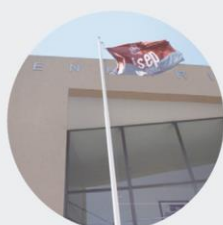




Avaliação da Sustentabilidade na Produção de Solas de Borracha Butadieno-Estireno (SBR)

ANDREIA FILIPA DA SILVA PEREIRA

novembro de 2021



Avaliação da Sustentabilidade na Produção de Solas de Borracha Butadieno-Estireno (SBR)

ANDREIA FILIPA DA SILVA PEREIRA
Outubro de 2021

Avaliação da Sustentabilidade na Produção de Solas de Borracha Butadieno – Estireno (SBR)

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em
Engenharia Química, ramo Energia e Biorrefinaria

Outubro 2021

AUTOR

Andreia Filipa da Silva Pereira

ORIENTAÇÃO

Doutora Luísa Sousa – Monteiro Footwear.

Doutora Manuela Garrido – ISEP

Doutor Jorge Garrido – ISEP

Agradecimentos

Prestes a terminar um dos capítulos mais importantes na minha vida, não poderia deixar de mostrar o meu sincero agradecimento a todos que, direta e indiretamente, contribuíram para o meu crescimento tanto a nível profissional como pessoal.

Começo por agradecer à empresa Monteiro Ribas – Indústrias S.A., por me proporcionar a realização deste estágio curricular. À Doutora Luísa Sousa, pela orientação dada, pelo apoio fornecido e por se mostrar disponível para partilhar o seu conhecimento e experiência.

Agradeço também a todos as outras pessoas da Monteiro Footwear pela maneira como me receberam e pela disponibilidade que mostraram ter sempre que necessário.

Aos orientadores do estágio no ISEP, Engenheira Manuela Garrido e Engenheiro Jorge Garrido, agradeço pela disponibilidade, paciência, ajuda e todo o apoio que me foi proporcionado ao longo deste semestre.

Quero agradecer especialmente aos meus pais, que sempre me ajudaram ao longo de todo o meu percurso académico, sempre acreditaram em mim e tornaram tudo isto possível.

Gostaria ainda de agradecer a todos os meus amigos, que sempre me acompanharam e apoiaram nos tempos mais difíceis. Obrigada por toda a paciência, força e amizade.

Muito obrigada a todos!

A preservação do meio ambiente tem merecido uma atenção sem precedentes por parte da sociedade, dos governos e dos agentes económicos entre os quais a Indústria Produtiva. A maior parte dos processos produtivos industriais continua a gerar impactos negativos no meio ambiente, pelo que a gestão ambiental tem vindo a assumir uma grande relevância na política empresarial das indústrias produtivas. Nesse sentido, uma das abordagens fundamentais é a gestão eficiente dos resíduos produzidos, nomeadamente na procura de soluções que permitam um melhor aproveitamento dos mesmos. A fileira do calçado, que constitui uma Indústria Produtiva de grande relevância para a economia nacional, tem vindo a investir ativamente neste tipo de abordagens.

O Grupo Monteiro Ribas integra uma unidade industrial intitulada Monteiro Footwear, que se dedica à produção de placas de borracha para a indústria do calçado. Estas placas são maioritariamente compostas pela borracha de butadieno-estireno (SBR).

Na Monteiro Footwear são desenvolvidas atividades que apresentam uma considerável geração de resíduos, tornando-se necessário proceder à sua correta gestão e, sempre que possível, à sua valorização. Ao longo da produção das placas são gerados diferentes tipos de resíduos nomeadamente o pó de SBR que é formado durante a fase de calibração das placas. Tendo como foco a valorização deste resíduo, o pó de borracha é recolhido através de um sistema de aspiração e armazenado com o objetivo de ser reincorporado numa gama de placas de borracha específica, tendo por base formulações de borracha nas quais o material reciclado funciona como carga de enchimento.

Neste trabalho, pretendeu-se realizar um estudo comparativo de sustentabilidade entre as placas de borracha SBR convencionais e as placas de borracha SBR incorporando sua composição 40% de pó de borracha reciclada. O estudo de sustentabilidade teve por base a utilização de Indicadores de Sustentabilidade Ambiental e uma ferramenta que auxilia os Sistemas de Gestão Ambiental, a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV).

O método de produção dos dois tipos de placas de borracha SBR é muito semelhante, uma vez que ambas são sujeitas às mesmas etapas de produção. Consequentemente, o consumo energético, o consumo de água e algumas emissões atmosféricas, principalmente de compostos orgânicos voláteis, associados à produção de ambas, é praticamente igual.

A principal diferença observada, envolve a obtenção de matérias-primas (MP) e todos os consumos e insumos associados às mesmas. A incorporação de 40% de pó reciclado na formulação das placas SBR reflete-se numa poupança significativa em termos de matérias-primas de cerca de 469 kg por cada 1000 kg de placas de borracha SBR produzidas e, conseqüentemente, numa poupança no consumo de combustíveis com origem fóssil (para a obtenção das matérias-primas e produção de energia utilizada no seu transporte) e, ainda, uma redução significativa em todas as emissões ambientais associadas a estes processos.

Pode-se concluir que a produção da placa de borracha SBR com incorporação de pó reciclado representa uma vantagem ambiental relativamente à placa de borracha SBR convencional. Esta vantagem reflete-se principalmente a nível da poupança que é feita em termos de matéria-prima virgem e a nível do aproveitamento de resíduos provenientes do processo de produção.

Relativamente a emissões de GEE associados ao transporte das matérias-primas para a produção de ambas as placas, determinou-se que no transporte das matérias-primas necessárias para a placa de borracha SBR com incorporação de pó dá-se uma emissão de 2,289 Mt CO₂ eq /ton e, para a placa de borracha SBR convencional esse valor é de 3,164 Mt CO₂ eq /ton. Ambos os valores correspondem a uma produção de 1000 kg de produto final (Unidade Funcional). Foi possível observar que a emissão de GEE no primeiro caso é cerca de 1,4 vezes inferior relativamente ao segundo, mostrando também uma clara vantagem.

No entanto, importa mencionar que estes estudos de sustentabilidade são demorados e complexos tornando-se, por isso, difícil chegar a valores concretos e conclusões assertivas.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Desenvolvimento Sustentável, Indicadores de Desenvolvimento Sustentável, Avaliação de Ciclo de Vida, Borracha Butadieno-Estireno, Pó de borracha reciclado.

The preservation of the environment has received unprecedented attention from society, governments and economic agents including the Productive Industry. Most industrial production processes continue to generate negative impacts on the environment, so environmental management has been taking on a great relevance in the business policy of the productive industries. In this sense, one of the fundamental approaches is the efficient management of waste produced, in the search for solutions that allow a better use of them. The footwear business, which is a Productive Industry of great relevance to the national economy, has been actively investing in these types of approaches.

The Monteiro Ribas Group is part of an industrial unit entitled Monteiro Footwear, which is dedicated to the production of rubber sheets for the footwear industry. These sheets are mostly composed of butadiene-styrene rubber (SBR).

At Monteiro Footwear, activities are developed that present a considerable generation of waste, making it necessary to carry out its correct management and, whenever possible, its recovery. Throughout the production of the sheets are generated different types of waste, namely the SBR powder that is formed during the calibration phase of the sheets. Focusing on the recovery of this residue, the rubber powder is collected through an aspiration system and stored to be re-incorporated into a specific rubber sheet range, based on rubber formulations on which the recycled material acts as a filling load.

In this work, it was intended to conduct a comparative study of sustainability between conventional SBR sheets and SBR sheets incorporating their composition 40% recycled rubber powder. The sustainability study was based on the use of Environmental Sustainability Indicators and a tool that assists the Environmental Management System, the Life Cycle Assessment (LCA).

The production method of the two types of SBR sheets is very similar, since both are subject to the same stages of production. Consequently, energy consumption, water consumption and some atmospheric emissions, mainly volatile organic compounds, associated with the production of both, are virtually the same.

The main difference observed involves obtaining raw materials (MP) and all consumption and insums associated with them. The incorporation of 40% of recycled powder in the formulation of SBR sheets is reflected in a significant savings in terms of raw materials of about 469 kg per 1000 kg of SBR sheets produced and, consequently, a saving in the consumption of fossil fuels (for obtaining the raw materials and energy production used in their transport) and reduction in all environmental emissions associated with these processes.

It can be concluded that the production of the SBR sheet with the incorporation of recycled powder represents an environmental advantage over the conventional SBR sheet. This advantage is mainly reflected in the savings that is made in terms of virgin raw material and in the use of waste from the production process.

Regarding Greenhouse Gas emissions (GHG) associated with the transport of raw materials to produce both sheets, it was determined that in the transport of the raw materials required for the SBR sheets with powder incorporation there is an emission of 2,289 Mt CO₂ eq/ton and, for the conventional SBR sheet this value is 3,164 Mt CO₂ eq/ton. Both values correspond to a production of 1000 kg of final product (functional unit). It was possible to observe that the GHG emission in the first case is about 1,4 times lower than the second, also showing a clear advantage.

However, it should be mentioned that these sustainability studies are time-consuming and complex, making it therefore difficult to reach concrete values and assertive conclusions.

Keywords: Sustainability, Sustainable Development, Sustainable Development Indicators, Life Cycle Assessment, Butadiene-Styrene Rubber, Recycled Rubber Powder

Índice

Capítulo 1	1
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento e apresentação dos objetivos	1
1.2. Apresentação da Empresa	1
1.3. Organização da Dissertação	3
Capítulo 2	5
2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO	5
2.1. Sociedade e Meio Ambiente	5
2.2. Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável	6
2.3. Desenvolvimento Sustentável em Portugal: Implementação da Agenda 2030. 9	
2.4. Indicadores de Desenvolvimento Sustentável	11
2.4.1. Aspetos Gerais	11
2.4.2. Indicadores de Sustentabilidade Ambiental na Indústria	13
Capítulo 3	19
3. GESTÃO AMBIENTAL	19
3.1. Gestão Ambiental e Indústria do Calçado	19
3.2. Avaliação do Ciclo de Vida	20
3.2.1. Definição do objetivo e do âmbito	23
3.2.2. Análise do inventário do ciclo de vida	25
3.2.3. Avaliação de impactes do ciclo de vida	26
3.2.4. Interpretação do ciclo de vida	28
Capítulo 4	29
4. CASO DE ESTUDO: PLACA DE BORRACHA SBR	29
4.1. Principais Matérias-Primas	29
4.1.1. Elastómero base: Borracha Butadieno-Estireno (SBR)	29

4.1.1.	Cargas ou Reforço	32
4.1.2.	Outros constituintes auxiliares de processo.....	34
4.2.	Processo de Produção das Placas de Borracha SBR.....	35
4.3.	Resíduos provenientes do processo de produção e reaproveitamento de desperdícios	36
4.4.	Aplicação das Placas de Borracha SBR e Ciclo de Vida.....	37
4.4.1.	Ciclo de Vida da Placa de borracha SBR	39
Capítulo 5	41
5.	ESTUDO DA SUSTENTABILIDADE POR MEIO DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE E COM BASE NA ANÁLISE DE ACV	41
5.1.	Definição do Objetivo.....	41
5.2.	Definição do Âmbito de estudo na perspectiva ACV.....	42
5.2.1.	Descrição do produto e Unidade Funcional	42
5.2.2.	Sistema de Produto	42
5.2.3.	Fronteiras do Sistema	44
5.2.4.	Limitações do estudo e critérios de exclusão de entradas e saídas do processo	45
5.3.	Inventário de Ciclo de Vida	45
5.3.1.	Procedimento de recolha de Dados	46
5.3.2.	A1: Obtenção das principais matérias-primas	46
5.3.3.	A2: Transporte matérias-primas até à Monteiro Footwear.....	47
5.3.4.	A3: Produção de placas de borracha.....	49
5.3.5.	A4: Acabamento/Pintura	52
5.3.6.	A5: Armazenamento/Embalamento	53
5.4.	Análise de Resultados: placas de borracha SBR convencional vs. placas de borracha SBR com incorporação de pó de borracha reciclado.	54
5.4.1.	Consumo Energético	54
5.4.2.	Consumo de Materiais	56

5.4.3. Consumo de Água	57
5.4.4. Emissões Atmosféricas.....	58
5.4.5. Produção e Gestão de Resíduos.....	60
Capítulo 6	63
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES FUTURAS	63
BIBLIOGRAFIA	65
ANEXOS	73
Anexo A: Dados sobre o transporte de Matérias-Primas.....	73
Anexo B: Consumo de materiais	74
Anexo C: Emissões de GEE associados ao transporte de matérias-primas.	76
Anexo D: Produção e geração de resíduos	79

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Empresa Monteiro, Ribas - Indústrias S.A ^[2]	2
Figura 2.1 - Pilares do Desenvolvimento Sustentável.	8
Figura 2.2 – Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) ^[13]	10
Figura 3.1 - Representação esquemática das fases de uma Avaliação de Ciclo de Vida ^[34]	21
Figura 3.2 - Procedimento simplificado para a análise de inventário ^[41]	26
Figura 3.3 - Elementos da fase de AICV ^[37]	27
Figura 4.1 – Ilustração da unidade de repetição da borracha SBR.	30
Figura 4.2 – Ilustração da estrutura molecular do 1,3-Butadieno.	30
Figura 4.3 – Ilustração da estrutura molecular do Estireno.	31
Figura 4.4 - Processo produtivo das placas de borracha na Monteiro Footwear.	35
Figura 4.5 – Constituição geral de um sapato.	38
Figura 4.6 - Sugestão de sola pré-fabricada retirada de uma placa pintada. a) parte exterior (em contacto com o solo); b) parte interior	39
Figura 4.7 - Ciclo de Vida das Placas de Borracha SBR.	39
Figura 5.1 - Atividades referentes à Avaliação de Ciclo de Vida em estudo.	43

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Principais indicadores ambientais associados às organizações ^[20]	14
Tabela 2.2 - Potencial de Aquecimento Global dos principais GEE ^[23]	16
Tabela 4.1 - Composição dos tipos de polímeros utilizados na formulação.	32
Tabela 5.1 - País de origem das MP necessárias para a produção de placas de borracha SBR normais.	48
Tabela 5.2 - País de origem das MP necessárias para a produção de placas de borracha SBR com incorporação de pó.	49
Tabela 5.3 - Constituição de uma placa de borracha SBR convencional e quantidade de MP necessárias para a produção de 1000 kg de placas (Unidade Funcional).	50
Tabela 5.4 - Constituição de uma placa de borracha SBR com incorporação de pó e quantidade de MP necessárias para a produção de 1000 kg de placas (Unidade Funcional).	50
Tabela 5.5 – Resíduos sólidos formados durante a produção de 1000 kg placas de borracha SBR de forma geral.	51
Tabela 5.6 - Quantidade de produtos químicos utilizados na fase de acabamento de placas.	52
Tabela 5.7 – Saída de material proveniente da fase de pintura no ano de 2019.	53
Tabela 5.8 - Resíduos Recicláveis Erro! Marcador não definido.	
Tabela 5.9 - Consumo Energético na Monteiro Footwear em MWh/ton de placas produzidas.	55
Tabela 5.10 - Consumo de água na Monteiro Footwear.	57
Tabela 5.11 - Tipos de resíduos sólidos com origem no processo de produção de placas.	61
Tabela 5.12 . Gestão de resíduos sólidos na Monteiro Footwear, no ano de 2019.	61
Tabela A.1 - Matérias-primas que compõe as placas normais de SBR e respetivo país de origem.	73
Tabela A.2 - Matérias-primas que compõe as placas com incorporação de pó e respetivo país de origem.	73

Tabela B.1 – Dados recolhidos relativamente à produção de placas no ano de 2019.....	68
Tabela C.1 – Tabela relativa aos GEE associados ao transporte de MP necessárias para a produção de placa SBR normal.....	70
Tabela C.2 – Tabela relativa aos GEE associados ao transporte de MP necessárias para a produção de placa SBR com incorporação de pó reciclado.....	71

Lista de Abreviaturas

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

AICV – Avaliação de Impacte de Ciclo de Vida

COV – Compostos Orgânicos Voláteis

DS – Desenvolvimento Sustentável

GEE – Gases com Efeito de Estufa

GRS – *Global Recycled Standard*

GWP – *Global Warming Power*

IBC – Contentor Intermédio para mercadorias a Granel

ICV – Inventário de Ciclo de Vida

ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto

MP – Matéria-Prima

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

SBR – Borracha de Butadieno-Estireno

SIDS – Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável

SGA – Sistemas de Gestão Ambiental

UE – União Europeia

Capítulo 1

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento e apresentação dos objetivos

A presente dissertação traduz as atividades realizadas no âmbito da unidade curricular de Dissertação/Estágio pertencente ao Mestrado de Engenharia Química - Energia e Biorrefinaria, do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). Estas atividades decorreram na unidade Monteiro Footwear, que integra o Grupo Monteiro Ribas - Indústrias S.A., situado no Porto, cujo sector de atuação é a fileira calçado. O trabalho realizado teve como tema principal “Avaliação da sustentabilidade na produção de solas de borracha butadieno-estireno (SBR)” e teve a duração de 6 meses. Grande parte do trabalho foi desenvolvido à distância (online), devido aos constrangimentos atuais associados à pandemia COVID-19.

Os objetivos principais do trabalho consistiram no estudo e análise da incorporação de resíduos industriais nas placas de borracha SBR produzidas, de forma a demonstrar se do ponto de vista da sustentabilidade é uma alternativa viável e efetivamente preferível. Foi realizado um estudo comparativo de sustentabilidade entre placas de borracha SBR com e sem incorporação de pó de borracha proveniente do processo de produção. A análise efetuada teve como base de estudo os Indicadores de Sustentabilidade e uma ferramenta que auxilia os Sistemas de Gestão Ambiental: a Avaliação de Ciclo de Vida.

1.2. Apresentação da Empresa

Em 1937 nasce na região do Porto, um grupo empresarial, fundado por Manuel Alves Monteiro e António de Bessa Ribas, com atividade no setor dos Curtumes – a Monteiro, Ribas.

A expansão das áreas de negócio iniciou-se no ano de 1961, com o início da produção de placas de borracha, destinadas à indústria de calçado – criação da Unidade K, atualmente a Monteiro Footwear – sendo o único fabricante a nível nacional.

Atualmente, o Grupo Monteiro Ribas integra diversas áreas de negócio, nomeadamente: revestimentos, embalagens flexíveis, placas de borracha para o setor do calçado, componentes técnicos para vários setores industriais e produção de energia ^[1].

Grande parte das suas unidades produtivas concentram-se no mesmo perímetro industrial, sendo que a Monteiro Footwear se encontra sediada na freguesia de Paranhos, concelho e distrito do Porto (Figura 1.1).



Figura 1.1 – Empresa Monteiro, Ribas - Indústrias S.A ^[2].

Com um total de cerca de 630 colaboradores, o Grupo Monteiro Ribas é considerado uma empresa de referência a nível internacional, transparecendo uma imagem de tradição, confiança e solidez nos mercados onde atua. Importa igualmente realçar a extrema importância que é dada pela empresa à questão ambiental. Desde a década de 80, tem desenvolvido uma série de ações e princípios que pretendem acompanhar a evolução associada ao ambiente. Assim, foi criado um Departamento de Ambiente que incide sobre os processos de produção com o objetivo de diminuir a utilização de recursos energéticos, otimizar custos e valorizar os resíduos produzidos ^[1].

