

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMA PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

CARLOS AUGUSTO BORGES DA SILVA

**PRODUÇÃO DE VEDAÇÕES ELASTOMÉRICAS VEICULARES: AVALIAÇÃO DO
NÍVEL DE IMPLEMENTAÇÃO COM ABORDAGEM NA ECONOMIA CIRCULAR**

São Paulo
2021

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMA PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

CARLOS AUGUSTO BORGES DA SILVA

**PRODUÇÃO DE VEDAÇÕES ELASTOMÉRICAS VEICULARES: AVALIAÇÃO DO
NÍVEL DE IMPLEMENTAÇÃO COM ABORDAGEM NA ECONOMIA CIRCULAR**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Aparecido dos Reis Coutinho

São Paulo
2021

Silva, Carlos Augusto Borges da.

Produção de vedações elastoméricas veiculares: avaliação do nível de implementação com abordagem na economia circular. / Carlos Augusto Borges da Silva. 2021.

91 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2021.

Orientador (a): Prof. Dr. Aparecido dos Reis Coutinho.

1. Vedações automotivas. 2. Borracha. 3. Sustentabilidade. 4. Economia circular. 5. 9R's.

I. Coutinho, Aparecido dos Reis. II. Título

CDU 658.5

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

DE

Carlos Augusto Borges da Silva

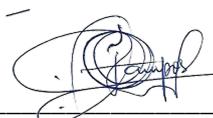
Título da Dissertação: “Produção de Vedações Elastoméricas Veiculares: Avaliação do Nível de Implementação com Abordagem na Economia Circular”.

A Comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, considera o candidato Carlos Augusto Borges da Silva APROVADO.

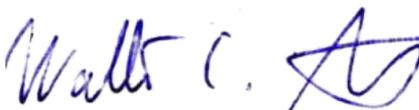
São Paulo, 24 de junho de 2021.



Prof. Dr. Aparecido dos Reis Coutinho
(UNINOVE / PPGE) – Orientador



Prof. Dr. Fernando Celso de Campos
(UNIMEP/PPGE) - Membro Externo



Prof. Dr. Walter Cardoso Sátyro
(UNINOVE / PPGE) - Membro Interno

AGRADECIMENTOS

- Meus agradecimentos primeiramente a Deus que nos deu força diária para conclusão deste trabalho;
- A bolsa CAPES – PROSUP por ter acreditado e incentivado este projeto;
- Destaque especial ao meu orientador Professor Doutor Sr. Aparecido dos Reis Coutinho pela paciência e ensinamentos;
- A Universidade Nove de Julho – UNINOVE pela bolsa de estudos do Mestrado em Engenharia de Produção;
- Ao time do PPGEP da UNINOVE do Campus Vergueiro por todo o suporte durante o curso;
- Aos Professores Doutores Srs. Walter Cardoso Sátyro e Luiz Fernando Rodrigues Pinto pelos ensinamentos durante o processo de Qualificação da Tese;
- Aos profissionais das empresas pesquisadas aqui em anonimato pelo tempo dispendido durante as entrevistas;
- Finalmente, a minha filha Isabella Rincha Borges da Silva e minha esposa Katia Rincha Borges da Silva pela paciência e horas de distanciamento destinadas a confecção e finalização deste trabalho.

RESUMO

A maior parte da borracha produzida industrialmente é usada na fabricação de pneus, que está em torno de 70% da produção mundial. Outra grande parte da produção é empregada na fabricação de peças automotivas, produtos para os setores médico, de embalagens, construção civil e outros. Na indústria automotiva, destaca-se a fabricação de peças empregadas no sistema de condução, componentes para vedação na carroceira, controle e vedação de fluídos de freios, refrigeração, lubrificação, bem como na absorção proveniente dos impactos e força motora. Neste contexto, o objetivo geral do presente trabalho é de avaliar a produção de vedações elastoméricas, produzidas a partir de borracha sintética e empregadas no setor automotivo, tendo-se como base os conceitos da economia circular (EC), assim como dos conceitos de 9R's da sustentabilidade. O método utilizado foi uma revisão bibliométrica da literatura científica e pesquisa de campo na forma de um estudo de caso, feito em três empresas produtoras de artefatos e vedações de borracha, em que foi avaliado o nível de implementação dos conceitos de economia circular. Como resultados, verificou-se ainda um campo a ser explorado relacionado aos 9R's de sustentabilidade. Também, foi avaliado e observado que a reciclagem de produtos de borracha, além dos artefatos pneumáticos, ainda possui um campo muito grande para o desenvolvimento e implementação de ações voltadas à EC e 9R's,

Palavras-chave: Vedações automotivas. Borracha. Sustentabilidade. Economia circular. 9R's.

