está, tal como o consumo de eletricidade e água, diretamente ligado ao aumento da produção da ACI Portugal no ano de 2022 e, conseqüentemente, maior utilização de matérias-primas e ferramentas sendo que, como é de esperar, quanto maior a produção, maior será a quantidade de resíduos gerados. Espera-se que, no ano 2023, seja possível reduzir a quantidade de resíduos gerados e, conseqüentemente, as emissões de CO<sub>2</sub> associadas ao manuseamento dos mesmos, através da implementação de estratégias de redução da quantidade de resíduos (por exemplo, reintrodução de purgas no processo produtivo ou enchimento das latas de aerossóis utilizadas), continuando a aumentar a produção da ACI Portugal.

**Viagens de negócios:** Para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> associadas às viagens de negócios efetuadas (km percorridos), estão incluídas as emissões de CO<sub>2</sub> associadas às viagens de táxi (ou similar, desde que não efetuadas pela frota da empresa) e as emissões de CO<sub>2</sub> associadas às viagens de avião. Assim, o cálculo destas emissões de CO<sub>2</sub> consiste na

multiplicação dos quilômetros percorridos em viagens de táxi e em viagens de avião, de cada ano, pelo fator de emissão associado às viagens de táxi e às viagens de avião, respectivamente. Os fatores de emissão associados a ambos os tipos de viagem foram obtidos através de uma estimativa efetuada na calculadora MéxiCO<sub>2</sub> - Plataforma Mexicana de Carbono. Os fatores de emissão utilizados foram de 0,1748 kg CO<sub>2</sub>/km percorrido, para as viagens de táxi, 0,1126 kg CO<sub>2</sub>/km percorrido, para as viagens de avião de curta duração, e 0,0886 kg CO<sub>2</sub>/km percorrido, para as viagens de avião de longa duração. Obtiveram-se os seguintes valores para as emissões de CO<sub>2</sub> geradas por este parâmetro:

**Tabela 6:** Viagens efetuadas de táxi, nos anos de 2021 e 2022, e respectivas emissões de CO<sub>2</sub> geradas.

	Viagens de táxi (km percorridos)	Emissões de CO <sub>2</sub> (kg)
2021	1210	211,51
2022	1266	221,30

Para as viagens de avião, os valores apresentados na tabela 6 consistem na soma de, no caso dos quilômetros percorridos, todas as viagens efetuadas nos anos em estudo e, no caso das emissões de CO<sub>2</sub>, todas as viagens de curta duração e longa duração (sendo que os quilômetros percorridos correspondentes a cada tipo de viagem foram previamente multiplicados pelo respectivo fator de emissão).

**Tabela 7:** Viagens efetuadas de avião, nos anos de 2021 e 2022, e respectivas emissões de CO<sub>2</sub> geradas.

	Viagens de avião (km percorridos)	Emissões de CO <sub>2</sub> (kg)
2021	69255,16	7727,63
2022	96212,78	9021,67

Como é possível observar na tabela 7, houve um aumento nas emissões de CO<sub>2</sub> associadas a este parâmetro do ano 2021 para o ano 2022, principalmente no que toca às viagens de avião, devido não só ao levantamento de muitas das regras referentes à pandemia COVID-19 desde meados de abril de 2022, o que proporcionou uma maior facilidade na realização

de viagens para outros países, mas também à expansão do grupo Perplastic/ACI com a abertura de novas linhas de produção em várias fábricas do mundo.

**Estadias em hotéis:** Para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> associadas às estadias em hotéis (nº de noites), como o fator de emissão associado a este parâmetro ainda não é disponibilizado pela maioria destes estabelecimentos, foi efetuada uma estimativa do fator de emissão das estadias em hotéis através da calculadora MéxiCO<sub>2</sub> - Plataforma Mexicana de Carbono, o fator de emissão utilizado foi de 19 kg CO<sub>2</sub>/noite. Ao multiplicar o número de noites em hotéis, de cada ano, pelo fator de emissão associado às estadias em hotéis, obtiveram-se os seguintes valores para as emissões de CO<sub>2</sub> geradas por este parâmetro:

**Tabela 8:** Estadias em hotéis, nos anos de 2021 e 2022, e respetivas emissões de CO<sub>2</sub> geradas.

	Estadias em hotel (nº de noites)	Emissões de CO <sub>2</sub> (kg)
2021	277	5263
2022	712	13528

Como é possível observar na tabela 8, houve um aumento nas emissões de CO<sub>2</sub> associadas às estadias em hotéis do ano 2021 para o ano 2022, este aumento deve-se, mais uma vez, ao levantamento de muitas das regras referentes à pandemia COVID-19 desde meados de abril de 2022, o que proporcionou uma maior facilidade na realização de viagens para outros países e, conseqüentemente, estadias em hotéis nos destinos, devendo-se também à expansão do grupo Perplastic/ACI com a abertura de novas linhas de produção em várias das fábricas do grupo.

Em suma, no que diz respeito aos parâmetros considerados como atividades gerais da ACI Portugal, é possível concluir que houve um aumento na quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> geradas por cada parâmetro. É de extrema importância estudar e implementar estratégias de redução da pegada carbónica e, conseqüentemente, das emissões de CO<sub>2</sub> geradas para as atividades gerais da ACI Portugal. Para alguns dos parâmetros incluídos nas atividades gerais não é possível implementar estratégias para a redução das emissões de CO<sub>2</sub>, como as estadias em hotéis e as viagens de avião. No entanto, para parâmetros como o consumo de eletricidade e água e, também, a quantidade e manuseamento de resíduos gerados, são mais facilmente implementáveis estratégias para a redução das emissões de CO<sub>2</sub>. No tópico “Estratégias e ações de redução da pegada carbónica”, serão apresentadas e analisadas as estratégias e ações de redução da pegada carbónica e emissões de CO<sub>2</sub> a serem implementadas, e em implementação, pela ACI Portugal.