1.3. Organização da Dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em seis capítulos.

No primeiro capítulo é realizado um enquadramento do tema e são apresentados os principais objetivos do trabalho desenvolvido. É também feita a apresentação da empresa: Monteiro Ribas – Indústrias S.A.

No capítulo 2 é apresentada uma contextualização do tema através da abordagem dos principais aspetos relacionados com o desenvolvimento sustentável. São também selecionados os indicadores mais adequados ao estudo que se pretende desenvolver e a definição de métodos para a sua avaliação (medição).

No capítulo 3 é apresentado o conceito de Gestão Ambiental, as normas associadas e da ferramenta que auxilia o Sistema de Gestão Ambiental, denominada de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV).

No capítulo 4 é feita a descrição do material alvo do estudo de sustentabilidade, ou seja, as placas de borracha butadieno-estireno que são produzidas na Unidade K da Monteiro Ribas. Neste capítulo encontram-se definidas as matérias-primas (MP) que fazem parte da formulação das placas e é explicado todo o processo de produção envolvente e respetivo aproveitamento de resíduos.

No capítulo 5, com auxílio a uma abordagem de ACV, são definidas todas as etapas envolventes do estudo e é realizada a recolha de dados. Encontra-se apresentado o inventário com base na informação recolhida. É também realizado o estudo de sustentabilidade por meio de indicadores, através da comparação dos dois tipos de placas de borracha em estudo tendo em consideração os resultados obtidos no capítulo anterior.

Por fim, o último capítulo destina-se à apresentação de conclusões finais e são identificadas sugestões de possíveis estudos futuros.

Capítulo 2

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2.1. Sociedade e Meio Ambiente

A interação entre o homem e o meio ambiente sempre existiu e, a essência desta interação tem sido alvo de uma mudança constante à medida que a sociedade vai sofrendo também alterações. A importância desta relação é conhecida, sendo que a sobrevivência do homem se encontra diretamente ligada à capacidade que o ambiente apresenta de sustentar as suas principais necessidades de bem-estar.

No entanto, com o passar dos anos, à medida que a população, a urbanização e o avanço tecnológico foram aumentando, deu-se também um aumento na atitude imprudente do homem na utilização dos recursos naturais disponíveis, nomeadamente alimentos, água, recursos minerais, florestas, energia, entre outros.

É possível afirmar que os problemas ambientais e sociais se encontram profundamente interligados. Crises ambientais como inundações, chuvas ácidas, secas, diminuição da biodiversidade, poluição, entre outros, têm um impacto contante na vida de milhões de pessoas em todo o mundo. Ao longo da história, o nosso planeta nunca testemunhou tamanha magnitude em relação a crises ecológicas como a que vivemos hoje em dia ^[3].

Cada vez mais se observa o ambiente em constante deterioração, consequência do aquecimento global e das alterações climáticas que vêm sendo provocadas pela poluição diária a que é sujeito. O meio ambiente encontra-se cada vez mais ameaçado e, com ele, a própria sobrevivência da Humanidade.

De certo modo, as mudanças que ocorreram na relação entre o homem e a natureza podem ser explicadas pela evolução histórica da Humanidade. A Revolução Agrícola, que ocorreu em Inglaterra no século XVIII, ficou caracterizada pelo desenvolvimento da economia, das ciências e das técnicas, onde a relação entre o homem e natureza se tornou cada vez mais evidente. Posteriormente, com o desenvolvimento das capacidades do homem e com o avanço das tecnologias, surgiram as primeiras cidades e, com elas, o uso

insustentável dos recursos naturais e os primeiros impactos ambientais. No entanto, o principal contributo do ser humano para o aparecimento de uma crise ambiental, deu-se com o processo da Revolução Industrial iniciada em Inglaterra em 1760 ^[4].

Apesar dos benefícios resultantes desta Revolução, os meios que foram utilizados para os alcançar deram origem a consequências graves e marcantes como o aumento significativo da poluição, consumo excessivo de recursos naturais e consequências sociais associadas à concentração populacional ^[4].

Perante estes acontecimentos, a preocupação com o meio ambiente começou a estar cada vez mais presente e, com o passar do tempo, foi dando início ao desenvolvimento de estratégias onde o meio ambiente representava uma parte fundamental do processo de evolução da sociedade.

Também a reflexão sobre o tema “desenvolvimento” levou a sociedade a uma maior consciencialização sobre os problemas ambientais associados a estilos de vida incompatíveis com o processo de regeneração do meio ambiente. Essa reflexão começa a surgir a partir da 1970 e leva ao aparecimento do conceito de Desenvolvimento Sustentável. Este conceito permite garantir a qualidade de vida para as gerações atuais e futuras, excluindo a destruição da sua base fundamental – o meio ambiente ^[5].

2.2. Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável

A palavra “sustentabilidade” deriva do latim *sustentare* e o seu sentido lógico diz respeito a sustentar, defender, favorecer, apoiar, cuidar e conservar. De forma resumida, baseia-se em atender às necessidades do presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras ^[6].

A sustentabilidade não se refere apenas ao ambientalismo. As preocupações com a equidade social e o desenvolvimento económico também se encontram incorporadas na sua definição. Uma atividade sustentável é definida como aquela que pode ser mantida, sem nunca falhar, apresentando um foco mais incidente no presente.

Por sua vez, o Desenvolvimento Sustentável (DS) está voltado para uma visão a longo prazo e apresenta-se como aquele que melhora a qualidade de vida da sociedade na

Terra ao mesmo tempo que respeita a capacidade de produção dos ecossistemas que nos assistem. Constrói uma ideia de progresso social e um aumento na qualidade de vida, ou seja, pode-se referir ao DS como o caminho para se alcançar a sustentabilidade [6].

O Desenvolvimento Sustentável tem colocado em questão o entendimento que se tem dado à sustentabilidade, mostrando que ambos têm significados distintos e podem seguir diferentes direções, mas que no fim, convergem num único objetivo. Estes dois conceitos têm alcançado, com o passar dos anos, uma difusão notável e têm sido interpretados e enriquecidos com novas abordagens [7].

O conceito de Desenvolvimento Sustentável foi idealizado em 1983, pela Assembleia das Nações Unidas numa Comissão sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, presidida por Gro Harlem Brundtland [8].

Em 1987 a comissão promoveu a criação de uma declaração universal que envolvia o desenvolvimento sustentável e a proteção ambiental, intitulada de “Nosso Futuro Comum” - Relatório de Brundtland. Este documento relata duas preocupações que devem ser conciliadas: o desenvolvimento e o ambiente [8].

O relatório de Brundtland mostrou que a pobreza vivida em certos países e o consumismo elevado que era observado noutros, representavam causas fundamentais que impediam um desenvolvimento igualitário no mundo. Foram também apresentados dados sobre crises e impactos ambientais, estabelecidos limites para o controle da sua degradação e recomendadas medidas a serem tomadas pelos países de modo a promover o desenvolvimento sustentável [8].

O desenvolvimento sustentável representa um compromisso para alcançar uma melhor qualidade de vida para todas as pessoas. O desenvolvimento social, económico e a proteção ambiental são componentes correlacionadas que reforçam mutuamente o conceito de desenvolvimento sustentável.

Ao longo do tempo, este tema tem se tornado cada vez mais importante e com uma enorme influência nos padrões de vida em sociedade, uma vez que promove mudanças de comportamento na maneira como as pessoas se relacionam com o ambiente e na forma de implementar e avaliar políticas públicas de desenvolvimento. O DS tem por base vários objetivos-chave, nomeadamente [9]:

- Equidade Social;

- Dissociação do crescimento económico e da degradação do ambiente;
- Integração do setor económico, ambiental e social;
- Correta gestão e conservação dos recursos naturais;
- Prevenção de danos irreversíveis para os ecossistemas e saúde humana;
- Educação e envolvimento da sociedade.

No fundo, é representado pelo desenvolvimento economicamente eficaz, ecologicamente sustentável e socialmente equitativo. Assim, o DS é composto por três pilares: económico, social e ambiental (Figura 2.1).

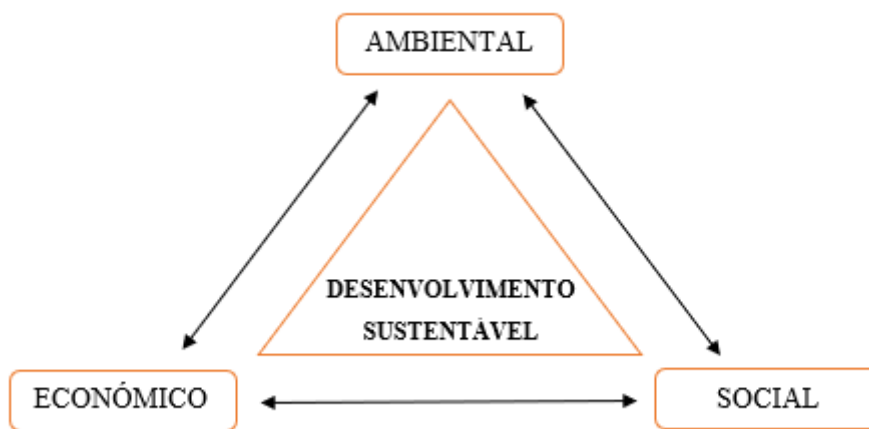


Figura 2.1 - Pilares do Desenvolvimento Sustentável.

- **Sustentabilidade Ambiental:** Todas as questões ambientais do planeta são mantidas em equilíbrio enquanto os recursos naturais são consumidos a uma taxa compatível com a sua regeneração.
- **Sustentabilidade Económica:** Todas as comunidades humanas são capazes de manter a sua independência e têm acesso a todos os recursos (financeiros e outros) para atender às suas necessidades.
- **Sustentabilidade Social:** Refere-se ao capital humano, como a criação de métodos que melhoram a qualidade de vida da sociedade. Os direitos humanos universais e as necessidades básicas devem ser alcançáveis por todas as pessoas, permitindo o seu acesso a recursos suficientes de modo a formar uma comunidade segura e saudável ^[9].

É fundamental que estes três pilares apresentem uma interação harmoniosa. Cada um deles representa um contexto em que a sustentabilidade é aplicada, ao mesmo tempo que cada um depende da relação com o outro.

Em termos de uma organização, através destes pilares, é possível identificar o quão próximo esta se encontra da sustentabilidade. Uma empresa sustentável é aquela que promove atividades de melhoria nestas três áreas. Importa referir que há alguns anos, a sustentabilidade era vista como apenas um acréscimo de custos para as empresas - quer isto dizer que, ser sustentável custava caro e trazia pouco retorno. Atualmente o cenário é diferente, uma vez que as empresas se focam cada vez mais na procura e adoção de medidas ou alternativas que apresentem vantagens ambientais. No entanto, o percurso em direção à sustentabilidade consiste num processo complexo e demorado ^[10].

O conceito de DS deve ser aceite pelas empresas como uma nova forma de progredir sem degradar o meio ambiente. Esta ideologia deve ser estendida a todos os níveis de organização de modo a identificar qual o impacto da produção da empresa no meio ambiente.

2.3. Desenvolvimento Sustentável em Portugal: Implementação da Agenda 2030.

A 1 de Janeiro de 2016, entrou em vigor a resolução da Organização das Nações Unidas (ONU) intitulada de “Transformar o nosso mundo: Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável” que foi aprovada pelos líderes mundiais a 25 de setembro de 2015 numa cimeira que se realizou na sede da ONU, em Nova Iorque. Esta resolução representa um plano de ação que se encontra centrado nas pessoas, no planeta, na prosperidade, na paz e nas parcerias (5P). O principal objetivo, centra-se na erradicação da pobreza e a potenciação do desenvolvimento sustentável ^[11].

A Agenda 2030 refere-se a uma Agenda universal que assenta em 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas que devem ser implementadas por todos os países até 2030. Esta pretende abordar as várias dimensões do desenvolvimento sustentável (social, económico e ambiental) e promover instituições eficazes, a paz e a justiça ^[12].

Os ODS foram pensados com o objetivo de reduzir ao máximo todas as formas de pobreza. A este propósito, Ban Ki-Moon, secretário-geral da ONU, afirmou que “Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são a nossa visão comum para a Humanidade e um contrato social entre os líderes mundiais e os povos”, uma vez que “São uma lista das coisas a fazer em nome dos povos e do planeta, e um plano para o sucesso” (Figura 2.2) [12].



Figura 2.2 – Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) [13].

Os ODS realçam a forma como é abordado o conceito de desenvolvimento, uma vez que [14]:

- Relacionam as três dimensões que envolvem o desenvolvimento sustentável (ambiental, económica e social);
- Envolvem todos os países, ou seja, não restringem os objetivos e as metas a implementar apenas aos países em desenvolvimento;
- Promovem os Direitos Humanos e o combate às desigualdades;
- Conjugam os esforços de uma multiplicidade de setores.

Portugal teve um papel ativo na construção do documento adotado na Cimeira de Chefes de Estado e de Governo, principalmente na definição da posição da União Europeia (UE). Defendeu a necessidade da Agenda 2030 se fundamentar na partilha de responsabilidades entre países desenvolvidos e em desenvolvimento e entre os setores público e privado. Insistiu também na necessidade de se dar uma maior atenção às

questões relacionadas com a paz, segurança e boa governação, promoveu a conservação dos Oceanos e deu relevo aos Direitos Humanos e combate às desigualdades, com destaque nas questões da igualdade de género. Em Portugal, as primeiras linhas de orientação intragovernamental para a Agenda 2030, foram aprovadas a 25 de fevereiro de 2016 ^[11].

É possível concluir que uma comunidade sustentável deve procurar manter e, principalmente, melhorar as características económicas, sociais e ambientais de uma região ou organização de forma a seguir um percurso de melhoria contínua.

2.4. Indicadores de Desenvolvimento Sustentável

Devido à complexidade da relação entre os sistemas ambientais e socioeconómicos, é notória a dificuldade de medir e avaliar os processos de sustentabilidade do desenvolvimento.

Com o objetivo de identificar corretamente os possíveis significados de sustentabilidade e de avaliar, o mais objetivamente possível, os seus processos de desenvolvimento, tem se dedicado uma grande atenção ao processo de medição recorrendo à utilização de indicadores ^[15].

Os indicadores de desenvolvimento sustentável constituem um instrumento fundamental de como atingir a qualidade de vida para todos (desenvolvimento) com o estabelecimento de regras e dentro dos limites do meio ambiente (sustentabilidade).

2.4.1. Aspetos Gerais

O termo “indicador” (do latim, *indicare*) representa algo a salientar ou a revelar. Os indicadores representam variáveis que definem a qualidade ou propriedade de um sistema, através da recolha de informações fundamentais sobre a sua viabilidade e dinâmica ^[16].

O objetivo dos indicadores é agregar e quantificar informação de modo a torná-la mais significativa e pretendem promover a simplificação de fenómenos que possam

parecer complexos. Um indicador reúne valores, gera valores e pode ainda ser utilizado como instrumento de mudança, aprendizagem e propaganda. As suas principais funções são ^[17]:

- Identificar objetivos e metas;
- Avaliar condições e tendências;
- Simplificar e facilitar a transmissão de informação;
- Permitir fazer advertências acerca da necessidade de correção de estratégias;
- Apoiar a tomada de decisão e avaliação de políticas publicas;
- Garantir uma base para gestão de impactos ambientais;
- Realizar uma análise comparativa no tempo e no espaço, considerando situações e locais;
- Identificar potenciais ações de risco futuras;
- Orientar o desenvolvimento, através de políticas e projetos.

Estes indicadores têm-se revelado um componente essencial na avaliação global do progresso rumo ao desenvolvimento sustentável. No entanto, também podem apresentar algumas limitações, como por exemplo ^[8]:

- Dificuldade na definição de modelos matemáticos;
- Perda de informações relevantes;
- Diferentes critérios na seleção dos limites dos estudos;
- Ausência de critérios de seleção;
- Difícil aplicação em algumas áreas;

São inúmeros os indicadores de sustentabilidade que podem ser encontrados na literatura e uma grande parte dos mesmos ainda se encontram em desenvolvimento, discussão e melhoria. Os indicadores encontram-se divididos em dois grupos: macro indicadores, que são aqueles mais abrangentes que medem a sustentabilidade a nível de uma cidade, país ou do mundo e os micro indicadores que se focam em unidades mais pequenas, como organizações de uma empresa ou indústrias ^[18].

A finalidade da utilização de indicadores de sustentabilidade numa indústria é auxiliar a medição do desempenho económico, social e ambiental da mesma e identificar os principais problemas associados. Cada vez mais se vê entidades ligadas ao setor empresarial à procura de conseguir aplicar o estudo por meio de indicadores de

sustentabilidade. O crescente interesse da indústria pelo desenvolvimento sustentável resulta da crescente preocupação com os impactos que as suas atividades causam no meio ambiente. Assim, dado maior ênfase na área do ambiente, os indicadores com mais interesse e utilização na indústria são os de desempenho ambiental ^[19].

2.4.2. Indicadores de Sustentabilidade Ambiental na Indústria

Os indicadores de sustentabilidade ambiental, nas organizações, são aqueles que monitorizam o desenvolvimento sustentável e são responsáveis pela captura de tendências de forma a informar os agentes de decisão e com vista a orientar o desenvolvimento de estratégias mais sustentáveis. Estes devem ser utilizados no acompanhamento de cada atividade industrial ao longo do tempo de forma a avaliar o progresso ou retrocesso das mesmas em direção à sustentabilidade ambiental.

Numa dimensão ambiental, os tipos de indicadores que são comumente abordados e que representam uma maior importância são aqueles que dizem respeito ao consumo de água, energia, consumo material, uso de recursos reciclados (como água ou material reciclado), consumo de energia renovável, emissões atmosféricas e a produção e gestão de resíduos, incluindo águas residuais, resíduos perigosos, resíduos sólidos e recicláveis ^[20].

Na Tabela 2.1 são apresentados alguns dos Indicadores de Sustentabilidade Ambiental mais utilizados aplicados às organizações.

Tabela 2.1 - Principais indicadores ambientais associados às organizações ^[20].

Indicadores de Sustentabilidade Ambiental	
Indicador	Descrição
Consumo de água	Utilização de água em processos, lavagens, consumo próprio e atividade relacionadas
Uso de água reciclada	Reutilização de águas residuais após tratamento
Consumo de energia	Utilização de Energia (combustível, eletricidade) para os processos de produção, iluminação, aquecimento e outros fins.
Consumo de energia renovável	Utilização de energia proveniente de fontes renováveis
Consumo de materiais	Entrada de materiais consumidos para produzir o produto final (output)
Consumo de material reciclado	Utilização de materiais reciclados como substituição de matéria-prima virgem.
Consumo de material para embalagem	Uso de materiais como recipientes ou embalagens para manuseio, proteção e comercialização do produto
Emissão de Gases com Efeito de Estufa (GEE)	Emissão de Gases que contribuem para o Efeito de Estufa/ Aquecimento Global
Descarga de águas residuais	Águas Industriais descarregadas em águas superficiais, subterrâneas, água do mar ou outros.
Resíduos perigosos	Resíduos com propriedade tóxicas, infecciosas, radioativas ou inflamáveis que representam um perigo para a saúde humana, organismos vivos e meio ambiente
Eliminação de resíduos sólidos	Eliminação de resíduos sólidos que não podem ser reciclados
Resíduos recicláveis	Resíduos que podem ser reciclados/ reutilizados.