### 5.1.2. Pegada carbónica dos produtos

Para além de estudar e calcular as emissões de CO<sub>2</sub> geradas pelas atividades consideradas gerais da ACI Portugal, é de extrema importância proceder ao cálculo da pegada carbónica associada aos produtos fabricados atualmente na ACI Portugal (Product Carbon Footprint – PCF). Numa perspetiva do Greenhouse Gas Protocol, todas as emissões de GEE geradas pelos produtos pertencem ao âmbito 3, uma vez que consistem na soma de várias emissões consideradas como consequência da atividade da empresa, mas provenientes de fontes não controladas pela mesma.

O cálculo da pegada carbónica foi efetuado para todas as referências (de cada família de produtos) produzidas atualmente na ACI Portugal. Para efetuar este cálculo, seguiu-se uma metodologia *cradle-to-gate*, a tradução literal é “do berço ao portão” e consiste em considerar, para o cálculo da pegada carbónica de um produto, todas as emissões geradas desde a produção e transporte de cada matéria-prima utilizada para o fabrico do produto em causa (do berço) até ao momento em que esse mesmo produto está pronto a ser expedido pela ACI Portugal (até ao portão). A unidade funcional utilizada para o cálculo da pegada carbónica dos produtos foi de 1 kg.

Para cada referência, o cálculo foi dividido em três secções: Matérias-primas, Produção e Embalagem. Segue uma descrição de que parâmetros estão incluídos em cada secção e como se procedeu ao cálculo em cada uma delas.

**Matérias-primas:** Nesta secção incluem-se o consumo de cada matéria-prima por 1kg de produto, a pegada carbónica associada a cada matéria-prima (informação dada por cada fornecedor), o transporte de cada matéria-prima até à ACI Portugal e a pegada carbónica associada a cada um desses transportes, o modo de embalagem de cada matéria-prima, o desperdício gerado pela embalagem de cada uma das matérias-primas e a pegada carbónica associada ao manuseamento de cada desperdício.

No anexo 1 encontra-se uma imagem representativa de todos os parâmetros e como é calculada a pegada carbónica desta secção. Por questões de confidencialidade, a informação apresentada é meramente indicativa.

Resumindo, o cálculo da pegada carbónica da secção das matérias-primas consiste na soma da pegada carbónica associada às matérias-primas com a pegada carbónica associada ao transporte e com a pegada carbónica associada ao manuseamento de cada desperdício. Esta soma é, posteriormente, dividida pela unidade funcional, no caso, 1 kg. O valor obtido estará representado nas unidades de kg CO<sub>2</sub>/kg produto.

**Produção:** Nesta secção incluem-se todos os parâmetros associados à energia (fator de consumo de energia e respetivo consumo de energia para 1 kg de produto, fator de emissão de CO<sub>2</sub> associado à eletricidade e respetiva pegada carbónica associada à energia consumida), água (consumo de água para 1 kg de produto e respetiva pegada carbónica associada à água consumida), óleo (consumo de óleo para 1 kg de produto, transporte do óleo até à ACI Portugal e a pegada carbónica associada a esse transporte), materiais auxiliares, no caso, lâminas e filtros (número de lâminas/filtros utilizados durante a produção de 1 kg de produto, transporte de cada material até à ACI Portugal e a pegada carbónica associada a cada um desses transportes) e, por último, desperdício (desperdício gerado, que neste caso foi calculado através de uma estimativa do desperdício gerado durante o fabrico dos produtos, transporte do desperdício até ao operador de resíduos e pegada carbónica associada a este transporte).

No anexo 2 estão representados todos os parâmetros e como é calculada a pegada carbónica desta secção. Por questões de confidencialidade, a informação apresentada é meramente indicativa.

Resumindo, o cálculo da pegada carbónica da secção da produção consiste na soma dos 6 parâmetros seguintes: a pegada carbónica associada ao consumo de energia, a pegada carbónica associada ao consumo de água, a pegada carbónica associada ao transporte do óleo consumido, a pegada carbónica associada ao transporte das lâminas e filtros utilizados e a pegada carbónica associada ao transporte do desperdício gerado até ao operador de resíduos. Esta soma é, posteriormente, dividida pela unidade funcional, no caso, 1 kg. O valor obtido estará representado nas unidades de kg CO<sub>2</sub>/kg produto.

**Embalagem:** Nesta secção inclui-se o consumo de cada componente, pertencente à embalagem do produto acabado da ACI Portugal, por 1 kg de produto, a pegada carbónica associada a cada componente, o transporte de cada componente até à ACI Portugal e a pegada carbónica associada a cada um destes transportes.

O anexo 3 é representativo de todos os parâmetros e de como é calculada a pegada carbónica desta secção. Por questões de confidencialidade, a informação apresentada é meramente indicativa.

Em resumo, o cálculo da pegada carbónica da secção da embalagem consiste na soma da pegada carbónica associada aos componentes utilizados na embalagem com a pegada carbónica decorrente do transporte destes. Esta soma é, posteriormente, dividida pela unidade funcional, no caso, 1 kg. O valor obtido estará representado nas unidades de kg CO<sub>2</sub>/kg produto.

Por último, de modo a obter a pegada carbónica do produto (PCF) é necessário somar a pegada associada a cada uma das três secções – Matérias-primas, Produção e Embalagem, o valor obtido deverá estar representado nas unidades de kg CO<sub>2</sub>/kg produto.