As organizações devem definir quais os indicadores mais relevantes que se encontram associados às suas atividades. De modo geral, cada um destes é composto por um valor A, um valor B e um valor R, que devem ser comunicados pela organização ^[21]:

- Valor A: corresponde à entrada/impacte anual total no domínio em causa;
- Valor B: corresponde à produção anual total da organização;
- Valor R: Corresponde ao rácio A/B.

O valor B refere-se aos valores anuais totais obtidos pela organização em relação ao domínio que se encontra em estudo pelo valor A. Relativamente aos dados à entrada/impacte anual total (valor A), estes devem ser comunicados da seguinte forma:

- **Consumo Energético**

Os dados relativos à utilização total de energia representam o consumo anual total de energia, expresso em MWh ou GJ.

Os dados relativos à utilização total de energia renovável dizem respeito à percentagem do consumo anual total de energia produzida pela organização a partir de fontes renováveis – energia térmica e elétrica ^[21].

- **Consumo de materiais**

Dados relativos ao fluxo mássico anual dos vários materiais utilizados, expressos em toneladas ou quilogramas, exceto os valores relacionados com consumo de energia e água ^[21].

- **Consumo de água**

Dados referentes ao consumo de água (reciclada ou não) anual total expressos em metros cúbicos (m³) ^[21].

- **Emissões atmosféricas**

Dados relativos às emissões totais anuais de gases com efeito de estufa (GEE), expressos em toneladas equivalentes de dióxido de carbono (CO₂ eq) ^[21].

Os GEE são compostos gasosos que absorvem parte da radiação infravermelha emitida pela Terra, reemitindo-a para a superfície terrestre evitando que se perca para o espaço, mantendo assim a atmosfera do planeta mais quente do que seria de esperar, dando origem ao chamado de Efeito de Estufa ^[22].

Cada um dos compostos apresenta um Potencial de Aquecimento Global (GWP, do inglês *Global Warming Power*). Este índice estima a contribuição relativa de um determinado gás com efeito de estufa para o aquecimento global, num determinado período de tempo (normalmente 100 anos), em relação à mesma quantidade de um gás de referência (CO₂), cujo GWP é definido como 1. Dióxido de Carbono equivalente (CO₂ eq) é o termo utilizado para inserir todos os Gases com Efeito Estufa numa unidade comum, de modo a facilitar estudos comparativos entre gases ^[22]. Na Tabela 2.2 é apresentado o Potencial de Aquecimento Global dos principais GEE.

Tabela 2.2 - Potencial de Aquecimento Global dos principais GEE ^[23].

Gases com Efeito Estufa (GEE's)	Potencial de Aquecimento Global (GWP)
Dióxido de carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	25
Óxido Nitroso (N ₂ O)	298
Hidrofluorcarbonetos (HFC)	124 – 14800
Perfluorcarbonetos (PFC)	7390 – 12200
Hexafluoreto de enxofre (SF ₆)	22800
Trifluoreto de Azoto (NF ₃)	17200

Como é possível observar, o metano apresenta um Potencial de Aquecimento Global 25 vezes superior ao do dióxido de carbono, ao longo de 100 anos. Logo, 1 kg CH₄ corresponde a 25 kg CO₂ eq ^[23].

Outro dado relevante que diz respeito a este indicador ambiental é o relativo às emissões de substâncias precursoras do ozono troposférico.

O ozono (O₃) troposférico é um poluente “secundário”, formado quando gases como óxidos de azoto e compostos orgânicos voláteis (COV) reagem com o oxigénio na presença de luz solar ^[29]. Este promove a degradação de materiais, diminuição do desenvolvimento da vegetação e aumento da morbidade e mortalidade da população ^[24].

Os COV são substâncias orgânicas que apresentam uma elevada pressão de vapor e baixa solubilidade em água. Estes compostos evaporam facilmente à temperatura ambiente e a principal fonte de origem encontra-se nas centrais térmicas de energia elétrica, nos processos industriais, no uso de solventes e no transporte rodoviário ^[25].

- **Produção e gestão de resíduos**

Dados relativos à geração anual total de resíduos perigosos e não perigosos expressos em toneladas ou quilogramas.

Os resíduos industriais representam uma grande percentagem dos resíduos totais produzidos anualmente. Estes resíduos resultam de processos produtivos industriais e de atividades de produção e distribuição de água, gás e eletricidade. Nesta categoria incluem-se também os resíduos perigosos que são prejudiciais para a saúde humana, para o meio ambiente e que exigem uma atenção mais cuidada na sua gestão ^[26].

A gestão de resíduos baseia-se no controle da geração de resíduos desde a sua origem até ao destino final, devendo incluir a sua recolha, transporte e tratamento, seja

por valorização ou eliminação e tem como objetivo a gestão sustentável dos materiais de modo a assegurar a sua utilização racional. Esta pretende promover os princípios da economia circular e reduzir a dependências de recursos importados, proporcionando novas oportunidades económicas e contribuindo para a competitividade a longo prazo.

Este indicador refere-se também ao tratamento e/ou destino final dos resíduos na organização em estudo. A sua medição é conseguida através da razão entre o volume de resíduos que sofrem tratamento ou destino final e o total de resíduos produzidos. Encontra-se também incluída na determinação deste indicador a quantificação anual de resíduos exportados para valorização ou eliminação ^[26].

Dado que existem específicos tratamentos para cada tipo de resíduo, muitas vezes estes são transferidos entre países para se sujeitarem a operações de valorização ou de eliminação – Movimentos Transfronteiriço de Resíduos ^[27].

Importa referir que uma organização pode utilizar diferentes indicadores para expressar o total anual relativo à entrada/impacte, dado existir uma grande quantidade de indicadores na bibliografia.

Capítulo 3

3. GESTÃO AMBIENTAL

3.1. Gestão Ambiental e Indústria do Calçado

A Gestão Ambiental constitui uma parte integrante da política de desenvolvimento sustentável que pretende minimizar os impactos ambientais das atividades de uma organização, estabelecendo um nível de proteção ambiental compatível com um adequado crescimento social e económico. Baseia-se num sistema que dá importância à sustentabilidade através de práticas e métodos que reduzem ao máximo o impacto ambiental. A certificação de Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) constitui uma ferramenta essencial para as organizações que pretendem alcançar uma confiança acrescida por parte dos clientes, colaboradores, comunidade envolvente e da sociedade, através da demonstração do compromisso com a melhoria contínua do seu desempenho ambiental ^[28].

A certificação SGA, suportada na norma de referência ISO 14001:2015, tem como principal objetivo criar um equilíbrio entre a rentabilidade e a redução de impacto ambiental das empresas. Permite ainda demonstrar o compromisso assumido com a proteção do ambiente através da gestão dos riscos ambientais associados às atividades desenvolvidas ^[28].

A indústria do calçado é das mais avançadas em Portugal e tem marcado a sua posição tanto a nível nacional, como internacional. Tem apostado em produtos de maior valor acrescentado, no desenvolvimento de processos inovadores e métodos de gestão mais exigentes, traduzindo-se numa elevação dos padrões de qualidade. O setor do calçado tem vindo a assumir-se como um dos principais setores da economia portuguesa e tem registado algumas transformações ao longo das últimas décadas ^[29].

Com o aumento do consumo, cresce igualmente o nível de exigência dos consumidores. Esta mudança tem levado a que as empresas da indústria de calçado se modernizem e, de algum modo, se diferenciem da concorrência. Assim, cada vez mais é notório o esforço das empresas para que consigam adaptar os seus processos e produtos de modo que estes sejam mais sustentáveis, promovendo o seu destaque no mercado. A

implementação de medidas de Gestão Ambiental é importante para que se consiga atingir o nível de sustentabilidade ideal e apresenta tanto benefícios económicos, como estratégicos.

Apesar das despesas associadas à implementação de um correto sistema de gestão ambiental, os benefícios serão recompensadores tanto a nível do uso consciente dos recursos naturais e reaproveitamento de resíduos como através da descoberta de novas tecnologias que tornam os produtos finais mais limpos, transformando-se numa área de oportunidade de redução de custos ^[30].

3.2. Avaliação do Ciclo de Vida

A crescente consciencialização sobre a importância da proteção ambiental e dos possíveis impactos associados a atividades ou produtos (tanto fabricados como consumidos), leva a um aumento do interesse no desenvolvimento de métodos para uma melhor compreensão e abordagem destes aspetos. Assim, torna-se importante a utilização de uma ferramenta que auxilia os Sistemas de Gestão Ambiental, denominada de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). De um modo geral, esta ferramenta pretende analisar a interferência de um processo ou produto com o meio ambiente, seja qual for o seu estágio de ciclo de vida, permitindo a identificação de oportunidades de melhoria ^[31].

Em 1992, a organização Internacional para Normalização (ISO) avançou com um comité técnico a fim de normalizar um conjunto de abordagens de gestão ambiental, incluindo a ACV ^[32]. Assim, as principais normas associadas à ACV publicadas atualmente em Portugal, são:

- ISO 14040:2006 – *Environmental management. Life cycle assessment – Principles and framework* (versão portuguesa publicada em 2008)
- ISO 14044:2006 – *Environmental management. Life cycle assessment – Requirements and guidelines* (versão portuguesa publicada em 2010) ^[32].

O termo “ciclo de vida” refere-se às atividades presentes no decurso de um produto desde a sua produção, incluindo a aquisição de matérias-primas, até à sua fase final de vida, passando por todas as etapas intermédias como a produção, distribuição, utilização e manutenção.

Existem diferentes abordagens para a realização de um estudo ACV. Este pode ser considerado:

- **“Cradle-to-grave”**: Envolve todas as etapas relacionadas com a avaliação de ciclo de vida de um produto, desde a extração de matérias-primas, até à etapa de fim de vida do produto.
- **“Cradle-to-gate”**: Envolve o processo de extração de matérias-primas e todas as operações de produção e de serviço, mas excluindo todas as operações subsequentes.
- **“Gate-to-gate”**: Referente a todas as etapas de produção que ocorrem dentro de uma indústria (ou local) que deve ser geograficamente especificado ou, no caso de dados genéricos, pode apresentar uma especificação geográfica mais geral. Os processos que se apresentam fora dos portões são excluídos.
- **“Gate-to-grave”**: Inclui os processos de distribuição, uso e disposição final do produto ^[33].

Na Norma ISO 14040, são definidas quatro fases fundamentais para um completo e correto estudo de ACV: definição do objetivo e âmbito, análise do inventário, análise de impacto e interpretação. Estas fases encontram-se esquematizadas na Figura 3.1.

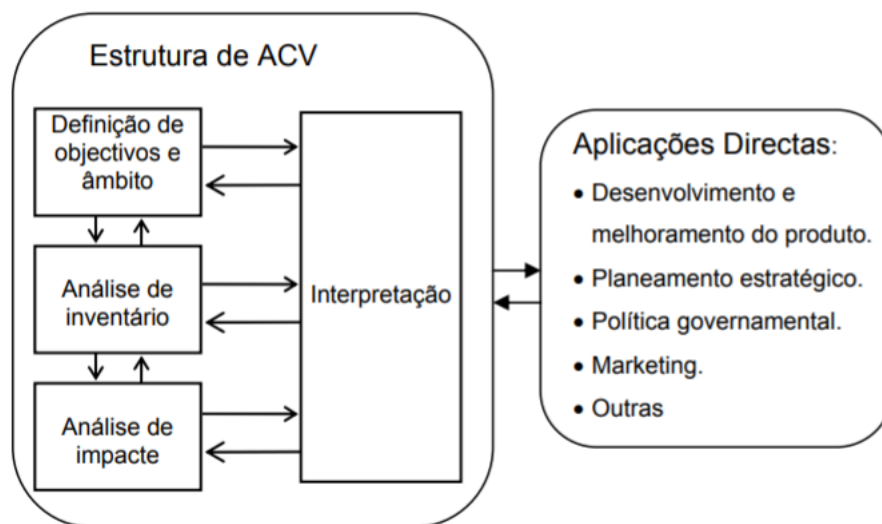


Figura 3.1 - Representação esquemática das fases de uma Avaliação de Ciclo de Vida ^[34].

- **Definição do objetivo e do âmbito:** define e descreve o produto, processo ou atividade. Identifica qual o contexto da avaliação e identifica os limites e efeitos ambientais.
- **Análise do inventário:** baseia-se na recolha de dados. São identificadas e quantificadas as entradas e saídas associadas ao sistema em estudo.
- **Avaliação de impactes ambientais:** pretende-se compreender e avaliar potenciais impactes ambientais que possam estar associados ao sistema em estudo, utilizando os resultados obtidos do inventário de ciclo de vida.
- **Interpretação:** análise dos resultados obtidos nos parâmetros anteriores e desenvolvimento de conclusões e recomendações que visam a minimização de impactes ambientais potencialmente gerados pelo sistema ^[34].

Existem bastantes benefícios associados ao uso desta ferramenta. Os dados relativos a um estudo ACV em conjunto com outras informações, como o custo e *performance*, podem ajudar na tomada de decisões respetivamente à seleção de produtos ou processos que apresentem um menor impacte no ambiente. A metodologia de ACV é também a única que identifica a transferência de impactes ambientais de um meio para o outro ou de um estágio de ciclo de vida para outro.

No entanto, também pode apresentar algumas limitações, nomeadamente no que diz respeito a recursos e tempo, isto é, a realização deste estudo necessita normalmente de muitos recursos e pode arrastar-se por muito tempo. Assim, é importante a previsão dos benefícios de modo a balancear os recursos financeiros. O estudo de ACV também não determina qual o processo ou produto que tem um melhor funcionamento ou é mais caro. Deste modo, a informação desenvolvida deve ser utilizada como uma componente do processo de decisão que deve ter em conta outras componentes como as já referidas, custo e *performance* ^[34].

É de referir que muitos estudos de ACV, aparentemente idênticos, levam a conclusões diferentes. Isto deve-se a diferentes fatores que se apresentam como sendo críticos para os parâmetros de inventário, tais como: as considerações feitas, as fronteiras definidas, idade dos dados, tecnologia envolvente, logística de abastecimento de matérias-primas e a matriz energética.

3.2.1. Definição do objetivo e do âmbito

De maneira a dar início a um estudo de Avaliação de Ciclo de Vida, é necessário definir concretamente qual o propósito do estudo e a sua amplitude de maneira a assegurar a qualidade do estudo. Deve-se, ainda, proceder à adoção de regras para determinar quais os limites/fronteiras do sistema, as matérias-primas e fontes de energia relevantes para o estudo, tendo sempre em conta que à medida que se aumenta o nível de detalhes, a complexidade e as despesas do estudo também aumentam.

Segundo a norma ISO 14040 “o objetivo de um estudo ACV deve expor de forma não ambígua a aplicação planeada, as razões para levar a cabo o estudo e a audiência pretendida, i.e, a quem irão ser comunicados os resultados do estudo”^[35]. Este deve ser claro, evitando a possibilidade de segundas interpretações e deve conseguir responder às seguintes questões^[36]:

- Qual a aplicação pretendida?
- Razões para que o estudo seja desenvolvido?
- A quem se destinam os resultados?
- Os resultados serão utilizados em declarações publicas comparativas?

Já o âmbito de um estudo ACV, deve considerar todos os meios para que o objetivo definido seja cumprido e deve especificar quais as funções do sistema a ser estudado. A ACV é uma técnica iterativa e, por isso, à medida que é recolhida a informação, o âmbito do estudo pode sofrer modificações ao longo da sua condução. Devem ser incluídos os seguintes pontos na definição do âmbito^[37]:

- Função do Sistema e Unidade Funcional;
- Fronteiras do sistema;
- Requisitos dos dados que permitem a caracterização do sistema;
- Pressupostos e limitações do estudo;
- Qualidade dos resultados;
- Detalhes do transporte para distribuição dos produtos e resíduos;
- Descrição da gestão de resíduos e do fim de vida;
- Tipo de revisão critica a ser realizada;
- Tipo e estrutura do relatório final.

Estes parâmetros devem ser bem definidos de modo a assegurar que a profundidade e o detalhe do estudo são suficientes para atingir os objetivos pressupostos. A definição da Unidade Funcional é um dos pontos mais importantes para que a análise tenha início numa hipótese bem definida.

➤ Função do Sistema e Unidade Funcional

Durante a definição do âmbito são especificadas as funções possíveis do sistema em estudo. Sabendo que um sistema pode apresentar várias funções, quando uma é selecionada e quantificada com o objetivo de se obter informações mais precisas, define-se como sendo a Unidade Funcional do sistema.

A Unidade Funcional representa a unidade de referência quantitativa do estudo, onde todos os fluxos de entradas e saídas se encontram relacionados de modo a assegurar a comparabilidade de resultados numa base comum. Assim, uma Unidade Funcional diz respeito a uma unidade de medida da função selecionada. Esta deve ser claramente definida e mesurável, pois é a partir desta que é realizado todo o estudo de ACV ^[38].

Se algumas funções adicionais dos sistemas não são consideradas na comparação de unidades funcionais, esta informação deve ser devidamente documentada e justificada.

➤ Fronteiras do Sistema

A definição de fronteiras do sistema passa pelo estabelecimento de limites concretos para o estudo a realizar. Estes limites determinam quais as unidades funcionais que devem ser incluídas na ACV, referindo-se a processos/operações e às entradas e saídas a ter em consideração. A definição das fronteiras é um passo subjetivo e é, normalmente, apresentado sob a forma de um fluxograma. Esta etapa assegura que todos os processos sejam incluídos no sistema definido e assegura também que os potenciais impactos ambientais associados sejam corretamente cobertos ^[39].

Definir fronteiras do sistema implica decidir quais os estágios de ciclo de vida, os tipos de atividade, processos e fluxos elementares devem ser incluídos e quais devem ser descartados na ACV ^[39].

➤ Requisitos e Qualidade dos Dados

A qualidade dos dados utilizados no inventário de ciclo de vida reflete-se na qualidade final do estudo. Assim, devem ser estabelecidos alguns requisitos iniciais de qualidade dos dados de acordo com os seguintes parâmetros principais, segundo a ISO 14040 ^[40]:

- Cobertura temporal: o período de tempo utilizado na recolha de dados;
- Cobertura geográfica: área geográfica a partir do qual os dados para os processos unitários devem ser recolhidos de maneira a satisfazer o objetivo do estudo (locais, regionais, nacionais, continentais ou de forma global);
- Cobertura tecnológica: combinação ou especificação de tecnologias.

É importante que a qualidade do estudo seja avaliada de forma sistemática permitindo a outros compreender e controlar a qualidade real dos dados.