Para avaliar a pegada carbónica de produto de todas as referências da ACI Portugal, fez-se a distribuição destas por família de produtos: PE, PP, PVC e SIR. Para cada família de produtos, e de modo a analisar mais facilmente os valores obtidos, efetuou-se a média da pegada carbónica de produto obtida para as referências correspondentes a essa família. Na tabela abaixo (tabela 9) encontram-se detalhados os valores médios obtidos para a pegada carbónica de produto (PCF) para as várias famílias de produtos e, também, a pegada carbónica associada a cada secção e respetivas percentagens.

**Tabela 9:** Média da pegada carbónica de produto (PCF) total, associada às várias famílias de produtos da ACI Portugal, pegada carbónica de produto associada a cada secção e respetivas percentagens.

	PE		PP		PVC		SIR	
	PCF (kg CO <sub>2</sub> /kg produto)	Percentagem (%)	PCF (kg CO <sub>2</sub> /kg produto)	Percentagem (%)	PCF (kg CO <sub>2</sub> /kg produto)	Percentagem (%)	PCF (kg CO <sub>2</sub> /kg produto)	Percentagem (%)
Matérias-primas	1,8552	83,151	1,5612	80,791	1,8509	83,999	2,5478	89,548
Produção	0,35421	15,876	0,34946	18,085	0,33086	15,016	0,20695	7,2736
Embalagem	0,021718	0,97342	0,021718	1,1239	0,021718	0,98565	0,090424	3,1781
<b>Total</b>	<b>2,2311</b>	<b>100,00</b>	<b>1,9323</b>	<b>100,00</b>	<b>2,2035</b>	<b>100,00</b>	<b>2,8452</b>	<b>100,00</b>

Analisando os valores da pegada carbónica obtidos através da média de todas as referências das famílias de produtos fabricados atualmente na ACI Portugal, é possível verificar, primeiramente, que a pegada carbónica de produto (PCF) apresenta valores médios entre os 1,9323 kg CO<sub>2</sub>/kg produto e os 2,8452 kg CO<sub>2</sub>/kg produto. Sendo que a família dos produtos de silicone (SIR) é a que apresenta o maior valor médio das quatro famílias e a família dos polipropilenos (PP) o menor valor médio. No geral, das três secções que constituem o total da pegada carbónica de uma referência de qualquer uma das quatro famílias de produtos, a secção de matérias-primas é aquela que mais contribui para o valor total da pegada carbónica do produto, correspondendo a um intervalo de 80% a 89% do valor desta. A secção da produção é a segunda maior contribuidora para este valor, correspondendo a um intervalo de 7% a 18% e, por último, segue a secção da embalagem que corresponde a um intervalo de 0,98% a 3% do valor total da pegada carbónica.

A tão elevada contribuição da secção de matérias-primas para as referências fabricadas pela ACI Portugal está relacionada com diversos fatores, como a já existente pegada carbónica associada a cada matéria-prima utilizada (valores na sua maioria partilhados pelo fornecedor de cada uma das matérias-primas) e o transporte de cada uma destas matérias-primas dos seus locais de origem até às instalações da ACI Portugal. Este transporte envolve, na maioria das matérias-primas utilizadas, longas viagens de camião, e, ocasionalmente, de navio. Quanto mais longas as viagens, mais emissões de CO<sub>2</sub> são geradas. Para o caso das referências das famílias dos PE e PP, é de notar que a pegada carbónica associada a esta secção será tanto maior quanto mais matérias-primas forem utilizadas no produto tal como acontece nestas famílias, pois possuem um vasto número de matérias-primas e, por isso, a contribuição desta secção para a pegada carbónica do produto (PCF) será, logicamente, elevada. No caso dos PVC, apesar das referências destas famílias não terem um número tão elevado de matérias-primas como os PE e PP, a maior contribuição poderá ser justificada, adicionalmente ao já exposto acima, pelas pegadas carbónicas associadas às matérias-primas que, na generalidade destas referências, são bastante elevadas. A família dos SIR é a que tem referências com o menor número de matérias-primas das quatro famílias de produtos. No entanto, a totalidade destas matérias-primas é proveniente de origens de produção bastante distantes, envolvendo, quase sempre, o transporte destas não só por camião, mas, também, por navio, o que, tal como já referido, contribui fortemente para o aumento das emissões de CO<sub>2</sub>.

Para a secção da produção, apesar do valor da pegada carbónica obtido não ser muito elevado, os fatores que mais contribuem para este valor são o consumo de água, o transporte do óleo e materiais auxiliares para a ACI Portugal bem como o transporte de resíduos da fábrica para o operador de resíduos. O consumo de energia tem um valor relativamente baixo, mas poderá ainda ser reduzido através de uma maior utilização de energias renováveis.

O valor da pegada carbónica associado à secção da embalagem é bastante baixo, contribuindo de uma forma extremamente reduzida para a pegada carbónica das referências das várias famílias de produtos.

Tanto para a secção da produção como para a secção da embalagem, as referências da família dos SIR têm algumas exceções em relação às restantes famílias de produtos. Para a secção da produção, o valor da pegada carbónica obtido é bastante baixo, principalmente quando comparado com os valores obtidos para as referências das restantes famílias de produtos. Este decréscimo deve-se à não utilização de materiais auxiliares na produção das referências desta família de produtos, sendo que, nesse caso, os maiores fatores contributivos são o consumo de água, o transporte de óleo e o transporte de resíduos da fábrica para o operador de resíduos. O consumo de energia tem um valor ainda mais baixo que nas restantes famílias, mas, à semelhança dessas, poderá ainda ser reduzido através de uma maior utilização de energias renováveis. Contrariamente ao que acontece na secção da produção das referências de SIR, o valor da pegada carbónica associado à secção da embalagem aumenta ligeiramente em relação ao valor associado às referências das outras famílias de produtos já apresentadas. Este aumento deve-se ao facto de os produtos à base de silicone requererem uma embalagem específica com características que consigam manter as temperaturas baixas durante todo o transporte destas referências, de modo a manter as propriedades do silicone.

Em suma, como já foi analisado acima, as várias famílias de produtos têm valores que poderão ser considerados semelhantes, variando entre 1,9232 kg CO<sub>2</sub>/kg produto e 2,8452 kg CO<sub>2</sub>/kg produto. A secção das matérias-primas é a que mais contribui, em todas as famílias de produtos, para a pegada carbónica de produto, seguida da secção da produção e, por último, da secção da embalagem. No próximo tópico serão estudadas as estratégias e ações de redução em implementação, e a serem futuramente implementadas, na ACI Portugal, com o objetivo principal de reduzir a pegada carbónica ou emissões de CO<sub>2</sub> geradas.

## **5.2. Estratégias e ações de redução da pegada carbónica**

Tal como já foi referido anteriormente, é de extrema importância estudar a possibilidade de implementação de estratégias e ações que contribuam de uma forma positiva para a redução da pegada carbónica dos produtos e, também, das outras atividades levadas a cabo pela empresa, de modo a atingir os objetivos estabelecidos para a neutralidade carbónica, diminuindo as emissões de gases com efeito de estufa e, conseqüentemente, mitigando as alterações climáticas e o aquecimento global.

Neste tópico serão apresentadas e analisadas as estratégias de redução da pegada carbónica em estudo, para posteriormente serem implementadas, e, em alguns casos, já em implementação, na ACI Portugal. Apesar de algumas das estratégias em estudo nesta empresa não terem tido, inicialmente, como principal objetivo a redução da pegada carbónica, estas possuíam outros objetivos também relevantes, nomeadamente a redução dos resíduos e desperdícios gerados pelos processos de produção desta empresa, a redução do consumo de recursos, entre outras e, mesmo que não intencionalmente, poderão contribuir fortemente para a redução da pegada carbónica. É de notar que uma estratégia que promova a economia circular, ou o desenvolvimento sustentável, ou ambos, é considerada uma estratégia relevante, mesmo que não tenha um impacto muito elevado na redução das emissões de CO<sub>2</sub>. Visto que todos os esforços são importantes para atingir os objetivos estabelecidos pelas políticas ambientais, a implementação destas estratégias de gestão ambiental é imperativa, apresentando muitos benefícios a longo prazo.

Na ACI Portugal estão a ser estudadas, para posterior implementação, as seguintes estratégias, com o objetivo não só de reduzir a pegada carbónica, ou emissões de CO<sub>2</sub> geradas, como também de fomentar a economia circular e a sustentabilidade:

- Utilização de Big-bags reciclados – O fornecedor de Big-bags da ACI Portugal produz, de momento, Big-bags de cor branca com uma percentagem do seu material reciclado, mantendo, todavia, a sua resistência e capacidade. Esta estratégia já se encontra em implementação e, para além de ser benéfica para a redução da pegada carbónica, promove a circularidade, evitando a exploração intensiva de recursos. Esta implementação será, assim que possível, expandida para os Big-bags das restantes cores utilizadas na ACI Portugal.
- Enchimento das latas de aerossóis – Esta estratégia já se encontra em implementação na ACI Portugal, consistindo num sistema de enchimento das latas de aerossóis utilizadas para a manutenção das máquinas, tendo vantagens na redução do desperdício gerado pela utilização única das latas de aerossóis.
- Instalação de painéis solares – A instalação de painéis solares na cobertura do edifício da ACI Portugal, permitindo um aumento da utilização de energias renováveis e, conseqüentemente, uma redução das emissões de CO<sub>2</sub> geradas pelo consumo de eletricidade. Esta estratégia ainda se encontra em fase de estudo.
- Reaproveitamento da água utilizada nos processos produtivos – Esta medida ainda se encontra em fase de estudo. O objetivo é reaproveitar a água previamente utilizada nos processos produtivos após um simples tratamento para a remoção de impurezas que possam estar presentes na mesma. Esta estratégia teria visíveis

vantagens no consumo de água, reduzindo-o fortemente, o que levaria a uma redução das emissões de CO<sub>2</sub> geradas por este recurso e, também, um menor gasto deste bem tão precioso.

- Reaproveitamento de elementos de cartão na embalagem do produto acabado – Alguns dos elementos de cartão presentes na embalagem das matérias-primas apresentam as características ideais para a sua reutilização na embalagem do produto acabado da ACI Portugal. Esta estratégia já se encontra em implementação e tem claras vantagens na redução do desperdício gerado pela embalagem das matérias-primas.
- Substituição das bombas de vácuo – Esta medida ainda se encontra em fase de estudo, as atuais bombas de vácuo instaladas nas linhas de produção consomem bastante água. A substituição destas por bombas que requerem pouco, ou nenhum, consumo de água resultará numa redução significativa do seu consumo.
- Incorporação de matérias-primas recicladas nas formulações – Tal como já referido em tópicos anteriores, a utilização de materiais reciclados nos produtos é uma estratégia bastante eficaz para a redução da pegada carbónica, dando destaque à economia circular e diminuindo a quantidade de recursos renováveis utilizados. Na ACI Portugal, esta estratégia já se encontra em implementação, em parceria com alguns clientes, com a incorporação de uma matéria-prima reciclada nas formulações de determinadas referências, tendo resultado numa eficaz redução da pegada carbónica das referências em causa.
- Incorporação de matérias-primas com base biológica nas formulações – Esta estratégia ainda está em estudo, mas, à semelhança das matérias-primas recicladas, esta é uma das estratégias mais utilizadas para atingir reduções na pegada carbónica e, no caso da ACI Portugal, consistiria em introduzir uma percentagem destas matérias-primas na formulação de algumas das referências produzidas.
- Reincorporação das purgas nos processos produtivos – As purgas obtidas na produção das referências da ACI Portugal são uma das maiores fontes de desperdício gerado. Ao reincorporá-las no processo, sendo previamente trituradas até ao tamanho de grânulos, seria possível reduzir fortemente o desperdício gerado pelos processos produtivos e, adicionalmente, ao favorecer a economia circular, reduzir o consumo de matérias-primas.