3.2.2. Análise do inventário do ciclo de vida

Após o objetivo e o âmbito de estudo estarem bem definidos, inicia-se a fase de análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV) onde são quantificadas as entradas e saídas associadas a um sistema de produto em estudo e são levantadas informações sobre o mesmo.

As entradas (inputs) referem-se às matérias-primas e auxiliares, energia e água. Nas saídas (outputs) estão incluídos os produtos, energia, resíduos, emissões atmosféricas, emissões para o solo e para a água. Torna-se útil descrever o sistema usando um fluxograma de processo que mostre os processos elementares e as suas interações ^[41].

Durante a execução da análise ICV, é importante que sejam seguidos determinados passos operacionais. Na Figura 3.2 é possível observar uma representação esquemática de todas as etapas necessárias para a obtenção de um inventário completo.

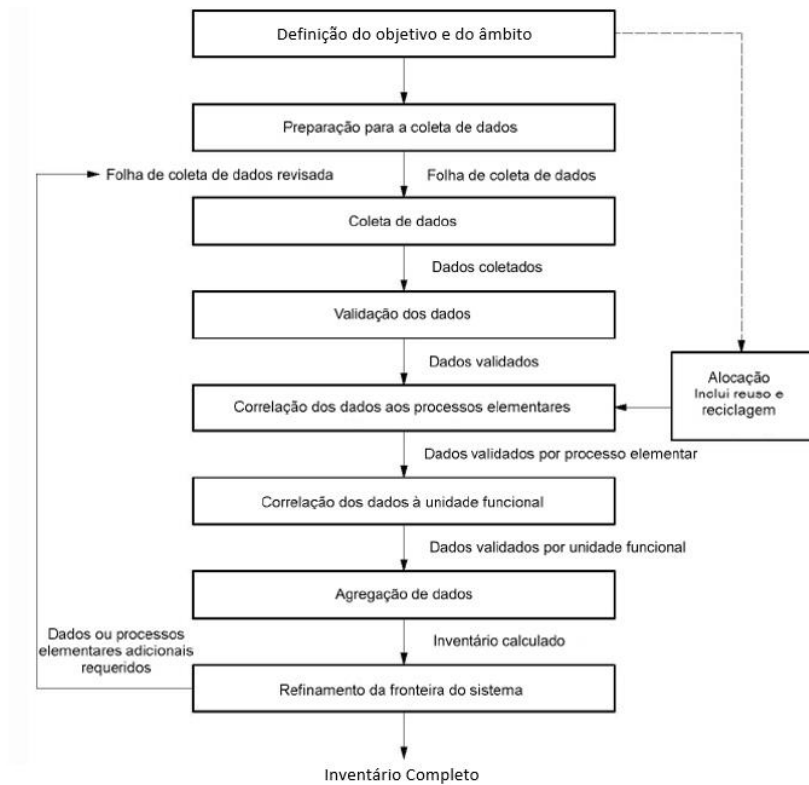


Figura 3.2 - Procedimento simplificado para a análise de inventário [41]

Os dados que são incluídos no inventário devem ser recolhidos para cada um dos processos que se encontram incluídos na fronteira do sistema. Estes são medidos, calculados ou estimados [41].

3.2.3. Avaliação de impactes do ciclo de vida

Nesta fase, os dados e as informações obtidas da Análise de Inventário são associados a impactes ambientais específicos para que possam ser avaliados. A Avaliação de Impacte de Ciclo de Vida (AICV) é definido como sendo um processo técnico, quantitativo e/ou qualitativo [37].

Os impactes são definidos como as consequências causadas pelos fluxos de entradas e saídas de um certo sistema. A análise de impacte pretende satisfazer dois objetivos: fazer com que os resultados obtidos no Inventário se tornem mais relevantes através do conhecimento sobre potenciais impactes ambientais e facilitar o processamento e a interpretação dos dados de Inventário e ajudar na tomada de decisão [42].

Existe uma série de elementos considerados obrigatórios e de elementos considerados opcionais na etapa de AICV, como se pode observar na Figura 3.3.

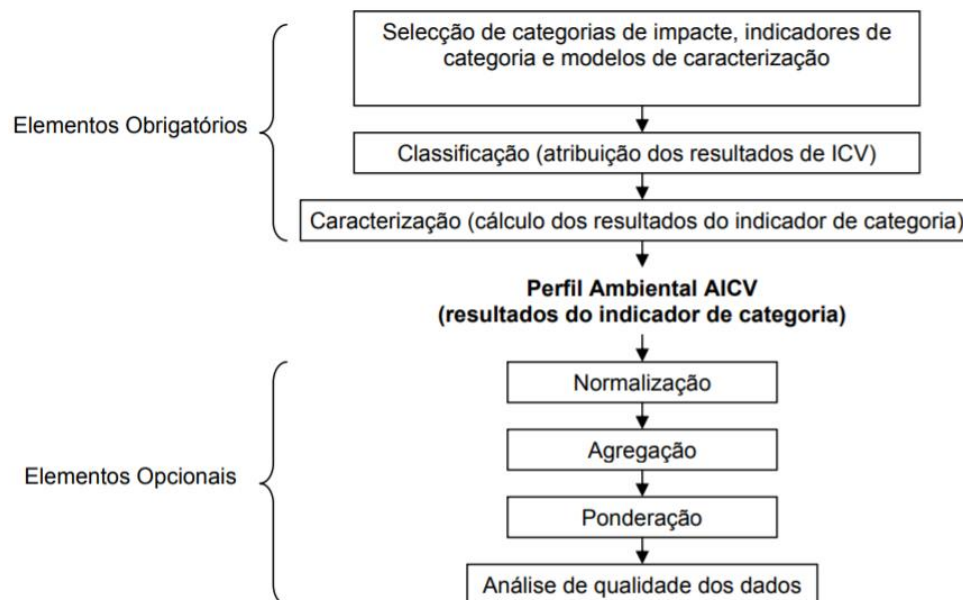


Figura 3.3 - Elementos da fase de AICV ^[37].

Os elementos obrigatórios tornam os resultados do Inventário de Ciclo de Vida em resultados de indicador de categoria para as diferentes categorias de Impacte. A seleção de categorias de impacto corresponde ao primeiro passo numa AICV e deve ser realizado durante a fase inicial de definição de objetivos de maneira a orientar o processo de recolha de dados dos Impactes e as reconsiderações seguintes a esta fase. A classificação é a fase na qual os resultados do inventário de ciclo de vida (grande parte das vezes referido como tabela de inventário) são atribuídos às categorias de impacto. Por fim, a caracterização é a fase na qual os valores do indicador são calculados para cada categoria de impacto, utilizando fatores de caracterização ^[37].

Os elementos opcionais servem para normalizar, agregar ou pesar os resultados e analisar a qualidade dos dados. Normalizar os resultados do indicador refere-se ao cálculo da sua magnitude relativamente a uma informação de referência. A agregação corresponde à atribuição das categorias de impacto numa ou mais séries que pode envolver separação e/ou ordenação. A ponderação corresponde à atribuição de pesos ou valores relativos às diferentes categorias de impacto baseado na sua importância ou relevância percebida ^[37].

3.2.4. Interpretação do ciclo de vida

Numa última fase, os resultados obtidos na Análise de Inventário e na Avaliação de Impacte, são combinados e interpretados de acordo com os objetivos inicialmente definidos. A partir desta interpretação, são retiradas conclusões e podem ser feitas recomendações sobre aspetos ambientais e possíveis áreas de melhoria tendo em conta o objetivo de estudo de ACV ^[43].

A Interpretação do Ciclo de Vida é um procedimento iterativo e, o principal objetivo, concentra-se no aumento da confiança e do significado do estudo executado.

Capítulo 4

4. CASO DE ESTUDO: PLACA DE BORRACHA SBR

A Monteiro Footwear dedica-se à produção de placas de borracha para serem integradas nas solas de calçado.

Na produção das placas é usada uma formulação previamente definida, que inclui uma mistura de matérias-primas, de modo a oferecer as propriedades necessárias ao produto final. A adição destes componentes segue uma determinada ordem e a quantidade utilizada é expressa em phr (*parts for hundred of rubber*), ou seja, todos os ingredientes que completam a formulação são medidos em relação à quantidade de borracha na composição ^[44].

Na formulação de um composto de borracha, cada um dos componentes tem uma função específica que vai ter um impacto no produto final, quer seja no seu processamento, nas suas propriedades ou até no preço.

Embora na Monteiro Footwear sejam produzidos vários tipos de placas de borracha, este estudo incidiu na produção da placa de borracha butadieno-estireno convencional e na produção da placa de borracha butadieno-estireno com incorporação de pó reciclado – 40% da sua constituição.

4.1. Principais Matérias-Primas

O componente principal da formulação utilizado para a produção das placas de borracha é o elastómero base, borracha de butadieno-estireno (SBR, sigla para *Styrene-Butadiene Rubber*). Para além do elastómero base, a formulação é composta por cargas de reforço, componentes de aceleração, resinas, agentes de vulcanização e aditivos.

4.1.1. Elastómero base: Borracha Butadieno-Estireno (SBR)

A borracha de butadieno-estireno (SBR) é uma das borrachas sintéticas mais utilizadas em todo o mundo devido à sua ampla aplicação em vários setores, como o

rodoviário (sobretudo pneus), tubos/mangueiras, componentes para calçado (solas e tacões), pavimentos, artigos industriais, entre outros.

O vasto número de aplicações da borracha SBR resulta das boas propriedades que apresenta, tais como: excelente resistência à abrasão, resistência ao impacto, boa resiliência, resistência à luz solar, luz ultravioleta e à água. Porém, apresenta uma fraca resistência ao calor e a meios químicos agressivos como ácidos e bases concentrados, solventes aromáticos, óleos e gasolinas ^[45]. Para além deste conjunto de propriedades, a borracha SBR apresenta um baixo custo comparativamente a outros elastómeros.

A borracha SBR é um copolímero composto por monómeros de butadieno e estireno. Na Figura 4.1 encontra-se representada a sua unidade estrutural.

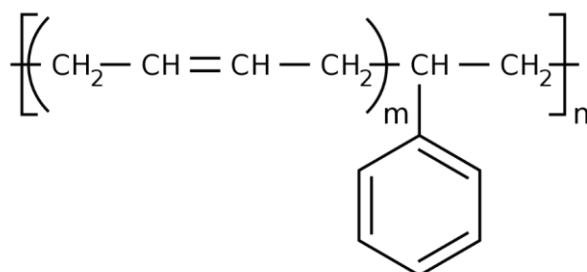


Figura 4.1 – Ilustração da unidade de repetição da borracha SBR.

Relativamente ao butadieno, este apresenta-se sob a fórmula molecular C_4H_6 e é um monómero muito utilizado numa grande variedade de setores, sendo que cerca de 55% da sua produção industrial (petroquímica) é direcionada para a produção de borrachas sintéticas ^[46]. Na Figura 4.2 é possível observar a sua estrutura molecular.

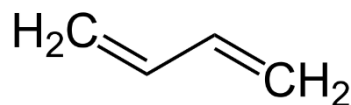


Figura 4.2 – Ilustração da estrutura molecular do 1,3-Butadieno.

Existem diversos processos para obtenção do butadieno, sendo que o mais comum corresponde à sua extração da corrente C_4 (corrente composta por hidrocarbonetos de quatro carbonos) proveniente do processo de *cracking* do petróleo.

O estireno, C_8H_8 , é uma molécula vinílica aromática muito utilizada principalmente no mercado dos termoplásticos. É um líquido incolor, volátil à

temperatura ambiente, sendo a sua inalação prejudicial para a saúde. Apresenta uma boa solubilidade em alguns solventes como óleos, gorduras e uma baixa solubilidade na água [47]. Na Figura 4.3 é apresentada a estrutura molecular do estireno.

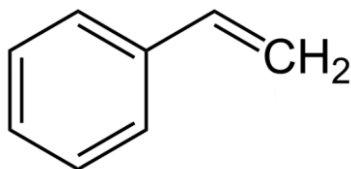


Figura 4.3 – Ilustração da estrutura molecular do Estireno.

A principal fonte de obtenção do estireno é pela desidrogenação do etilbenzeno. O etilbenzeno é um hidrocarboneto monocíclico aromático que ocorre naturalmente no petróleo [48].

A partir de uma reação de polimerização do estireno com o butadieno obtém-se então a matéria-prima principal: a borracha de butadieno-estireno. A polimerização corresponde a uma reação química onde ocorre união de monómeros dando origem à formação de um polímero. Quando ocorre a união de monómeros diferentes, ao produto final, dá-se o nome de copolímero.

A obtenção da borracha SBR pode ocorrer através de dois processos de polimerização: polimerização por emulsão e polimerização em solução. O mais utilizado é a polimerização por emulsão, que corresponde a cerca de 85% a 90% da produção de SBR hoje em dia [49].

A polimerização por emulsão é um processo heterogêneo, onde se dá a adição a um reator dos monómeros, iniciadores, o agente dispersante, emulsionantes e estabilizantes que evitam a deterioração do produto final. Podem também ser adicionadas outras substâncias com a intenção de modificar as características do produto final.

O processo envolve a presença de radicais livres que funcionam como iniciadores da reação. O agente dispersante, dispersa os componentes numa solução aquosa e as moléculas unitárias de butadieno e estireno ligam-se, formando moléculas longas. O rearranjo é aleatório ao longo da cadeia polimérica. Este processo de polimerização apresenta algumas vantagens, tais como [45]:

- Melhor relação de propriedades e custo;
- O agente dispersante (geralmente água) não contamina o polímero;

- Baixa viscosidade, o que facilita a transferência de calor no sistema;
- Fácil remoção do calor gerado pela reação.

A polimerização por emulsão pode ainda ser realizada a quente ou a frio. A quente a temperatura a que a emulsão é submetida pode atingir cerca de 55°C e a frio situa-se entre 5-10°C. A taxa de polimerização (conversão do monómero em polímero) nestas duas técnicas varia, sendo que a quente é de aproximadamente 70% e a frio é de 60% [46].

Outro copolímero butadieno/estireno que é habitualmente incorporado na formulação das placas é o SB80 (copolímero de alto teor de estireno). Embora não seja adicionado em tanta quantidade, este tem uma importância significativa na formulação, pois confere uma maior dureza ao vulcanizado - devido ao elevado teor de estireno que contém (cerca 80%).

Industrialmente, é comum a utilização de uma combinação destes dois polímeros, uma vez que facilita o processamento na borracha. O que os diferencia é a percentagem que apresentam de estireno/butadieno. (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Composição dos tipos de polímeros utilizados na formulação.

Polímero	Butadieno (%)	Estireno (%)	% média na formulação
SBR 1502	77	23	35
SB80	20	80	15

A relação butadieno/estireno influencia as características do produto final, pois à medida que aumenta o teor de estireno, o produto da polimerização assume, normalmente, características de um polímero mais termoplástico - tornando-se mais duro e menos elástico. O teor de estireno normalmente varia entre 23% e 85%, mas existe um limite a partir do qual a adição de estireno pode prejudicar o comportamento da borracha durante o processamento [49].

4.1.1. Cargas ou Reforço

As cargas representam “um ingrediente de composição sólida, normalmente adicionado, em quantidades relativamente grandes, às composições de borracha ou de látex por razões técnicas ou económicas” [50].

As cargas são adicionadas com o objetivo de reforçar a matriz do elastômero, diminuir o custo de formulação ou melhorar as propriedades mecânicas como a resistência à tração, ao rasgamento e a elasticidade. Diz-se reforço, uma vez que esta é uma característica que aumenta a rigidez dos compostos não vulcanizados e melhora, principalmente, a tensão de rotura, resistência à abrasão e resistência ao rasgamento ^[51]

O efeito reforçante, assim como a quantidades necessária para se conseguir obter determinadas propriedades, variam de elastômero para elastômero. As cargas podem dividir-se em três grupos ^[51]:

- Reforçantes: Proporcionam uma melhoria das propriedades mecânicas da matriz e aumentam a viscosidade dos compostos e a dureza
- Não reforçantes ou inertes: São utilizadas com o objetivo de minimizar o custo do produto e promover o processamento.
- Semi-reforçantes: Originam propriedades intermédias às cargas reforçantes e não reforçantes

As cargas reforçantes mais utilizadas são o negro de fumo e a sílica. As não reforçantes (inertes) mais comuns são o carbonato de cálcio e o caulino. O carbonato de cálcio é muito utilizado uma vez que tem origem natural (calcita), apresenta baixo custo, não é tóxico e não é abrasivo.

Alguns tipos de cargas podem causar um retardamento na cinética de vulcanização devido à tendência que apresentam de adsorver e fixar os aceleradores de vulcanização. Para isso, são utilizados os ativadores de carga, que reduzem a interação entre a carga, a borracha e outros ingredientes ^[52].

A Monteiro Footwear, tal como muitas empresas da mesma área, reaproveita os resíduos de pó de borracha vulcanizada que são gerados diretamente no processo e também as aparas de borracha vulcanizada que são convertidas, por moagem, em pó com auxílio a uma empresa externa. As aparas de borracha resultam também do processos de produção e também de retalhos desaproveitados dos seus clientes.

Nesta situação, o pó de borracha reciclada funciona como carga não reforçante ou inerte na produção de certos compostos de borracha. Existem alguns cuidados a ter em consideração, atendendo à utilização prevista em solas, nomeadamente da cor e tipo de

pó, que deve ter uma constituição idêntica ao material onde se pretende fazer a incorporação.

Existe ainda outro tipo de material reciclado que é incorporado apenas na produção das placas de borracha com incorporação de pó reciclado, denominado regenerado de pneu. Este tipo de material é obtido através do tratamento de borracha de pneu em fim de vida através de um processo químico de desvulcanização parcial (quebra parcial das ligações de enxofre), o que possibilita que apresente condições para voltar a ser submetido a processos de vulcanização.

A incorporação de materiais reciclados no processo de produção como uma matéria-prima permite substituir uma grande percentagem da matéria-prima virgem.

4.1.2. Outros constituintes auxiliares de processo

Os agentes de vulcanização têm uma importância elevada quando se produz uma borracha, uma vez que são os responsáveis pela reação de vulcanização. A sua utilização promove a formação de ligações entre as moléculas do polímero, conferindo ao material as propriedades elásticas.

Existem diversos agentes de vulcanização, nomeadamente: enxofre, óxidos metálicos, aminas, resinas fenólicas, entre outros. O enxofre foi o primeiro agente de vulcanização conhecido e, atualmente, continua a ser o mais utilizado ^[53].

Na produção são também adicionados ativadores de vulcanização, que são empregues com o objetivo de ativar as reações de vulcanização, especialmente as que utilizam o enxofre. Um dos ativadores de vulcanização mais utilizado é o óxido de zinco.

Para além dos agentes e ativadores de vulcanização, são ainda utilizados aceleradores de vulcanização e adicionados pigmentos com o objetivo de conferir cor ao produto final.

Após a produção da borracha, são vários os fatores que podem contribuir para a sua degradação, nomeadamente oxigénio, temperatura, luz ultravioleta, ataque de microrganismos, entre outros. Assim, torna-se necessário incluir agentes de proteção na sua formulação, como agentes antioxidantes, agentes fungicidas e bactericidas, etc ^[53].

Importa referir que também se considera o uso de solventes, uma vez que estes são utilizados na preparação de superfícies, operações de limpeza ou até na etapa de acabamento (pintura) com o objetivo de promover a diluição das tintas.

4.2. Processo de Produção das Placas de Borracha SBR

O processo produtivo das placas de borracha na Monteiro Footwear é definido através de instruções de trabalho próprias que variam conforme as especificações técnicas requeridas pelos clientes. Uma vez que estas diferem em termos de espessura, área, cores acabamentos entre outras especificações, as matérias-primas utilizadas variam de acordo com o tipo de placa que se pretende obter.

De um modo geral, o processo de produção das placas de borracha envolve a pesagem das matérias-primas, mistura, provetagem/extrusão, vulcanização, serra, lixa, pintura e, por fim, embalagem, conforme ilustrado na Figura 4.4.

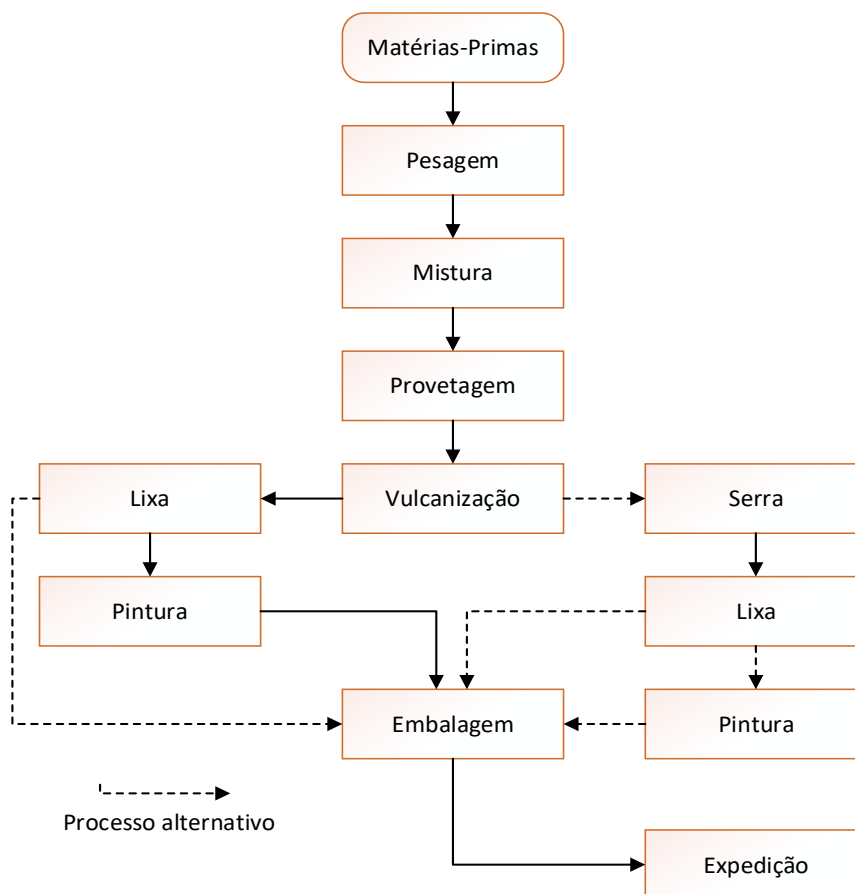


Figura 4.4 - Processo produtivo das placas de borracha na Monteiro Footwear..

Encontram-se igualmente ilustrados alguns dos processos alternativos que podem ser adotados na produção.

As etapas de serra e lixa representam a fase de calibração da placa de borracha. A passagem por estes dois processos não é obrigatória, as placas podem passar apenas pelo processo de lixa, mas nunca pelo processo de serragem a solo, este é sempre seguido da lixa. Depende sempre do que se pretende obter como produto final.

4.3. Resíduos provenientes do processo de produção e reaproveitamento de desperdícios

No decurso das etapas de produção das placas de borracha SBR, são gerados resíduos que são reciclados/valorizados, eliminados e/ou sofrem algum tipo de pré-tratamento devido à sua perigosidade antes de serem eliminados.

As etapas de corte após fase de vulcanização e a fase de lixa são as principais responsáveis pelos resíduos de borracha gerados durante o processo.

O método utilizado para proceder à vulcanização das placas de borracha é moldagem por compressão, recorrendo a prensas hidráulicas aquecidas através de vapor de água que se encontra a 12 MPa e a uma temperatura de 150°C a 160°C. O provete de mistura é introduzido no prato da prensa, onde se encontra o molde com a forma final que se pretende obter, e é subsequentemente prensado.

Após este processo, as placas já vulcanizadas são retiradas da prensa e colocadas em mesas de arrefecimento. No decurso da prensagem destas placas, corre a formação de rebordos que devem ser retirados/cortados para que a placa mantenha o modelo desejado e, a esses rebordos, dá-se o nome de aparas de borracha. As aparas de borracha são tratadas como resíduos, sendo separados em contentores por cores e enviados a um reciclador com o objetivo de serem reduzidos a pó para posteriormente se dar a sua reintrodução no processo de produção dos produtos desenvolvidos que incorporam pó de borracha reciclado.

A etapa de lixa tem como principal função uniformizar em termos de espessura e acabamento a superfície que constituirá o verso da placa. Durante esta etapa são geradas grandes quantidades de pó de borracha. Este pó constitui um excelente material para ser

utilizado como carga no processo de produção das placas que incorporam pó de borracha reciclado, tendo vantagens adicionais sobre outras cargas minerais ao nível das propriedades mecânicas finais. A otimização da percentagem de pó que pode ser incorporado foi alvo de extensivos estudos, uma vez que a partir de uma certa quantidade pode comprometer o bom desempenho da placa de borracha. A recolha/reaproveitamento do pó é realizada através de um sistema de aspiração que se encontra instalado na etapa da lixa, de forma que quase todo o pó resultante da lixa seja aproveitado. Após ser aspirado, o pó segue para tanques de armazenamento exteriores.

Todos os restantes resíduos produzidos são recolhidos por entidades competentes com o objetivo de os reciclar ou eliminar conforme o caso.

4.4. Aplicação das Placas de Borracha SBR e Ciclo de Vida

Para uma melhor compreensão do produto em estudo, torna-se importante perceber onde este é aplicado após a sua produção.

A sola representa a parte externa do sapato que se encontra em contacto direto com o solo. O propósito desta é proteger a base do pé e conferir conforto, por isso, a sua qualidade e performance é de extrema importância. Inicialmente, quase todo o calçado era feito de couro, incluindo toda a sola. Com o surgimento da petroquímica e, com ela, os materiais sintéticos, os fabricantes de calçado começaram a apostar no uso de matérias-primas alternativas, nomeadamente a borracha. A sola de um sapato pode apresentar vários constituintes e, para uma melhor compreensão, é apresentada na Figura 4.5 uma ilustração da constituição de um sapato de salto.

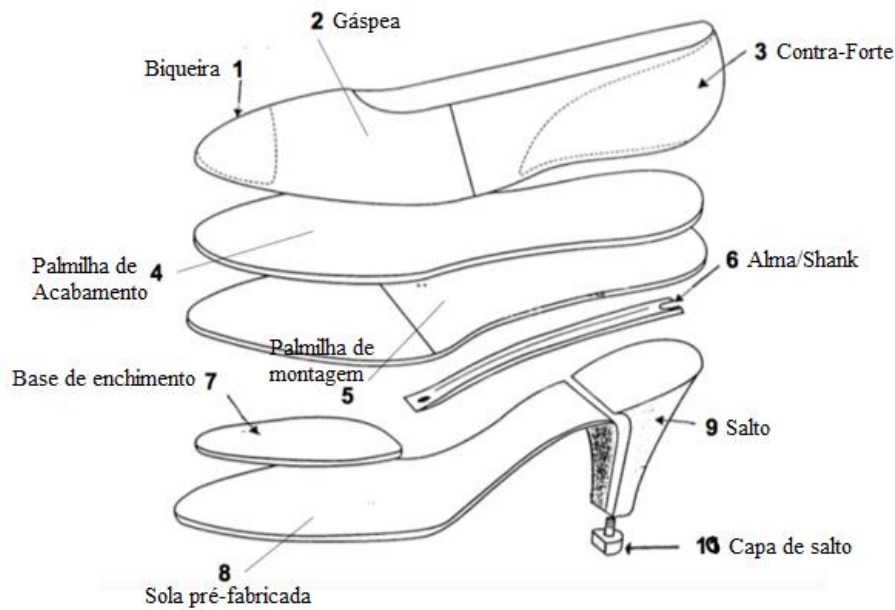


Figura 4.5 – Constituição geral de um sapato.

Dá-se o nome de sola ao seguinte conjunto de constituintes: palmilha de acabamento; palmilha de montagem; a alma (peça de aço que serve para dar firmeza à sola e sustentar a planta do pé); base de enchimento; sola pré-fabricada; salto e capa. Assim, a sola do sapato representa um conjunto de peças que se entropõem entre o pé e o solo.

As placas de borracha produzidas na Monteiro Footwear, são comercializadas e, posteriormente, transformadas para obtenção de solas pré-fabricadas. As placas podem igualmente ser utilizadas na reparação e recuperação de calçado.

Depois de finalizadas, as placas de borracha seguem para o cliente (pré-fabricante, fabricante de calçado, distribuidor, entre outros) na forma de retângulos de borracha onde serão posteriormente cortadas conforme o design da sola onde será integrada, como mostra a Figura 4.6. Cada placa de borracha dá origem a várias unidades de solas pré-fabricadas, importando referir que, após o corte das solas, resta uma superfície não aproveitada que constitui um resíduo passível de reciclagem.



Figura 4.6 - Sugestão de sola pré-fabricada retirada de uma placa pintada. a) parte exterior (em contacto com o solo); b) parte interior

Posteriormente, faz-se a montagem dos vários componentes da sola. Na Figura 4.6 a letra a) corresponde ao lado da sola pré-fabricada que fica em constante contacto com o solo. A parte da sola do calçado que se encontra em contacto com o solo deve ter bastante aderência e uma boa tração, mesmo em pisos molhados. Por estas e outras razões, a borracha tem sido uma aposta da indústria do calçado com muito sucesso.

4.4.1. Ciclo de Vida da Placa de borracha SBR

De uma forma simplificada, as etapas que compreendem o Ciclo de Vida do produto em estudo, podem ser definidas de acordo com a Figura 4.7.

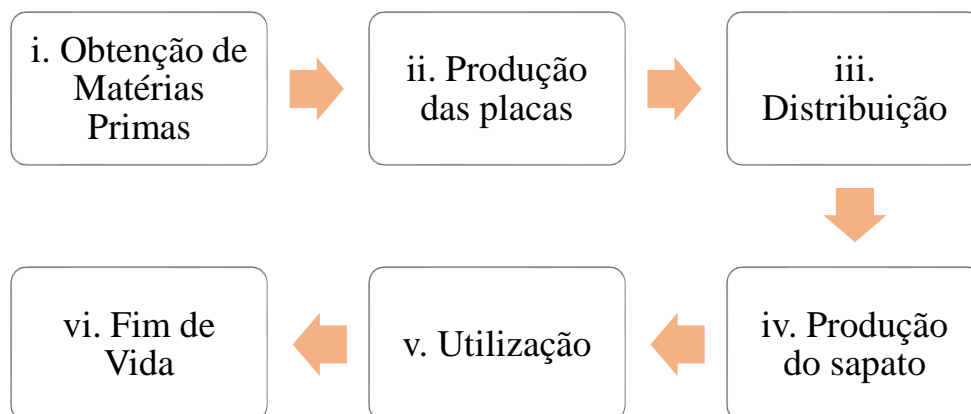


Figura 4.7 - Ciclo de Vida das Placas de Borracha SBR.

Estas etapas podem ser descritas como (i) Obtenção das matérias-primas (fase onde são obtidas todas as matérias-primas necessárias à produção das placas de borracha); (ii) Produção (fase onde se dá a produção das placas de borracha SBR em estudo); (iii) Distribuição (fase em que os produtos são comercializados e distribuídos para os clientes – fabricante de calçado, pré-fabricante ou distribuidor); (iv) Produção do sapato (montagem de todos os produtos que constituem o sapato, incluindo a sola exterior pré-fabricada que é proveniente das placas); (v) Utilização; (vi) Fim de vida (fase onde o produto é descartado, eliminado ou recuperado).

Este não pode ser considerado um ciclo de vida circular, uma vez que muito dificilmente se conseguirá realizar um aproveitamento das placas de borracha no seu fim de vida. Assim, o ciclo de vida completo das placas de borracha SBR apresenta uma estrutura linear, à qual dá-se o nome de *cradle-to-grave*.

Capítulo 5

5. ESTUDO DA SUSTENTABILIDADE POR MEIO DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE E COM BASE NA ANÁLISE DE ACV

O estudo de Sustentabilidade tendo por base uma análise de ciclo de vida das placas de borracha SBR foi realizado na empresa Monteiro Footwear no ano de 2021, seguindo os indicadores de Sustentabilidade e as recomendações presentes nas normas 14040:2008 e 14044:2010 ^[35] ^[41].

5.1. Definição do Objetivo

Este estudo teve como principal objetivo a comparação e avaliação da sustentabilidade e dos impactos associados à produção de placas de borracha SBR com e sem a incorporação de resíduos de borracha (provenientes de etapas de produção e/ou externos). Pretende-se igualmente avaliar quais as semelhanças e diferenças entre os dois produtos e as suas vantagens/desvantagens do ângulo da sustentabilidade.

A realização deste estudo é importante uma vez que permite um diagnóstico interno de modo a perceber em que ponto a empresa se encontra em termos de desenvolvimento de produtos sustentáveis. Simultaneamente, pode constituir um elemento importante no âmbito da eventual certificação do produto pela *Global Recycled Standard* (GRS).

A GRS é uma norma internacional inteiramente dedicada a produtos, onde são definidos os requisitos para a certificação de material reciclado. Contudo, engloba a cadeia de processo, as práticas sociais, as responsabilidades ambientais e restrições químicas. A certificação GRS incentiva a utilização de materiais reciclados, promover a transparência na cadeia de abastecimento e proporciona uma rotulagem mais precisa e concisa em termos de informação aos consumidores ^[54].

5.2. Definição do Âmbito de estudo na perspetiva ACV

5.2.1. Descrição do produto e Unidade Funcional

As placas de borracha são um constituinte da sola do sapato. A sua função primária é conferir suporte e garantir uma boa aderência às superfícies. Deve apresentar boas características de tração e durabilidade, uma vez que se encontra em contacto constante com o solo.

A Unidade Funcional, representa a unidade de referência quantitativa do estudo, onde os fluxos de entradas e saídas se encontram relacionados, assegurando a comparabilidade de resultados numa base comum. Foi definida como sendo 1000 kg de placas de borracha SBR produzidas Monteiro Footwear.

5.2.2. Sistema de Produto

Apesar de idênticas, as unidades de processo que fazem parte do sistema do produto foram sub-divididas em duas, uma vez que se tem em consideração a produção de placas sem incorporação e com incorporação de resíduos.

Existem várias atividades que compõe o sistema de produto. Estas foram definidas e numeradas de A1 a A5, considerando a obtenção de matérias-primas, transporte até à empresa, produção dos dois tipos de placas, fase de acabamento das placas e embalagem/armazenamento (Figura 5.1).

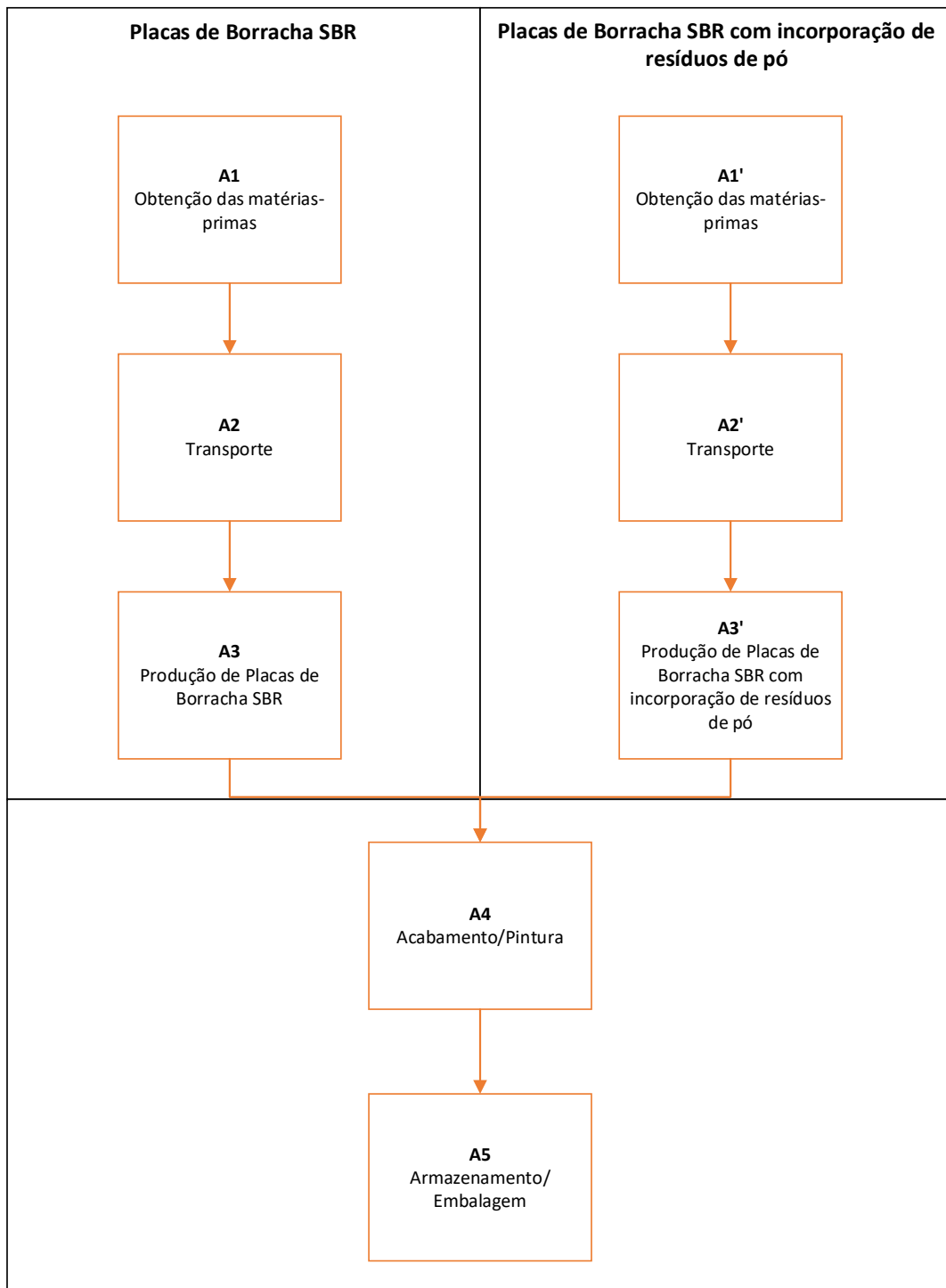


Figura 5.1 - Atividades referentes à Avaliação de Ciclo de Vida em estudo.