A ACI Portugal está fortemente comprometida em estudar e implementar novas estratégias e ações que permitam reduzir a pegada carbónica dos seus produtos e atividades e que favoreçam modelos de gestão como a economia circular e o desenvolvimento sustentável,

diminuindo o consumo de recursos renováveis e não renováveis, promovendo a reutilização dos recursos que já foram previamente explorados e consumidos. As estratégias que já se encontram em implementação têm demonstrado atingir as expectativas descritas anteriormente, ajudando a alcançar os objetivos de mitigação das alterações climáticas e prevenção do aquecimento global, delineados pelas políticas ambientais nacionais e internacionais.

## 6. Conclusões e perspectivas futuras

O presente relatório de estágio tem como principal objetivo avaliar a situação atual da pegada carbónica associada aos produtos e atividades da empresa ACI – *Automotive Compounding Industry* Portugal e, posteriormente, estudar e implementar estratégias e ações que contribuam positivamente para a redução da pegada carbónica, reduzindo as emissões de CO<sub>2</sub> geradas pela fábrica e, assim, prevenir e mitigar as alterações climáticas e o aquecimento global. Adicionalmente, o planeamento de estratégias que favoreçam também a economia circular e a sustentabilidade é de extrema importância. Estas poderão permitir atingir os objetivos de neutralidade carbónica estipulados pelas políticas ambientais nacionais e internacionais, na medida em que reduzem o consumo de recursos renováveis e não renováveis e os desperdícios gerados, reutilizando aquilo que já se encontra disponível no nosso planeta, evitando a exploração intensiva de recursos.

Os resultados obtidos, no âmbito deste relatório de estágio, para as emissões de CO<sub>2</sub> geradas pelas atividades gerais da ACI Portugal foram bastante elevados tendo havido, na maior parte dos parâmetros estudados, um aumento significativo das emissões de CO<sub>2</sub> no ano 2022, comparativamente ao ano 2021. Este aumento poderá ser justificado principalmente pelo aumento na produção desta empresa no ano 2022, o que, numa situação normal, leva a um maior consumo de recursos. Assim, é imperativo que sejam estudadas e implementadas estratégias de redução das emissões de CO<sub>2</sub> e de consumo de recursos, principalmente para parâmetros como o consumo de energia e água, o manuseamento dos resíduos gerados e as viagens da frota da empresa, que são diretamente controlados pela organização, sem comprometer a produtividade da empresa. Os restantes parâmetros são controlados por entidades e organizações externas, e, por isso, não são facilmente reduzidos pela ACI Portugal.

Quanto à pegada carbónica dos produtos fabricados pela ACI Portugal, os valores médios obtidos para cada família de referências foram de 2,2311 kg CO<sub>2</sub>/kg produto para a família dos PE, 1,9323 kg CO<sub>2</sub>/kg produto para a família dos PP, 2,2035 kg CO<sub>2</sub>/kg produto para a família dos PVC e, por último, 2,8452 kg CO<sub>2</sub>/kg produto para a família dos SIR. O valor médio de pegada carbónica mais elevado foi o das referências da família dos produtos de silicone (2,8452 kg CO<sub>2</sub>/kg produto) e o mais baixo foi o das referências da família dos produtos de polipropileno (1,9323 kg CO<sub>2</sub>/kg produto). A secção das matérias-primas é a que apresenta, para todas as famílias de produtos, uma maior contribuição para pegada carbónica dos produtos, seguida da secção de produção e, por último, a secção da embalagem. De modo a reduzir a pegada carbónica associada aos produtos fabricados na ACI Portugal, já se encontram em implementação algumas estratégias e ações, que podem ser consideradas, até ao momento, eficazes devido ao seu contributo positivo para a

redução das emissões de CO<sub>2</sub> associadas aos produtos. É de esperar que as estratégias que ainda se encontram em fase de estudo sejam igualmente eficazes para a redução da pegada carbónica e, também, para a redução do consumo de recursos e geração de desperdícios.

Futuramente, a ACI Portugal pretende continuar a analisar possíveis estratégias e ações benéficas para a redução da pegada carbónica, do consumo de recursos de fontes renováveis e não-renováveis e dos desperdícios gerados para, posteriormente, implementar nos seus produtos, processos produtivos e atividades, trabalhando para atingir o objetivo de neutralidade carbónica estabelecido para o ano 2050. O levantamento da situação atual da pegada carbónica e posterior análise e implementação de estratégias para a sua redução será, também, um procedimento a aplicar nas restantes fábricas do grupo, de modo que o grupo Perplastic/ACI possa contribuir inteiramente para a mitigação e prevenção das alterações climáticas e aquecimento global. Para além disso, a fim de standardizar a pegada carbónica nos processos de seleção de matérias-primas, deverão ser introduzidas alterações que permitam que fatores como a pegada carbónica associada a cada uma das matérias-primas em causa, a distância da origem de produção destas e o seu modo de transporte sejam relevantes para a escolha das matérias-primas. Permitindo que seja possível reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> associadas aos produtos fabricados, antes sequer da produção das referências em causa serem efetuadas. Desta forma, as estratégias para a mitigação das alterações climáticas passam a ser utilizadas não só para remediar as emissões de GEE já geradas, mas, principalmente, para serem utilizadas como prevenção da geração destas emissões.