- **Atividade 1 (A1 e A1')**: Refere-se ao processo de obtenção dos constituintes da formulação. É importante referir que apesar de muito idênticas, estas duas placas apresentam algumas diferenças ao nível das matérias-primas necessárias para a sua produção.

- **Atividade 2 (A2 e A2')**: Transporte rodoviário das matérias-primas até à empresa.
- **Atividade 3 (A3 e A3')**: Processo industrial para a fabricação das placas de borracha SBR na Monteiro, Ribas. O processo de produção das duas placas é idêntico, envolvendo o processo de pesagem das MP, mistura, provetagem/extrusão, vulcanização, serra, lixa, pintura e embalagem.
- **Atividade 4 (A4)**: Etapa de acabamento/pintura das placas com recurso a tintas e solventes.
- **Atividade 5 (A5)**: Processo de embalamento e armazenamento das placas de modo a seguirem para a etapa de distribuição até ao cliente.

5.2.3. Fronteiras do Sistema

Adotando a metodologia ACV, pretende-se definir as fronteiras do estudo, de modo a facilitar a condução do mesmo.

As fronteiras são definidas desde a extração das matérias-primas necessárias para a produção das placas até ao embalamento do produto final, tendo em conta o tratamento de resíduos gerados. Segue-se o conceito de *cradle-to-gate* que envolve as atividades que dizem respeito à extração das matérias-primas e todas aquelas desenvolvidas dentro da indústria associadas à produção, não sendo contabilizadas as atividades subsequentes.

A decisão de seguir um estudo *cradle-to-gate* provém de se tornar demasiado complexo, num curto espaço de tempo, ter conhecimentos de todas as informações sobre a forma como as placas são utilizadas assim que abandonam a Unidade. De facto, a limitação de tempo, as condições disponíveis (confinamento no âmbito do combate à pandemia COVID-19) e a dificuldade de acesso a informação inviabilizaram um estudo mais completo do tipo *cradle-to-grave*.

5.2.4. Limitações do estudo e critérios de exclusão de entradas e saídas do processo

As condições externas disponíveis para este estudo não permitiram obter a informação relativa à obtenção de cada uma das matérias-primas utilizadas no processo, pelo que se decidiu incluir unicamente dados sobre a obtenção da matéria-prima principal dos dois tipos de placas: o polímero de butadieno-estireno.

O facto de ser necessário realizar ajustes na formulação de modo que a adição do pó não prejudique o desempenho da borracha, leva a que os constituintes da formulação das duas placas não sejam exatamente os mesmos e consequentemente, a que os pontos de comparação também variem entre as duas placas.

Importa igualmente referir que todos os dados referentes à obtenção das matérias-primas e respetiva comparação foram obtidos através de pesquisa e consulta da literatura disponível. Também a informação relativa ao consumos e insumos associados aos transportes rodoviários se baseia em dados publicados na literatura.

Embora o estudo tenha sido realizado em 2021, os dados recolhidos e tratados tiveram por base o ano de 2019, uma vez que se pretende obter uma avaliação de sustentabilidade num ano de “produção normal” - o que não aconteceu no ano de 2020 devido à situação da pandemia COVID-19.

5.3. Inventário de Ciclo de Vida

A análise do inventário foi realizada de acordo com os insumos e emissões associadas à produção das placas de borracha SBR desde a extração das matérias-primas necessárias, até ao momento em que são prontificadas a serem expedidas da Monteiro Footwear. Assim, foram reunidas todas as informações relevantes para que seja possível a comparação entre os dois tipos de placas de borracha.

5.3.1. Procedimento de recolha de Dados

Relativamente à obtenção de matérias-primas, como não foi possível obter dados concretos relativamente a consumos e emissões associadas à produção das matérias-primas utilizadas na formulação, os resultados discutidos e apresentados referem-se apenas à principal matéria-prima utilizada na produção das placas, a borracha SBR, e têm origem secundária, ou seja, são provenientes de dados bibliográficos.

Foi considerado o transporte rodoviário utilizado entre o fornecedor e a empresa das principais matérias-primas e a distância percorrida (Figura 5.1, Atividade 2).

O processo de recolha de dados relativos à produção das placas de borracha SBR (Atividade 3) foi realizado internamente, ou seja, apresentam uma origem primária. Foi possível obter as quantidades de matérias-primas consumidas, utilidades empregues no processo e as principais emissões associadas.

Relativamente às Atividades 4 e 5, referente ao acabamento das placas e ao embalamento/armazenamento do produto final, os dados também são de origem primária, recolhidos internamente.

Por questões de confidencialidade, os nomes das matérias-primas nas formulações serão indicados por designações genéricas.

5.3.2. A1: Obtenção das principais matérias-primas

Grande parte das matérias-primas utilizadas na produção das placas de borracha têm origem a partir de fontes não renováveis (petróleo).

Os monómeros de butadieno e estireno, que compõem a borracha SBR, representam cerca de 68% dos constituintes utilizados na produção das placas de borracha (Tabela 4.1, Capítulo 4), tendo por isso um papel significativo na sua composição. Estes monómeros, são obtidos através de fontes não renováveis, pelo que a sua obtenção contribui tanto para o consumo energético primário, como para a emissão de GEE para a atmosfera.

O pó que é incorporado na formulação do tipo de placas com a sua incorporação também deve ser considerado uma matéria-prima importante. O pó reciclado no processo de produção, tem duas origens diferentes:

- **Pó da lixa:** pó que é aspirado na fase da lixagem e que é reintroduzido no processo de produção das placas com incorporação de pó, sem necessidade qualquer pré-tratamento;
- **Pó moído externo:** resulta de aparas de borracha que são cortadas da placa após esta atravessar o processo de vulcanização e, ao contrário do pó proveniente da lixa, não são aproveitadas diretamente. Estas são recolhidas e vendidas a uma organização de reciclagem externa que transforma resíduos de borracha em pós, permitindo a sua reutilização. A Monteiro Footwear compra a essa empresa esse pó reciclado para incluir como componente nas formulações da gama de produtos de borracha SBR que incorporam pó reciclado, para além da adição do pó proveniente da lixa.

No total, a incorporação destes materiais reciclados representa cerca de 40% da constituição das placas de borracha SBR com incorporação de pó (12% representa pó da lixa e 28% pó moído externo).

O conhecimento sobre os consumos e as emissões associadas ao processo de reciclagem de pó que é feito pela organização externa seriam interessantes com vista a obter um maior conhecimento sobre a viabilidade de recorrer a este processo comparativamente à obtenção das matérias-primas que a adição do pó pretende substituir. No entanto, devido às limitações de recursos, relativamente a este assunto apenas foi possível conhecer uma suposição das emissões associadas ao transporte do pó como matéria-prima.

5.3.3. A2: Transporte matérias-primas até à Monteiro Footwear.

Nesta etapa foram recolhidas as informações sobre os países de origem das matérias-primas para a produção das placas e a respetiva distância, em km, até chegar à Unidade de produção, uma vez que se torna importante conhecer qual a vantagem, em termos de transportes de matérias-primas, que uma placa de borracha SBR apresenta em relação à outra.

Foi dada particular atenção à recolha de dados relativos às matérias-primas que são diferentes na formulação das duas placas de borracha e às emissões associadas, já que para as MP comuns, os dados são consideravelmente os mesmos. Considerou-se também em ambas as placas, o transporte da matéria-prima principal que as compõe – a borracha de butadieno-estireno.

Os dados à qual foi possível ter acesso dizem respeito à receção de matérias-primas feitas no ano de 2019 na Monteiro Footwear e estes são importantes para que seja possível o cálculo das emissões de GEE associadas ao seu transporte. Apesar de os valores recolhidos corresponderem a valores anuais, conhecendo as quantidades de cada tipo de placas produzida nesse ano, é possível obter valores em relação à Unidade Funcional definida de 1000 kg.

Na Tabela 5.1 encontram-se as informações relativas às principais matérias-primas incluídas na composição das duas placas (Elastómeros A e B) e as matérias-primas que diferem a placa SBR convencional da placa com incorporação de pó de borracha reciclado (neste caso: Elastómero C, Carga 1, Auxiliares 1 e 3). No anexo A é apresentada a tabela completa de matérias-primas e respetivo país de origem.

Tabela 5.1 - País de origem das MP necessárias para a produção de placas de borracha SBR normais.

Produto	País Origem	Trajeto (km)		Quantidade MP (ton/ano)
		Rodoviário	Marítimo	
Elastómero A (SBR)	Rússia		3889	286
Elastómero B (SB80)	Polónia	3027		120
Elastómero C	França	1303		2
Carga 1	China		17546	45
Auxiliar 1	Coreia do Sul		18192	2
Auxiliar 3	China		17546	1,5

Como se pode observar, algumas matérias-primas chegam até Portugal através de transporte marítimo. Os dados sobre as distâncias de transporte de mercadoria entre os diferentes portos internacionais foram obtidos através da literatura ^[55].

A grande maioria das matérias-primas são adquiridas pela Monteiro Footwear por meio de distribuidores. Contudo, se a análise realizada se restringisse somente ao transporte entre o distribuidor e a Unidade., os valores seriam muito inferiores aos reais, uma vez que o distribuidor se encontra em Portugal e o país de origem de grande parte das MP é estrangeiro. Assim, tendo em conta a quantidade que a Unidade recebe por ano

de cada uma das MP e as capacidades normais de um camião/barco, fez-se uma estimativa das viagens que seriam necessárias realizar desde o país de origem.

As mesmas informações foram recolhidas para a placa de borracha com incorporação de pó de borracha reciclado. Os pós e a Carga 3, são as matérias-primas que diferem da placa SBR tradicional (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 - País de origem das MP necessárias para a produção de placas de borracha SBR com incorporação de pó.

Produto	País Origem	Trajeto (km)		Quantidade MP (ton/ano)
		Rodoviário	Marítimo	
Elastómero A (SBR)	Rússia		3889	286
Elastómero B (SB80)	Polónia	3027		120
Carga 3	Portugal	155		150
Pó da Lixa	Portugal	-	-	-
Pó moído Externo	Espanha	581		132
Regenerado de pneu	Holanda		1881	30

5.3.4. A3: Produção de placas de borracha

De acordo com os dados recolhidos, no ano de 2019, foram produzidos 788687 kg de placas de borracha dos dois tipos. Desta quantidade, 487177 kg corresponderam a placas com formulação que incorpora de pó de borracha reciclada, ou seja, 61,8% da produção total. Os restantes 301510 kg dizem respeito a placas com formulação sem incorporação de pó (convencional), o que corresponde a uma percentagem de 38,2%.

Na Tabela 5.3, na segunda coluna encontra-se especificada a constituição de uma placa de borracha SBR convencional (produto final) produzida na Monteiro Ribas – Indústrias S.A, sem qualquer acabamento ou pintura. A partir destes valores e sabendo que durante o processo produtivo se perde cerca de 15% da massa da mistura inicial, é possível calcular a quantidade de matérias-primas iniciais necessárias para a produção de 1000 kg de placas de borracha (Unidade Funcional).

Tabela 5.3 - Constituição de uma placa de borracha SBR convencional e quantidade de MP necessárias para a produção de 1000 kg de placas (Unidade Funcional).

MATÉRIAS-PRIMAS	Constituição placa (%)	Quantidade MP por Unidade Funcional (kg)
Elastómero A (SBR)	33,64 %	386,9
Elastómero B (SB80)	27,65 %	318,0
Elastómero C (BR)	6,210 %	71,42
Agente Vulcanizante	1,470 %	16,91
Carga 1	19,98 %	229,8
Carga 2	4,290 %	49,34
Resina 1	0,6800 %	7,820
Acelerador 1	1,130 %	13,00
Acelerador 2	0,3200 %	3,680
Auxiliar 1	1,920 %	22,08
Auxiliar 2	2,030 %	23,35
Auxiliar 3	0,6800 %	7,820
TOTAL	100,0 %	1150

Na Tabela 5.4 encontra-se especificada a constituição de uma placa de borracha SBR com incorporação de pó de borracha reciclada sem qualquer acabamento/pintura. Como já referido, o facto da constituição das placas com incorporação de pó diferir das placas convencionais em termos de MP, deve-se ao facto de ser necessários fazer ajustes na formulação para que o desempenho da mesma não fique prejudicado.

Tabela 5.4 - Constituição de uma placa de borracha SBR com incorporação de pó e quantidade de MP necessárias para a produção de 1000 kg de placas (Unidade Funcional).

MATÉRIAS-PRIMAS	Constituição placa (%)	Quantidade MP por Unidade Funcional (kg)
Elastómero A (SBR)	16,71 %	192,2
Elastómero B (SB80)	10,50 %	120,8
Agente Vulcanizante	1,240 %	14,26
Carga 2	3,340 %	38,41
Carga 3	17,00 %	195,5
Resina 1	1,240 %	14,26
Acelerador 1	1,620 %	18,63
Acelerador 2	0,030 %	0,3450
Auxiliar 2	1,430 %	16,45
Regenerado de pneu	6,110 %	70,27
Pó da lixa	28,65 %	329,5
Pó moído externo*	12,13 %	139,5
TOTAL	100,0 %	1150

O regenerado de pneu representa também um tipo de reciclado proveniente de pneus na fase de fim de vida que é adicionado à formulação, mas, ao contrário do pó de borracha reciclado, este consegue voltar a ser parcialmente vulcanizado. O regenerado de pneu nada tem a ver com o pó produzido na Monteiro Ribas, nem provém do mesmo reciclador externo à qual a Unidade recorre para transformar os seus resíduos de borracha, logo não pertence aos cerca de 40 % de pó de borracha reciclado. No entanto, este também representa um papel interessante uma vez que, em conjunto com o pó de borracha reciclado, pretendem substituir uma certa parte dos elastómeros e das cargas utilizadas para a produção da placa de borracha SBR convencional. O pó de borracha reciclado que é adicionado, apesar de não poder voltar a ser vulcanizado, apresenta características que promovem as propriedades mecânicas das placas.

Considerando que a quantidade de pó reciclado que se adiciona à mistura representa uma quantidade de 469 kg por cada 1000 kg de produto produzido, pode-se dizer que essa quantidade representa a poupança que é feita em matérias-primas virgens neste tipo de produção.

As perdas de 15% representam as saídas de material/resíduos sólidos que ocorrem ao longo das várias etapas do processo de produção das placas (Tabela 5.5) e que, devido à sua natureza, têm destinos diferentes. Os dados são referentes à produção de 1000 kg de placas de borracha e aplicam-se na produção de ambos os produtos em estudo.

Tabela 5.5 – Resíduos sólidos formados durante a produção de 1000 kg placas de borracha SBR de forma geral.

SAÍDAS MATERIAL	% Formação	Quantidade (kg)	Destino
Pó da lixa	12%	120	Reincorporado internamente
Aparas de borracha	2,0%	20	Enviado para reciclagem
Rejeições aproveitadas	0,30%	3	Reincorporado internamente
Rejeições descartadas	0,70%	7	Enviado para aterro
TOTAL	15,00%	150,0	

As rejeições dizem respeito a material não conforme que pode ser, ou não, aproveitado conforme o estado em que se encontra. Dentro deste material não conforme, faz-se o aproveitamento de cerca de 0,30% e cerca de 0,70% é descartado - a sua disposição final é em aterro uma vez que não apresentam condições de aproveitamento.

5.3.5. A4: Acabamento/Pintura

A fase de acabamento/pintura de placas encontra-se separada do processo de produção, uma vez que a utilização de solventes e tintas é uma etapa adicional que pode ser ou não realizada. Esta etapa é caracterizada pelo consumo de matérias-primas com impacto negativo para o meio ambiente. Apesar das tintas utilizadas serem, em grande parte, de base aquosa, também se procede à utilização de resinas e de solventes puros para lavagem de equipamentos e pequenos ajustes de diluição.

Nesta fase não se faz a distinção entre placas convencionais e placas com incorporação de pó reciclado, porque ambas recorrem a este processo.

Considera-se que, por cada 1000 kg de placas produzidas cerca de 60% levam acabamento, o que significa que 600 kg dessas placas têm incorporados estes produtos (Tabela 5.6).

Tabela 5.6 - Quantidade de produtos químicos utilizados na fase de acabamento de placas.

ENTRADAS MATERIAL	kg solvente/ kg placa	Quantidade solvente em 600 kg placas (kg)
Metil-Etil-Cetona (MEK)	0,5122	3,073
Metoxipropanol	0,7683	4,610
Butilglicol	0,1579	0,9475
Resinas de Acabamentos	2,418	14,51
TOTAL	3,856	23,14

Assim, por cada 1000 kg de placas produzidas ocorre o consumo de 23,14 kg de solventes/tintas.

Uma vez que é nesta fase que são maioritariamente manuseados solventes e tintas, as saídas de material envolvem essencialmente resíduos líquidos como águas de lavagem de equipamentos e resíduos de solventes/tintas. Como consequência desta utilização, ocorre também a emissão de compostos orgânicos voláteis (COV) resultantes de processos de secagem e emissões difusas. Na Tabela 5.7 são apresentados os dados referentes ao ano de 2019, que são comuns para os dois tipos de placas em estudo, uma vez que não há distinção neste processo.

Tabela 5.7 – Saída de material proveniente da fase de pintura no ano de 2019.

SAÍDAS MATERIAL	Quantidade
Resíduos de tintas e solventes	10385 kg
Águas de lavagem	7179 kg
Compostos Orgânicos Voláteis	0,0390 kg/h

Os dados referentes aos compostos orgânicos voláteis dizem respeito à quantidade emitida por hora de utilização. Esta medição foi feita por amostragem nas chaminés da Unidade, através de uma empresa externa.

Por cada hora de funcionamento desta etapa, conseguem-se pintar 120 placas. O manuseio de solventes/tintas não é feito durante 8 horas de trabalho, mas sim quando é necessário recorrer a este procedimento. Estima-se que este tipo de produtos tenha um tempo de manuseio de 4 horas por dia de trabalho.

Estes efluentes são armazenados em tanques a granel especializados, como os contentores intermédios para mercadorias a granel (IBC, do inglês *Intermediate Bulk Container*) geralmente de 2000 L ou tambores de 200 L e, posteriormente, recolhidos pelas entidades competentes. Os efluentes aquosos, como águas de lavagem de equipamentos sofrem um processo de recuperação/reciclagem. Já os resíduos de tintas e solventes são depositados/eliminados.

5.3.6. A5: Armazenamento/Embalamento

A etapa de embalagem é também responsável pela geração de uma grande quantidade de resíduos sólidos. Nesta fase também não foi feita a distinção entre o tipo de placas a embalar, dado que o processo é o mesmo. Na Tabela 5.8 é possível avaliar a quantidade de resíduos, considerados recicláveis, que são produzidos nesta etapa ao longo do ano de 2019.

Tabela 5.8 - Resíduos Recicláveis

Resíduos Recicláveis	Quantidade (kg)
Plástico	4266
Madeira	9548
Papel	4137
Cartão	252
TOTAL	18203

Tendo em consideração a quantidade total placas produzidas no ano de 2019, fez-se uma estimativa de quanto a quantidade de resíduos recicláveis representaria por Unidade Funcional, obtendo-se o valor de 23,08 kg (anexo D).