## 7. Referências Bibliográficas

- Aguilar Esteva, L.C., Kasliwal, A., Kinzler, M.S., Kim, H.C., Keoleian, G.A., 2021. Circular economy framework for automobiles: Closing energy and material loops. *Journal of Industrial Ecology* 25(4), 877-889.
- Al Mamun, A., Chen, J.Y., 2020. Industrial applications of biopolymers and their environmental impact. CRC Press.
- Alsabri, A., Al-Ghamdi, S.G., 2020. Carbon footprint and embodied energy of PVC, PE, and PP piping: Perspective on environmental performance. *Energy Reports* 6, 364-370.
- Barillari, F., Chini, F., 2020. Biopolymers-sustainability for the automotive value-added chain. *ATZ worldwide* 122(11), 36-39.
- Beyer, G., 2021. *The Global Cable Industry: Materials, Markets, Products*. John Wiley & Sons.
- Czerwinski, F., 2021. Current trends in automotive lightweighting strategies and materials. *Materials Today: Proceedings* 14(21), 6631.
- da Silva, D.J., Wiebeck, H., 2020. Current options for characterizing, sorting, and recycling polymeric waste. *Progress in Rubber, Plastics Recycling Technology* 36(4), 284-303.
- Dimitrov, R.S., 2016. The Paris agreement on climate change: Behind closed doors. *Global environmental politics* 16(3), 1-11.
- Drohomeretski, E., da Costa, S.E.G., de Lima, E.P., de Oliveira Neves, T.R., 2015. The Application of sustainable practices and performance measures in the automotive industry: a systematic literature review. *Engineering management journal* 27(1), 32-44.
- Dubey, A., Arora, A., 2022. Advancements in carbon capture technologies: A review. *Journal of Cleaner Production*, 133932.
- Durojaye, O., Laseinde, T., Oluwafemi, I., 2020. A descriptive review of carbon footprint, Human Systems Engineering and Design II: Proceedings of the 2nd International Conference on Human Systems Engineering and Design (IHSED2019): Future Trends and Applications, September 16-18, 2019, Universität der Bundeswehr München, Munich, Germany. Springer, pp. 960-968.
- GHG, 2011. Greenhouse Gas Protocol, Governance process for developing standards and guidance. Greenhouse Gas Protocol.
- GHG, 2015. Greenhouse Gas Protocol, A Corporate Accounting and Reporting Standard. Greenhouse Gas Protocol.
- Ghosh, M., Ghosh, A., Roy, A., 2020. Renewable and sustainable materials in automotive industry. *Encyclopedia of Renewable Sustainable Materials*, 162-179.
- Giampieri, A., Ling-Chin, J., Taylor, W., Smallbone, A., Roskilly, A., 2019. Moving towards low-carbon manufacturing in the UK automotive industry. *Energy Procedia* 158, 3381-3386.
- Gilbert, M., 2017. *Plastics materials: Introduction and historical development*, Brydson's plastics materials. Elsevier, pp. 1-18.
- Gohoungodji, P., N'Dri, A.B., Latulippe, J.-M., Matos, A.L.B., 2020. What is stopping the automotive industry from going green? A systematic review of barriers to green innovation in the automotive industry. *Journal of Cleaner Production* 277, 123524.

- Greene, J.P., 2021. *Automotive Plastics and Composites: Materials and Processing*. William Andrew.
- Gupta, C.P., Patel, A.R., 2022. Sustainable Supply Chain for Automotive Industry, 2022 IEEE 10th Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC). IEEE, pp. 155-160.
- Hirz, M., Nguyen, T.T., 2022. Life-cycle CO<sub>2</sub>-equivalent emissions of cars driven by conventional and electric propulsion systems. *World Electric Vehicle Journal* 13(4), 61.
- Hovorun, T.P., Berladir, K.V., Pererva, V., Rudenko, S., Martynov, A., 2017. Modern materials for automotive industry. *Journal of Engineering Sciences*.
- ISO, 2006a. ISO 14040:2006, Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO, 2006b. ISO 14044:2006, Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO, 2018. ISO 14067:2018, Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Kayikci, Y., Kazancoglu, Y., Lafci, C., Gozacan, N., 2021. Exploring barriers to smart and sustainable circular economy: The case of an automotive eco-cluster. *Journal of Cleaner Production* 314, 127920.
- Khan, S.A.R., Umar, M., Asadov, A., Tanveer, M., Yu, Z., 2022. Technological revolution and circular economy practices: a mechanism of green economy. *Sustainability* 14(8), 4524.
- Kulkarni, G.S., 2018. Introduction to polymer and their recycling techniques, *Recycling of Polyurethane Foams*. Elsevier, pp. 1-16.
- Li, C., Yang, Y., Xu, G., Zhou, Y., Jia, M., Zhong, S., Gao, Y., Park, C., Liu, Q., Wang, Y., 2022. Insulating materials for realising carbon neutrality: Opportunities, remaining issues and challenges. *High Voltage* 7(4), 610-632.
- Liobikienė, G., Butkus, M., 2017. The European Union possibilities to achieve targets of Europe 2020 and Paris agreement climate policy. *Renewable Energy* 106, 298-309.
- Lokensgard, E., 2016. *Industrial plastics: theory and applications*. Cengage Learning.
- Martinez Sanz, V., Morales Serrano, A., Schlummer, M., 2022. A mini-review of the physical recycling methods for plastic parts in end-of-life vehicles. *Waste Management Research* 40(12), 1757-1765.
- Merrington, A., 2017. Recycling of plastics, *Applied plastics engineering handbook*. Elsevier, pp. 167-189.
- Ministros, P.d.C.d., 2019. Resolução do Conselho de Ministros n.º 107/2019, de 1 de julho. *Diário da República* n.º 123/2019, Série I de 2019-07-01, pp. 3208-3299.
- Mohanty, A.K., Wu, F., Mincheva, R., Hakkarainen, M., Raquez, J.-M., Mielewski, D.F., Narayan, R., Netravali, A.N., Misra, M., 2022. Sustainable polymers. *Nature Reviews Methods Primers* 2(1), 46.
- Nadda, A.K., 2022. *Biopolymers: Recent Updates, Challenges and Opportunities*.

Naffin, J., Klewitz, J., Schaltegger, S., 2023. Sustainable development of supplier performance. An empirical analysis of relationship characteristics in the automotive sector. *Corporate Social Responsibility Environmental Management*.

Nations, U., 2015. The Paris Agreement. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>. (Accessed 17th of may 2023).

Patil, A., Patel, A., Purohit, R., 2017. An overview of polymeric materials for automotive applications. *Materials Today: Proceedings* 4(2), 3807-3815.

Portuguesa, R., 2019. Roteiro para a Neutralidade Carbónica (RNC 2050). [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/RNC2050\\_PT-22-09-2019.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/RNC2050_PT-22-09-2019.pdf). (Accessed 17th of may 2023).

Pradeep, S.A., Iyer, R.K., Kazan, H., Pilla, S., 2017. Automotive applications of plastics: past, present, and future, *Applied Plastics Engineering Handbook*. Elsevier, pp. 651-673.

Rujnić-Sokele, M., Pilipović, A., 2017. Challenges and opportunities of biodegradable plastics: A mini review. *Waste Management Research* 35(2), 132-140.

Salvado, M.F., Azevedo, S.G., Matias, J.C., Ferreira, L.M., 2015. Proposal of a sustainability index for the automotive industry. *Sustainability* 7(2), 2113-2144.

Shah, V., Bhaliya, J., Patel, G.M., Deshmukh, K., 2022. Advances in polymeric nanocomposites for automotive applications: A review. *Polymers for Advanced Technologies* 33(10), 3023-3048.

Shi, S., Yin, J., 2021. Global research on carbon footprint: A scientometric review. *Environmental Impact Assessment Review* 89, 106571.

Sohn, Y.J., Kim, H.T., Baritugo, K.A., Jo, S.Y., Song, H.M., Park, S.Y., Park, S.K., Pyo, J., Cha, H.G., Kim, H., 2020. Recent advances in sustainable plastic upcycling and biopolymers. *Biotechnology journal* 15(6), 1900489.

Staniszewska, E., Klimecka-Tatar, D., Obrecht, M., 2020. Eco-design processes in the automotive industry. *Production Engineering Archives* 26.

van Bruggen, A.R., Zonneveld, M., Zipp, M.C., Posthuma, L., 2022. Solution-focused sustainability assessments for the transition to the circular economy: The case of plastics in the automotive industry. *Journal of Cleaner Production* 358, 131606.

Vaz, C.R., Rauen, T.R.S., Lezana, Á.G.R., 2017. Sustainability and innovation in the automotive sector: A structured content analysis. *Sustainability* 9(6), 880.

Vieyra, H., Molina-Romero, J.M., Calderón-Nájera, J.d.D., Santana-Díaz, A., 2022. Engineering, Recyclable, and Biodegradable Plastics in the Automotive Industry: A Review. *Polymers* 14(16), 3412.

Villanueva-Rey, P., Belo, S., Quinteiro, P., Arroja, L., Dias, A., 2018. Wiring in the automobile industry: Life cycle assessment of an innovative cable solution. *Journal of Cleaner Production* 204, 237-246.

Zheng, J., Suh, S., 2019. Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics. *Nature Climate Change* 9(5), 374-378.

## **8. Anexos**

**Anexo 1:** Imagem representativa dos parâmetros incluídos no cálculo da pegada carbónica associada à secção das matérias-primas.

Component	Functional unit (kg)		R.M Carbon footprint		Transportation Production site - Distribution site					Transportation Distribution site - Client				CO2 Transportation		
	Raw material	Consumption	kg CO2e/kg	kg CO2 M.P	Production site	Type of transport	Quant./transport	Nº transports Truck	Nº transports Boat	Distribution site	Type of transport	Quant./transport	Nº transports Truck	kg CO2 Production - Distribution	kg CO2 Distribution - Client	kg CO2 Transportation
POLYMER 1	M.P 1	0.11090	2.7700	0.30719	Origin A	Truck	10000	0.000011090		Directly delivered from the production site				1678.4		0.018613
POLYMER 2	M.P 2	0.11500	2.3200	0.26680	Origin B	Boat	20000		0.0000057500	Distributor A	Truck	4200.0	2.7381E-05	708.61	39.720	0.0051621
POLYMER 3	M.P 3	0.090500	1.5100	0.13666	Origin C	Boat	24750		3.6566E-06	Distributor B	Truck	24750	3.6566E-06	592.33	157.75	0.0027427
ADITIVE 1	M.P 4	0.10340	1.9900	0.20577	Origin D	Truck	12100		8.5455E-06	Directly delivered from the production site				810.78		0.0069285
ADITIVE 2	M.P 5	0.25060	1.0100	0.25311	Origin E	Truck	20000	0.000012530		Distributor C	Truck	20000	0.000012530	2626.0	1572.0	0.052601
ADITIVE 3	M.P 6	0.13060	0.10178	0.013292	Origin F	Truck	20000	0.0000065300		Distributor D	Truck	2000.0	0.0000065300	1.6700	423.62	0.027673
CHARGE 1	M.P 7	0.026000	1.3400	0.034840	Origin G	Truck	20000	0.0000013000		Distributor E	Truck	5000.0	0.0000052000	1509.1	45.400	0.0019799
CHARGE 2	M.P 8	0.17300	5.2200	0.90306	Origin H	Truck	20000	0.0000086500		Directly delivered from the production site				1943.2		0.016809
		1.0000	16.262	2.1207				4.8645E-05	9.4066E-06				0.00011407	9870.1	2238.5	0.13273