Os resíduos de plástico dizem respeito ao plástico utilizado no embalamento (filme plástico) e também a embalagens de produtos químicos utilizados. Os resíduos de madeira provêm maioritariamente da utilização de paletes. Foram também contabilizadas as quantidades de papel (sacos de papel onde vem embaladas algumas matérias-primas) e cartão. Todos estes resíduos são devidamente separados com o objetivo de seguirem para unidades de reciclagem. As embalagens de plástico de químicos também constam nestas quantidades, uma vez que são também recicladas, no entanto sofrem um pré-tratamento de lavagem e posterior trituração em unidades competentes antes de serem recicladas.

5.4. Análise de Resultados: placas de borracha SBR convencional vs. placas de borracha SBR com incorporação de pó de borracha reciclado.

Realizou-se um estudo comparativo de sustentabilidade entre a placas com incorporação de pó reciclado e sem a incorporação. Para isso recorre-se a indicadores de sustentabilidade outrora mencionados. Serão abordados assuntos como o consumo energético, consumo de materiais, consumo de água, emissões atmosféricas e a produção e gestão de resíduos.

5.4.1. Consumo Energético

Tendo em conta que os meios disponíveis, o estudo do consumo de energia ficou-se pela etapa onde seria possível conhecer os dados associados ao mesmo – a etapa de produção das placas.

➤ Consumo de energia elétrica no Processo de Produção

Este consumo refere-se à energia que é utilizada para o funcionamento de todos os equipamentos necessários na zona de produção, incluindo o laboratório de investigação e desenvolvimento e o sistema de ar comprimido. Sendo o processo de produção destes dois tipos de placas idêntico, o consumo de energia elétrica referente a cada um é exatamente o mesmo, uma vez que são utilizadas as mesmas etapas de produção.

Na Tabela 5.9, são apresentados os dados recolhidos para os consumos de energia elétrica necessária na produção de 1000 kg de placas durante o ano de 2019.

Tabela 5.9 - Consumo Energético na Monteiro Footwear em MWh/ton de placas produzidas.

Consumo de Energia	Quantidade (MWh/ton)
Energia Elétrica	1,305

O consumo de energia elétrica para a produção de 1000 kg de placas de borracha no ano de 2019 correspondeu a 1,305 MWh/ton de placa produzida.

A medição por meio de indicadores de sustentabilidade tem como base medições anuais, assim, considerando que nesse mesmo ano se produziram cerca de 789 toneladas de placas, o gasto de energia elétrica corresponde a 1029,6 MWh de energia elétrica.

A energia elétrica pode ser obtida através de combustíveis fósseis ou através de energias renováveis. Apesar da utilização desta segunda fonte de energia ser cada vez mais recorrente, a primeira continua a ser a mais requisitada.

Atualmente, grande parte das empresas dispõe de serviços de cogeração que permitem a produção de energia elétrica com melhor eficiência através da queima de um combustível. Esta melhor eficiência resulta do aproveitamento que é feito de energia térmica proveniente da combustão e que não é transformada em eletricidade.

A Monteiro Ribas, como grande parte das indústrias, dispõe de um departamento de cogeração com o intuito e produzir a própria energia elétrica para consumo interno. Apesar desta energia elétrica não ser diretamente utilizada na Monteiro Footwear, o calor produzido na geração dessa energia é utilizado no processo produtivo sob a forma de vapor, que é essencial na etapa de vulcanização da borracha, tanto como utilidade

industrial (vapor), como para o circuito de refrigeração fechado que é utilizado nessa mesma etapa, permitindo assim uma poupança de combustível adicional.

Outra atividade que envolve um elevado consumo de energia elétrica é o transporte interno de mercadorias. Para auxílio de transporte de placas ao longo das várias secções de produção, recorre-se à utilização de empilhadores. Na unidade são utilizados sete empilhadores, sendo que seis são elétricos e apenas um funciona a gásóleo.

De acordo com as informações recolhidas, o tempo de funcionamento de cada um dos empilhadores elétricos corresponde a uma média de 4 horas diárias para um tempo de carregamento de 15h (de um dia de trabalho para o outro). O consumo da energia elétrica necessária para o carregamento dos empilhadores encontra-se incluído no valor total referido na tabela.

5.4.2. Consumo de Materiais

A quantidade de matérias-primas virgens usadas para a produção das placas de borracha sem incorporação de pó é superior à quantidade utilizada nas placas com incorporação de pó – 40% da sua constituição corresponde a pó reciclado (Tabelas 5.3 e 5.4). Esta percentagem diz respeito a uma poupança em matérias-primas de 469 kg por cada 1000 kg de placas produzidas, sendo que este valor corresponde à quantidade de pó como matéria-prima presente na formulação (Anexo B).

À primeira vista pode parecer algo insignificante, no entanto, se formos a ver em termos anuais, sendo que 487 toneladas corresponderam a placas com incorporação de pó reciclado, deu-se uma poupança de 228 toneladas de matéria-prima virgem (Anexo B).

Também é relevante o facto de o Elastómero C ter em seu lugar o regenerado de pneu na placa SBR com incorporação de pó de borracha reciclado, sendo que esta MP mostra uma vantagem ambiental pelo simples facto de ser proveniente do reaproveitamento que é feito de pneus gastos.

A poupança de MP corresponde a uma diminuição da necessidade da sua produção e, consequentemente, à diminuição nas emissões e impactos ambientais que envolvem essa atividade. Para além da sua obtenção, outro fator a ter em consideração é o consumo energético e as emissões de GEE associadas à queima de combustível utilizado no

transporte dessas matérias-primas que também se reflete numa redução de valores associados.

No ano 2019, o total de MP consumidas correspondeu a um valor total de 906990 kg (para as duas produções de placas de borracha). Desta quantidade total de matérias-primas consumidas, 25% correspondeu ao consumo de material reciclado (Anexo B).

5.4.3. Consumo de Água

O consumo de água também representa fator importante quando se pretende realizar a avaliação de sustentabilidade de determinado produto e, por isso, pretende-se avaliar todo o consumo de água relacionado com a produção das placas de borracha SBR. Apesar da água não ser um recurso necessário à formulação, alguns dos equipamentos utilizados na produção recorrem a esta utilidade industrial, tanto na forma de vapor, como na sua forma líquida. Na Tabela 5.10 encontra-se o consumo de água na Monteiro Footwear.

Tabela 5.10 - Consumo de água na Monteiro Footwear.

Consumo de água	Quantidade	Unidades
Vapor	1873	ton
Torre de Arrefecimento	758,0	m ³
Limpeza de Equipamentos	0,4700	m ³

O vapor é, como já referido, proveniente do sistema de cogeração e utilizado no aquecimento das prensas onde ocorre a vulcanização da borracha. A torre de arrefecimento, que envolve as etapas de mistura e extrusão, apresenta também um consumo de água, pois apesar de este ser fechado, existem alguma fugas que necessitam de ser compensadas com a adição de água. Por fim, esta é também utilizada nas ações de limpeza de equipamentos.

5.4.4. Emissões Atmosféricas

➤ Emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE)

O processo de obtenção dos monómeros de butadieno e estireno para a obtenção da borracha SBR – principal matéria-prima utilizada para a produção das placas de borracha – é também responsável por uma parte das emissões que respeitam o ciclo de vida das placas, uma vez que estes derivam do petróleo. Estudos realizados pela Comissão Europeia para o setor da Indústria Química, permitem conhecer a classificação das atividades com maior emissão de poluentes, em toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente ($\text{Mt CO}_2 \text{ eq}$), onde se encontra incluída a produção dos monómeros de estireno e butadieno.

De acordo com os dados recolhidos na literatura, a produção de estireno emite cerca de 3,600 $\text{Mt CO}_2 \text{ eq}$ /ton de produto, enquanto o monómero de butadieno tem uma emissão de 0,6000 $\text{Mt CO}_2 \text{ eq}$ /ton de produto. Pode-se concluir que a produção de estireno apresenta consequências mais significativas no meio ambiente, uma vez que a emissão de Dióxido de Carbono equivalente é seis vezes superior à do butadieno ^[56].

As emissões associadas ao processo produtivo concentram-se essencialmente naquelas com origem na produção de energia elétrica e térmica utilizada ao longo das etapas de produção. O facto de a empresa ter instalado um serviço de cogeração permite uma redução considerável de emissões que estariam relacionadas com a produção de calor necessário no processo.

Em termos ambientais, o aproveitamento de calor útil recuperado durante o processo de cogeração evita que se dê um consumo adicional de combustível para produzir essa mesma energia térmica, reduzindo conseqüentemente a emissão de Gases Com Efeito de Estufa associados à produção de energia. Esta é a forma menos poluente de produzir, simultaneamente, energia elétrica e térmica, recorrendo a uma mesma fonte de energia primária fóssil – neste caso o gás natural.

Apesar na empresa dispor de dados internos para a estimativa da emissão de GEE associado ao consumo energético do processo de produção tendo em conta o balanço energético associado à cogeração, esses dados não seriam muito relevantes para o estudo comparativo em curso uma vez que o consumo energético associado ao processo produtivo é igual para as duas placas.

Outro fator importante a considerar é o transporte de matérias-primas, uma vez que o setor de transportes é dos que mais se encontra associado à emissão de elevadas quantidades de GEE. As emissões associadas ao transporte de matérias-primas até à Monteiro Footwear foram determinadas tendo por base uma folha de cálculo disponibilizada pela *Greenhouse Gas Protocol*.

A *Greenhouse Gas Protocol* estabelece ferramentas e guias de medição globais abrangentes para gerir e determinar as emissões de GEE de diversos setores que promovem o aquecimento global ^[57]. Neste caso o setor em estudo, é o dos transportes.

Assim, conhecendo o tipo de transporte, a quantidade de carga e a distância percorrida calculou-se os GEE associados a cada uma das MP que foram consideradas nas Tabelas 5.1 e 5.2.

Efetuando os cálculos das toneladas métricas de CO₂ eq, emitido pelo transporte das matérias-primas necessárias à produção da placa de borracha SBR convencional (elastómeros A e B e as MP que diferenciam esta produção da obtida com incorporação de pó reciclado) obteve-se uma emissão total de GEE de 954,1 Mt CO₂ eq, relativamente ao ano de 2019 (Tabela C.1, anexo C). Já para as placas com incorporação de pó reciclado (considerando as principais MP e as que a diferenciam da placa de borracha SBR convencional), no ano de 2019, ocorreu uma emissão total de 1115 Mt CO₂ eq (Tabela C.2, anexo C).

Numa primeira abordagem, observa-se que o transporte das MP necessárias para a produção da placa de borracha SBR com incorporação de pó têm uma emissão de GEE superior à produção convencional. No entanto, sabe-se que a quantidade produzida no ano de 2019 destes dois tipos de placas foi diferente, tendo se produzido cerca de 487177 kg de placas com formulação que incorpora de pó de borracha reciclada e 301510 kg de placas SBR convencionais.

Assim, considerando a Unidade Funcional de 1000 kg, conclui-se que por cada tonelada de placas SBR que levam incorporação de pó se dá uma emissão de 2,289 Mt CO₂ eq /ton e por cada tonelada de placas SBR convencionais se dá uma emissão de 3,164 Mt CO₂ eq /ton, mostrando que as emissões de GEE são menores no transporte das MP necessárias para as placas com incorporação de pó (Anexo C).

➤ Emissões de Compostos Orgânicos Voláteis (COV)

Relativamente ao processo de produção das placas de borracha, na etapa de pintura dá-se a emissão de Compostos Orgânicos Voláteis (COV). As principais atividades responsáveis por estas emissões envolvem o manuseio de solventes e a utilização de tintas, especialmente na fase de secagem.

Como referido anteriormente (Tabela 5.7), as emissões de COV correspondem a 0,0390 kg por hora de manuseio de solventes, ou seja, por hora de funcionamento da etapa de acabamento/pintura.

Tendo em conta a Unidade Funcional de 1000 kg de placas, sabe-se que 600 kg correspondem a placas pintadas (60%). Considerando que cada placa pesa, em média, por volta de 5 kg (valor dependente da espessura e da área) e que, por cada hora de funcionamento de pintura se conseguem pintar 120 placas, conclui-se que os 600 kg de placas conseguem ser pintados em apenas uma hora, o que corresponde à emissão de COV estimada em 0,0390 kg. Esta emissão é igual tanto para as placas com incorporação, como sem, uma vez que ambas podem recorrer a este processo.

No ano de 2019, a etapa de pintura teve um funcionamento em média de 4h por dia. Assim, por cada dia de trabalho deu-se a emissão de 0,1560 kg de Compostos Orgânicos Voláteis. Em termos anuais, considerando 252 dias úteis de trabalho, deu-se a emissão de 39,31 kg de COV.

5.4.5. Produção e Gestão de Resíduos

Como concluído anteriormente, para qualquer quantidade de produção de placas, 15% do peso inicial das matérias-primas utilizadas deixam o processo sob a forma de resíduos sólidos. Tendo em conta a Unidade Funcional definida, por cada 1000 kg de placas produzidas, são gerados 150 kg de resíduos sólidos. Assim, na produção de 789 toneladas de placas SBR, deu-se uma geração de 136 toneladas de resíduos sólidos (Anexo D).

Sabendo que no ano de 2019 se consumiu cerca de 907 toneladas de matérias-primas, na Tabela 5.11, encontram-se discriminadas as quantidades anuais da geração de

cada um dos diferentes tipos de resíduos sólidos provenientes da produção, tendo por base as percentagens determinadas para a Unidade Funcional.

Tabela 5.11 - Tipos de resíduos sólidos com origem no processo de produção de placas.

Resíduo Sólidos	Quantidade (kg)	Percentagem na Unidade Funcional (%)
Pó da Lixa	108838,8	12
Aparas	18139,8	2
Borracha aproveitada	2721,0	0,3
Rejeições	6348,9	0,7
Resíduos sólidos totais	136048,5	15

Para além dos resíduos provenientes do processo de produção, na etapa de embalamento foram descartados/rejeitados 4266 kg de plástico, 9548 kg de madeira, 4137 de papel e 252 kg de cartão. Ao todo, durante o ano de 2019, foram produzidos 154251,5 kg de resíduos sólidos, o que é um valor bastante significativo. No entanto, uma grande parte destes resíduos acabaram por ser reincorporados no processo ou reciclados.

A gestão de resíduos sólidos na empresa é feita de quatro formas diferentes. Do total de resíduos sólidos produzidos pela unidade: 70,6% são incorporados diretamente no processo de produção, 13,5% são vendidos a um reciclador externo para sofram uma transformação (movimento transfronteiriço de resíduos), 11,8% são recolhidos por entidades competentes para que obtenham o tratamento mais indicado, nomeadamente reciclagem e 4,1% têm como destino final aterro, como mostra a Tabela 5.12 (Anexo D).

Tabela 5.12 . Gestão de resíduos sólidos na Monteiro Footwear, no ano de 2019.

Resíduos Sólidos	Percentagem (%)
Reincorporados internamente	70,6%
Vendidos a reciclador externo	13,5%
Reciclados	11,8%
Descartados	4,1%
Total	100%

Em termos de sustentabilidade, é possível afirmar que a grande parte dos resíduos sólidos produzidos na Monteiro Footwear têm um aproveitamento direto dentro da Unidade, dado que representam uma quantidade de 70,6%.

Relativamente aos efluentes líquidos gerados, as águas de lavagem de equipamentos sofrem um processo de recuperação/reciclagem e os resíduos de solventes

e tintas tem como destino final a deposição/eliminação, em ambos os casos realizados por entidades competentes. Em termos percentuais, 59% dos efluentes líquidos gerados no ano de 2019 tiveram como destino final a deposição em aterro ou eliminação e 41% foram reciclados (Anexo D).

Capítulo 6

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES FUTURAS

O presente estudo teve como principal objetivo a avaliação da sustentabilidade na produção de placas de borracha SBR, nomeadamente a incorporação de pó de borracha reciclado.

Foi realizado um estudo comparativo de sustentabilidade entre placas de borracha SBR convencional e placas de borracha SBR com incorporação, na sua composição, de 40% de pó de borracha reciclada. Para isso recorreu-se à utilização de Indicadores de Sustentabilidade Ambiental tendo por base o estudo de Ciclo de Vida do produto (ACV).

A questão da sustentabilidade mostra ser cada vez mais importante para as indústrias e organizações e, como forma de resposta a este desafio, a indústria deve ser capaz de medir e avaliar o seu progresso no sentido do desenvolvimento sustentável. Para isso, cada vez mais se tem dado atenção à medição por meio de indicadores.

São inúmeros os indicadores de desenvolvimento sustentável que se conseguem encontrar na bibliografia, no entanto existem sempre aqueles que apresentam uma melhor adaptação ao estudo que se pretende realizar. Numa dimensão ambiental e organizacional, os tipos de indicadores que são comumente abordados e que representam uma maior importância são aqueles que dizem respeito ao consumo de água, energia, consumo material, uso de recursos reciclados, consumo de energia renovável, emissões atmosféricas e a produção e gestão de resíduos, incluindo águas residuais, resíduos perigosos, resíduos sólidos e recicláveis. Foram, por isso, os indicadores utilizados neste estudo de sustentabilidade.

Como seria de esperar, pode-se afirmar que a placa de borracha SBR com 40% de incorporação de pó reciclado apresenta claras vantagens ambientais relativamente à placa de borracha convencional. Pode-se concluir que a principal diferença, tendo em conta as fronteiras definidas, reside na obtenção de matérias-primas usadas em casa caso e em todos os consumos e insumos associados, uma vez que a nível de produção, o processo é bastante semelhante.

Em termos de emissões de GEE concluiu-se também que, tendo em conta a Unidade Funcional, os valores são 1,4 vezes superiores no transporte das matérias-primas

necessárias para a produção de placas de borracha SBR convencionais, cujas emissões determinadas foram de 3,164 Mt CO₂ eq /ton, mostrando que a placas de borracha SBR com incorporação de pó também apresentam vantagens neste campo com um valor de 2,289 Mt CO₂ eq /ton. O investimento neste tipo de produção mostrou ser mais vantajoso principalmente pela poupança que é feita em termos de matéria-prima virgem (cerca de 469 kg por cada 1000 kg de placas produzidas) e, ainda, no aproveitamento de resíduos provenientes do processo de produção.

No entanto, importa salientar que estes estudos de sustentabilidade são demorados e complexos tornando-se, por isso, difícil chegar a valores concretos e conclusões assertivas.