Raw material	Packaging mode of the raw materials											
	kg/package	Type/quantity per unit	Pallet type	Pallet/package	Quant. Bags/pallet	Quant. Plastic Bags	Quant. Paper Bags	Quant. BBs	Quant. Wood Pallets	Quant. Plast. Pallets		
M.P 1	500,00	Plastic Bag	20,000	Wood	1,0000	25,000	0,0055450		0,00022180			
M.P 2	600,00	Plastic Bag	20,000	Wood	1,0000	30,000	0,0057500		0,00019167			
M.P 3	1375,0	Plastic Bag	25,000	Wood	1,0000	55,000	0,0036200		0,000065818			
M.P 4	605,00	Plastic Bag	11,000	Wood	1,0000	55,000	0,0094000		0,00017091			
M.P 5	1000,0	Big-Bag	500,00	Wood	1,0000	2,0000		0,00050120	0,00025060			
M.P 6	1000,0	Plastic Bag	25,000	Wood	1,0000	40,000	0,0052240		0,00013060			
M.P 7	500,00	Plastic Bag	25,000	Wood	1,0000	20,000	0,0010400		0,000052000			
M.P 8	1000,0	Plastic Bag	25,000	Wood	1,0000	40,000	0,0069200		0,00017300			
						0,037499	0	0,00050120	0,0012564	0		
						Weight (kg)	0,044999	0	0,0017542	0,025128	0	TOTAL kg CO2
						kg CO2 Waste	0,00089998	0	0,00080693	0,0092533	0	0,010960212

**Anexo 2:** Imagem representativa dos parâmetros incluídos no cálculo da pegada carbónica associada à secção da produção.

Functional unit (kg)	Energy					Water		Oil					
	Consumption factor (kW/kg)	Energy consumption (kW)	Emission factor CO2	kg CO2	ton CO2	Water consumption	kg CO2 Water	kg CO2 Oil	Oil consumption	Quant./trans.	Nº transports Truck	kg CO2	kg CO2 transport
1,0000	0,12528	0,12528	0,27300	0,034201	3,4201E-05	0,33787	0,11150		0,00011910	200,00	5,9550E-07	2760,0	0,0016436

Filters						Blades					
CO2 filters	Filters used	Quant./transport	Nº transports Truck	kg CO2	kg CO2 transport	CO2 blades	Blades used	Quant./transporte	Nº transports Truck	kg CO2	kg CO2 transport
	1,0000	250,00	0,0040000	50,00	0,20000		0,00013951	200,00	6,9757E-07	2870,0	0,0020020

Waste		Waste transportation					CO2 waste transportation	
Waste percentage	Waste generated	Expedition site	Destination	Logistics flow	Quant./transport	Nº transports Truck	kg CO2	kg CO2 transportation
1,5000%	0,015000	Guarda	Leiria	Guarda - Leiria	20000	0,00000075000	162,27	0,00012170

**Anexo 3:** Imagem representativa dos parâmetros incluídos no cálculo da pegada carbónica associada à secção da embalagem.

Functional unit	1,0000	kg/package	Package Carbon Footprint		Transportation Production site - Distribution site				Transportation Distribution site - Client				CO2 transportation		
			Component	Consumption	kg CO2e/kg	kg CO2 pack.	Production site	Type of transport	Quant./transport	Nº transports Truck	Distribution site	Type of transport	Quant./transport	Nº transports Truck	kg CO2
Stretch film	0,00066667	750,00	2,7900	0,0018600	Origin I	Truck	1472,0	4,5290E-07		Directly delivered from the production site				109,30	4,9502E-05
Plastic Bag	0,00083333	850,00	1,8800	0,0015667	Origin J	Truck	2700,0	3,0864E-07		Directly delivered from the production site				109,30	3,3735E-05
Big-bags	0,00083333	170,00	3,2000	0,0026667	Origin L	Boat	20000	4,1667E-08	Distributor F	Truck	2775	3,0030E-07	1941,9	6,6406E-04	
Document holder	0,0025000	1000,0	0,62667	0,0015667	Origin M	Truck	80,000	3,1250E-05		Directly delivered from the production site				130,95	4,0922E-03
Cardboard roll	0,00081406	28,000	0,86000	0,00070009	Origin N	Truck	560,00	1,4537E-06		Directly delivered from the production site				147,51	2,1458E-04
Open top pallets	0,00083333	18,000	4,9600	0,0041333	Origin O	Truck	2700,0	3,0864E-07		Directly delivered from the production site				54,600	1,6852E-05
Closed top pallets	0,00083333	22,000	4,9600	0,0041333	Origin P	Truck	2200,0	3,7879E-07		Directly delivered from the production site				54,600	2,0682E-05
			<b>19,27666667</b>	<b>0,01662676</b>				<b>3,41943E-05</b>				3,0030E-07	<b>2548,3</b>	<b>0,0050916</b>	