Ao longo da realização da dissertação surgiram alguns aspetos que se relevaram interessantes para possíveis abordagens futuras. Deste modo, seria interessante a realização de estudo completo da Avaliação de Ciclo de Vida referente aos dois tipos de placas de borracha por meio de softwares especializados, de modo a obter valores mais concretos e assertivos; aprofundar o conhecimento sobre o processo de obtenção/produção das matérias-primas usadas na formulação de cada uma das placas e sobre o processo de moagem realizado pela empresa externa e consumos associados; estudo de possíveis formas de reaproveitamento do material no seu estado de fim de vida; por fim, procurar adequar este tipo de estudos à *Global Recycled Standard* ou outras certificações do âmbito da sustentabilidade que se mostrarão fundamentais num futuro próximo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Monteiro Ribas. *Áreas de negócio*. <https://www.monteioribas.com/pt/areas-de-negocios/> (acedido em 14 de março de 2021)
- [2] Monteiro Ribas – Indústrias S.A. Site oficial <https://www.monteioribas.com/pt/> (acedido em 14 de março de 2021)
- [3] The Guardian. *The age of extinction*. January 13, 2021. <https://www.theguardian.com/environment/2021/jan/13/top-scientists-warn-of-ghastly-future-of-mass-extinction-and-climate-disruption-aoe> (acedido em 2 de abril de 2021)
- [4] Pereira, JV (2009). *Sustentabilidade: diferentes perspectivas, um objetivo comum*, Vol. 14, Economia Global e Gestão, Lisboa.
- [5] Klarin, T (2018). *The Concept of Sustainable Development: From its Beginning to the Contemporary Issues*. Zagreb International Review of Economics & Business, Vol. 21, 67-94.
- [6] Youmatter. *Sustainability – What Is It? Definition, Principles and Examples*. June 18, 2021. <https://youmatter.world/en/definition/definitions-sustainability-definition-examples-principles/> (acedido em 4 de abril de 2021))
- [7] Feil, AA, Schreiber, D (2017). *Sustainability and sustainable development: unraveling overlays and scope of their meanings*. Cadernos EBAPE.BR, Rio de Janeiro.
- [8] Simão, JM (2017). *Sustentabilidade e desenvolvimento: conceitos e políticas emergentes*. Roteiro de Estudo (versão PDF do documento descarregada a 5 de abril 2021)
- [9] University of Alberta, Office of Sustainability. *What is Sustainability?*
- [10] Mikhailova, I (2004). *Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática*, Revista Economia e Desenvolvimento, n° 16 (versão PDF do documento descarregada a 12 de abril de 2021)
- [11] Ministério dos Negócios Estrangeiros (2017). *Relatório nacional sobre a implementação da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*, Portugal (versão PDF do documento descarregada a 12 de abril 2021)

- [12] Centro de Informação Regional das Nações Unidas para a Europa Ocidental (2016) *Guia sobre Desenvolvimento Sustentável* (versão PDF do documento descarregada a 15 de abril 2021)
- [13] AD&C, Agência para o Desenvolvimento e Coesão I.P. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. <https://www.adcoesao.pt/en/node/1956> (acedido em 15 de abril de 2021)
- [14] Cravo, R (2018). *A Evolução do Desenvolvimento Sustentável em Portugal nos últimos 30 anos*, Tese de Mestrado em Ecologia e Gestão Ambiental, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- [15] Espíndola, EL, Hanai, FY (2012). *Indicadores de Sustentabilidade: conceitos, tipologias e aplicação ao contexto do desenvolvimento turístico local*, Revista de Gestão Social e Ambiental.
- [16] Van Bellen, H (2004). *Indicadores de Sustentabilidade: um levantamento dos principais sistemas de avaliação*, Cadernos EBAPE.BR.
- [17] KRAMA, M (2008). *Análise dos indicadores de desenvolvimento sustentável no Brasil, usando a ferramenta painel de sustentabilidade*, Tese de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Católica do Paraná.
- [18] Ferreira, P, Guedes, G, Nunes, M, Perlin, AP (2013). *Indicadores de sustentabilidade da indústria de cortiça portuguesa*, Revista Portuguesa e Brasileira de Gestão, Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE).
- [19] Azapagic, A & Perdan, S (2000). *Indicators of Sustainable Development for Industry: A General Framework*. Process Safety and Environmental Protection, Volume 78, 243-261.
- [20] Mengistu, AT, Panizzolo, R (2021). *Indicators and Framework for Measuring Industrial Sustainability in Italian Footwear Small and Medium Enterprises*, Department of Management and Engineering, Universidade de Padova, Itália.
- [21] Martins, FF (2020). *Sistemas de Gestão Ambiental, Sustentabilidade*, Instituto Superior de Engenharia do Porto. (versão PDF do documento descarregada a 21 de julho 2021)

- [22] Sequestrar Carbono. *Mudanças Climáticas – Potencial de Aquecimento Global*, novembro 26, 2015. <https://sequestrarcarbono.com/2015/11/26/mudancas-climaticas-potencial-de-aquecimento-global/> (acedido em 20 de julho de 2021).
- [23] Brander, Matthew. 2012. *Ecometrica, Greenhouse Gases, CO₂, CO₂e, and Carbon: What Do All These Terms Mean?* (versão PDF do documento descarregada a 21 de julho 2021)
- [24] Agência Portuguesa do Ambiente, APA. *Episódios de poluição por ozono troposférico*, setembro 3, 2021. <https://rea.apambiente.pt/content/epis%C3%B3dios-de-polui%C3%A7%C3%A3o-por-ozono-troposf%C3%A9rico> (acedido em 20 de julho de 2020)
- [25] Satheesh, A & Mehendale, H, 2005, *Encyclopedia of Toxicology: Volatile Organic Compounds (VOC)*. 450-455.
- [26] Agência Portuguesa do Ambiente, APA (2007). *Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável – SIDS PORTUGAL*. (versão PDF do documento descarregada a 21 de julho 2021)
- [27] Agência Portuguesa do Ambiente, APA. *Movimento Transfronteiriço de Resíduos*, 2021. <https://apambiente.pt/residuos/movimento-transfronteirico-de-residuos> (acedido em 3 de agosto de 2021)
- [28] Noctula, Consultores em Ambiente. *Sistema de Gestão Ambiental*. <https://noctula.pt/sistema-de-gestao-ambiental/> (acedido em 5 de maio de 2021)
- [29] INESCTEC. *Indústria do calçado* <https://www.inesctec.pt/pt/historias-de-sucesso/industria-calcado#o-inicio> (acedido em 5 de maio de 2021)
- [30] Bianchini, V, Oliveira, A, Queiroz, G, Razzino, C, Silva, M. 2013. *Sustentabilidade: uma análise estratégica para o setor calçadista*, XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, ENEGEP (versão PDF do documento descarregada a 6 de maio de 2021).
- [31] ANIET. 2020. *Relatório de Avaliação do Ciclo de Vida. Projeto de Qualificação, Ecoeficiência e Competitividade* (versão PDF do documento descarregada a 17 de março de 2021).

- [32] SAIC, Scientific Applications International Corporation. 2006. *Life cycle assessment: principles and practice*. Reston, Virginia (versão PDF do documento descarregada a 17 de março 2021).
- [33] Campos, M (2012). *Abordagem de ciclo de vida na avaliação de impactos ambientais no processamento*, Tese de Mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade federal do Rio de Janeiro.
- [34] Coltro, L, Garcia, E, Gatti, J, Jaime, S, Mourad, A, Queiroz, G (2007). *Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão*, Leda Coltro.
- [35] ISO 14040. (2008). *Gestão ambiental, Avaliação do ciclo de vida, Princípios e enquadramento*.
- [36] Sousa, S (2008). *Normalização de critérios ambientais aplicados à avaliação do ciclo de vida*, Tese de Mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina
- [37] Ferreira, J (2004). *Gestão ambiental: Análise de ciclo de vida dos produtos*, Instituto Politécnico de Viseu.
- [38] Assis, B (2009). *Avaliação do ciclo de vida do produto como ferramenta para o desenvolvimento sustentável*, Tese de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Juiz de Fora.
- [39] Bueno, C, Rossignolo, JA (2016). *A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) de Sistemas Construtivos. Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras: Materiais e Sustentabilidade*, 339-412.
- [40] European Environment Agency, (1997). *Life-cycle assessment (LCA) – a guide to approaches, experiences and information sources*, Environmental Issues Series, United Kingdom
- [41] ISO 14044 (2010). *Gestão ambiental, Avaliação do ciclo de vida, Requisitos e linhas de orientação*.
- [42] Lee, KM, Inaba, A (2004). *Life Cycle Assessment Best Practices of ISO 14040 Series*. Committee on Trade and Investment

- [43] Revista Espacios (2011). *Aplicação e Utilização da Análise de Ciclo de Vida na Indústria* <http://www.revistaespacios.com/a11v32n04/113204132.html> (acedido em 21 de março de 2021)
- [44] Apple Rubber. *What is a rubber compound?* February 28, 2013. <https://www.applerubber.com/hot-topics-for-engineers/what-is-a-rubber-compound/> (acedido em 22 de março 2021)
- [45] Gomes, M. *Borracha de Butadieno Estireno (SBR)*. Rubberpedia <http://www.rubberpedia.com/borrachas/borracha-butadieno-estireno.php> (acedido em 22 de março de 2021)
- [46] Garbim, VJ. *Borracha Estireno Butadieno, características, compostos, aplicações*. Elastotec http://www.elastotec.com.br/publicacoes_tecnicas/ELASTOTEC_ESTIRENO_BUTADIENO.pdf (Acedido em 23 de março de 2021)
- [47] Catarino, F (2012). *Caracterização da exposição e eventuais efeitos para a saúde da exposição profissional ao estireno nos ortoprotésicos*, Tese de Mestrado em Segurança e Higiene do Trabalho, Instituto Politécnico de Lisboa.
- [48] Pavoni, P (2011). *Proposição de um modelo de interferência para a coluna de etilbenzeno baseado na técnica just in time*, Tese de Mestrado em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- [49] The Editors of Encyclopedia Britannica. *Styrene-butadiene rubber chemical compound*. <https://www.britannica.com/science/styrene-butadiene-rubber> (acedido em 23 de março de 2021)
- [50] ISO 1382. (2020). Rubber – Vocabulary.
- [51] CTB, Ciência e Tecnologia da Borracha. *Cargas e a sua classificação*. <https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/materias-primas/cargas/cargas-e-propriedades/cargas-e-sua-classificacao/> (acedido em 24 de março de 2021)
- [52] Gomes, M. *Cargas Brancas*. Rubberpedia <http://www.rubberpedia.com/cargas-brancas.php> (acedido em 22 de maio de 2021)

[53] CTB, Ciência e Tecnologia da Borracha. *Matérias-Primas*. <https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/materias-primas/> (acedido em 22 de maio de 2021)

[54] Textile Exchange, Creating Material Change. *Recycled Claim Standard (RCS) + Global Recycled Standard (GRS)*. <https://textileexchange.org/standards/recycled-claim-standard-global-recycled-standard/> (acedido em 15 de junho de 2021)

[55] SEARATES, DP World <https://www.searates.com/es/services/distances-time/> (acedido em 24 de julho de 2021)

[56] European Commission (2009). *Methodology for the free allocation of emission allowances in the EU ETS post 2012: Sector report for the lime industry*.

[57] Greenhouse Gas Protocol (2015). *Worksheet: GHG Emissions from Transport or Mobile Sources*. <https://ghgprotocol.org/calculation-tools> (acedido em 1 de outubro de 2021)

ANEXOS

Anexo A: Dados sobre o transporte de Matérias-Primas

Tabela A.0.1 - Matérias-primas que compõe as placas normais de SBR e respetivo país de origem.

Produto	País Origem	Trajeto (km)	
		Rodoviário	Marítimo
Elastómero A (SBR)	Rússia		3889
Elastómero B (SB80)	Polónia	3027	
Elastómero C	França	1303	
Carga 1	China		17546
Resina 1	França	1303	
Auxiliar 1	Coreia do Sul		18192
Agente Vulcanizante	Polónia	3027	
Auxiliar 2	Alemanha	4640	
Acelerador 1	Espanha	581	
Acelerador 2	Itália	2265	
Carga 2	México		8656
Auxiliar 3	China		17546
TOTAL		81 975	

Tabela A.0.2 - Matérias-primas que compõe as placas com incorporação de pó e respetivo país de origem.

Produto	País Origem	Trajeto (km)	
		Rodoviário	Marítimo
Elastómero A (SBR)	Rússia		3889
Elastómero C (SB80)	Polónia	3027	
Carga 3	Portugal	155	
Agente Vulcanizante	Polónia	3027	
Auxiliar 2	Alemanha	4640	
Acelerador 1	Espanha	581	
Acelerador 2	Itália	2265	
Carga 2	México		8656
Regenerado de pneu	Holanda		1881
Resina 1	França	1303	
Pó moído Externo	Espanha	581	
TOTAL		30 005	

Anexo B: Consumo de materiais

Unidade Funcional = 1000 kg de placas acabadas.

Sabendo que se perde cerca de 15% da quantidade de matérias-primas adicionadas inicialmente, a quantidade total adicionada ao misturador é de:

$$1000 \times 1,15 = 1150 \text{ kg de MP totais}$$

Assim, quantidade total de matérias-primas necessárias para a produção de 1 ton de placas é 1150 kg.

- m (MP) = 1150 kg
- m (pó reciclado como MP) = 469 kg

➤ **Poupança de matérias-primas feita no ano de 2019**

Tabela B.1 - Dados recolhidos relativamente à produção de placas no ano de 2019.

2019	Quantidade (kg)	(%) de produção
Placa normal	301510	38,2
Placa com incorporação de pó reciclado	487177	61,8
TOTAL	788687	100

A quantidade de MP necessárias para a produção de 487177 kg de placas com incorporação de pó reciclado foi de:

$$487177 \times 1,15 = 560253,55 \text{ kg de MP}$$

Desta quantidade de matéria-prima total terminada, sabe-se que:

$$560253,55 \times \frac{469}{1150} = 228486 \text{ kg de pó reciclado}$$

Em 560253 kg de matéria-prima gasta para produzir as placas de borracha SBR com pó reciclado no ano de 2019, 228486 kg correspondiam a pó reciclado. Assim, esta quantidade de pó traduz-se na quantidade de matéria-prima virgem que se conseguiu poupar ao fim desse mesmo ano e ao consumo de material reciclado feito pela Unidade.

A percentagem de material reciclado consumido pela empresa no ano de 2019 para a produção de um todo de 788687 kg de placas é de:

$$788687 \times 1,15 = 906990,05 \text{ kg de MP no total}$$

$$\frac{228486}{906990,05} \times 100 = 25\% \text{ material reciclado}$$

Anexo C: Emissões de GEE associados ao transporte de matérias-primas.

As seguintes tabelas foram obtidas a partir do documento Excel preparado pela *Greenhouse Gas Protocol*

Tabela C.1 - Tabela relativa aos GEE associados ao transporte de MP necessárias para a produção de placa SBR convencional no ano de 2019*.

Source Description	Mode of Transport	Type of Activity Data	Activity Data				GHG Emissions			
			Vehicle Type (For air transport, see footnote)	Distance Travelled	Total Weight of Freight	Units of Measurement	Fossil Fuel CO2 (metric tonnes)	CH4 (kilograms)	N2O (kilograms)	Total GHG Emissions, (metric tonnes CO2e)
SBR	Water	Weight Distance (e.g. Freight Transport)	Watercraft - Shipping - Small Tanker (844 tonnes deadweight)	50557	286	Tonne Kilometer	475,4	40,61	13,87	480,2
SB80	Road	Weight Distance (e.g. Freight Transport)	Road Vehicle - HGV - Type Unknown	18162	120	Tonne Kilometer	443,4	5,225	4,031	444,6
Carga 1	Water	Weight Distance (e.g. Freight Transport)	Watercraft - Shipping - Small Tanker (844 tonnes deadweight)	17546	45	Tonne Kilometer	25,96	2,217	0,7570	26,22
Elastómero C	Road	Weight Distance (e.g. Freight Transport)	Road Vehicle - HGV - Type Unknown	2606	2	Tonne Kilometer	1,060	0,0120	0,0100	1,063
Auxiliar 1	Water	Weight Distance (e.g. Freight Transport)	Watercraft - Shipping - Small Tanker (844 tonnes deadweight)	18192	2	Tonne Kilometer	1,196	0,1020	0,0350	1,208
Auxiliar 3	Water	Weight Distance (e.g. Freight Transport)	Watercraft - Shipping - Small Tanker (844 tonnes deadweight)	17546	1,5	Tonne Kilometer	0,8650	0,0740	0,0250	0,8740
TOTAL										954,1

Tabela C.2 - Tabela relativa aos GEE associados ao transporte de MP necessárias para a produção de placa SBR com incorporação de pó reciclado no ano de 2019.

Source Description	Mode of Transport	Type of Activity Data	Activity Data				GHG Emissions			
			Vehicle Type (For air transport, see footnote)	Distance Travelled	Total Weight of Freight	Units of Measurement	Fossil Fuel CO2 (metric tonnes)	CH4 (kilograms)	N2O (kilograms)	Total GHG Emissions, (metric tonnes CO2e)
SBR	Water	Weight Distance (e.g. Freight Transport)	Watercraft - Shipping - Small Tanker (844 tonnes deadweight)	50557	286	Tonne Kilometer	475,4	40,61	13,87	480,2
SB80	Road	Weight Distance (e.g. Freight Transport)	Road Vehicle - HGV - Type Unknown	18162	120	Tonne Kilometer	443,4	5,225	4,031	444,6
Carga 3	Road	Weight Distance (e.g. Freight Transport)	Road Vehicle - HGV - Type Unknown	1550	150	Tonne Kilometer	47,30	0,5570	0,4300	47,43
Regenerado de pneu	Water	Weight Distance (e.g. Freight Transport)	Watercraft - Shipping - Small Tanker (844 tonnes deadweight)	1881	30	Tonne Kilometer	1,855	0,1580	0,0540	1,874
Pó moído externo	Road	Weight Distance (e.g. Freight Transport)	Road Vehicle - HGV - Type Unknown	5229	132	Tonne Kilometer	140,4	1,655	1,276	140,8
TOTAL										1115

➤ **Cálculo das Emissões de GEE por Unidade Funcional**

Sabendo que no ano de 2019 foram produzidos 301510 kg de placas SBR convencionais e 487177 kg de placas SBR com incorporação de pó reciclado, temos que:

- Placa SBR convencional

$$\frac{954,1}{301510} \times 1000 = 3,164 \text{ Mt } CO_2 \text{ eq}$$

- Placa SBR com incorporação de pó reciclado

$$\frac{1115}{487177} \times 1000 = 2,289 \text{ Mt } CO_2 \text{ eq}$$

Anexo D: Produção e geração de resíduos

➤ Quantidade de resíduos recicláveis por Unidade Funcional.

Dados:

- m (total de placas produzidas em 2019) = 788687 kg
- m (total de resíduos recicláveis) = 18203 kg

$$\frac{18203}{788687} \times 1000 = 23,08 \text{ kg de resíduos recicláveis/ton}$$

➤ Quantidade de matérias-primas totais utilizadas para a produção de 2019:

$$788687 \times 1,15 = 906990,05 \text{ kg de MP}$$

➤ Quantidade de resíduos sólidos gerados pelo processo de produção total de placas no ano de 2019:

Sabendo que 15% das matérias-primas necessárias à produção das placas, abandona o processo sob a forma de resíduos sólidos, temos:

$$906990,05 \times 0,15 = 136048,51 \text{ kg de resíduos sólidos}$$

➤ Quantidade de resíduos sólidos totais:

$$136048,51 + 4266 + 9548 + 4137 + 252 = 154251,51 \text{ kg resíd. sólidos totais}$$