ABSTRACT

Most of the industrially produced rubber is used in the manufacture of tires, which is around 70% of world production. Another large part of the production is used in the manufacture of automotive parts, products for medical devices, packaging, construction and other sectors. In the automotive industry, the manufacturing of parts used is in the driving system, components for sealing in the car body, control and sealing of brake fluids, refrigeration, lubrication and in the absorption from impacts and driving force. In this context, the general objective of this present work is to evaluate the production of elastomeric seals, produced from synthetic rubber and used in the automotive sector, based on the concepts of circular economy (CE) as well as through the 9R's concepts of sustainability. The method used was a bibliometric review of the scientific literature and field research in the form of a case study, carried out in three companies that produce rubber parts and seals, in which the level of implementation of the concepts of circular economy was evaluated. As results, there is a field to be explored related to the 9R's of sustainability. It was also evaluated and observed that the recycling of rubber products, in addition to pneumatic devices, still has a very large field for the development and implementation of actions aimed at CE and 9R's,

Keywords: Automotive seals. Rubber. Sustainability. Circular economy. 9R's.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama simplificado da estrutura do presente trabalho.....	15
Figura 2 - Evolução da produção de artefatos de borracha.....	21
Figura 3 - Evolução da produção de pneus.....	21
Figura 4 - Diagrama simplificado do conceito de Economia Linear.....	23
Figura 5 - Diagrama simplificado da diferença entre os conceitos de EL e EC.....	24
Figura 6 - Diagrama simplificado do conceito de Economia Circular.....	25
Figura 7 - Diagrama simplificado do processo de produção da borracha sintética.....	28
Figura 8 - Exemplo de uso de aditivos misturados a borracha reciclada.....	33
Figura 9 - Práticas 9R para a cadeia de produtos.....	37
Figura 10 - Exemplo de sub produto da borracha reciclada – produção de calçados.....	42
Figura 11 - Exemplo de sub produto da borracha reciclada – pavimentação de rodovias.....	42
Figura 12 - Exemplo de sub produto da borracha reciclada - tijolo e um protótipo de residência construída.....	43
Figura 13 - Exemplos de sub produtos da borracha reciclada: pisos de academia e parques infantis, vasos de plantas.....	43

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Tempo de decomposição de alguns materiais na natureza.....	11
TABELA 2 - Caracterização dos documentos publicados.....	48
TABELA 3 - Quantidade de citações por País de estudo.....	49
TABELA 4 - Quantidade de artigos publicados por ano referente a EC e borracha.....	49
TABELA 5 - Compilação dos Resultados das Entrevistas.....	52
TABELA 6 - Composição dos custos de produção das vedações elastoméricas.....	53
TABELA 7 - Quantidade de peças produzidas no ano de 2019.....	54
TABELA 8 - Proporção matérias primas empregadas na produção de anéis <i>orings</i>	55
TABELA 9 - Total de borracha descartada para <i>orings</i> pela empresa VEA.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS

ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV - Avaliação do Ciclo de Vida
ADB - Artefatos de Borracha Ltda.
ANIP - Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
APQP - *Advanced Product Quality Planning*
BPM - Borrachas para o Mundo S.A.
CEMPRE - Compromisso Empresarial para a Reciclagem
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
C2C - *Cradle-to-Cradle*
EC - Economia Circular
EHS - *Environment, Health and Safety*
EL - Economia Linear
GCV - Gestão do Ciclo de Vida
GEE - Gases de Efeito Estufa
IATF - *International Automotive Task Force*
IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICV - Inventário do Ciclo de Vida
IEDC - *International Economic Development Council*
ISO - *International Organization for Standardization*
JCR - *Journal Citation Reports*
LR - Logística Reversa
MEC - Ministério da Educação e Cultura
MMA - Ministério do Meio Ambiente
NYSE - *New York Stock Exchange*
PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos
RECICLANIP – Reciclagem da Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
TBL – *Triple Bottom Line*
TOC - *Theory of Constraints*
VA/VE – *Value Analysis and Value Engineering*
VEA - Vedações Elastoméricas Automotivas S.A.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA.....	13
1.2	OBJETIVO GERAL.....	13
1.2.1	Objetivos específicos:.....	13
1.3	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TRABALHO.....	14
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	A HISTÓRIA DA BORRACHA.....	16
2.2	PROCESSO E DADOS DE PRODUÇÃO DA BORRACHA.....	19
2.3	USO DA BORRACHA NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA.....	20
2.4	ECONOMIA CIRCULAR.....	22
2.4.1	Economia Circular no setor da Borracha.....	31
2.5	TRIPÉ DA SUSTENTABILIDADE (TBL).....	34
2.6	PRÁTICAS 9R NA INDÚSTRIA.....	37
2.7	DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS DA BORRACHA.....	40
2.7.1	Reciclagem de Artefatos inservíveis de borracha.....	41
3	METODOLOGIA.....	44
3.1	ESCOLHA DO MÉTODO A SER UTILIZADO.....	44
3.2	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	46
3.3	ESTRUTURA DO ESTUDO.....	46
4	RESULTADOS.....	47
4.1	BIBLIOMETRIA.....	44
4.2	ESTUDO DE CASO.....	50
4.2.1	Entrevista Semiestruturada.....	51
4.3	RESULTADOS DA PRODUÇÃO DAS VEDAÇÕES	53
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	57
5.1	CONCLUSÕES.....	57
5.2	LIMITAÇÕES E PESQUISAS FUTURAS.....	58
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
	APÊNDICES.....	67
	ANEXOS.....	79

1. INTRODUÇÃO

Mundialmente a maior parte da borracha produzida industrialmente é usada na fabricação de pneus, correspondendo a 70% da produção (HO *et al*, 2016), sendo que essa proporção se mantém, acompanhando a demanda de veículos que vem crescendo nas últimas décadas. Além disso a borracha pode ser empregada para fabricação de peças para indústria automotiva além de pneus (NIHMAT e RAMESAN, 2020) como coxins, tubos, vedações, perfis extrudados; de componentes de uso hospitalar (PHANI *et al*, 2020) como traqueias, foles, seringas e luvas descartáveis; produtos de vestuário (ROSA *et al*, 2020) como calçados e roupas; e para a construção civil (HADADI, 2020) como asfalto, pisos e revestimentos.

Um estudo feito pela Universidade de Vrije, na Holanda, no ano de 2003, destacou que naquele ano foram fabricados diariamente cerca de 2 milhões de novos pneus no mundo e que ao mesmo tempo foram transformados em sucata 800 milhões de unidades de sucata por ano (FILHO e LADCHUMANANANDASIVAM, 2003). Na mesma direção, a produção brasileira de pneus saltou de 57,6 milhões de unidades em 2005 para 74,3 milhões de unidades em 2019 segundo dados da Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP, 2020).

Com relação ao reaproveitamento dos pneus, o Brasil é um país de destaque e que se encontra em segundo lugar no *ranking* mundial de recauchutagem e de reciclagem, correspondendo a cerca de 30 mil toneladas/ano (CEMPRE, 2018). Ainda, mesmo com esse papel importante do Brasil no cenário de recauchutagem e reuso de pneus, também ocorreu um avanço de diversas normas regulatórias de descarte de pneus inservíveis pelas empresas produtoras, tendo-se em vista que este produto possui significativo tamanho e volume que não pode ser escondido ou negligenciado, ficando assim visível a necessidade de utilização de políticas públicas de reutilização (POLZER *et al*, 2016).

As políticas ambientais e regulamentação referentes aos pneus inservíveis já estão estabelecidas e em uso no Brasil, e na maioria dos países. Um dos destaques é relativo a obrigatoriedade da logística reversa (LR) para os pneus, conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) nº 416/2009, em que os fabricantes e os importadores de pneus novos são obrigados a coletar e dar destinação adequada aos pneus inservíveis existentes no território nacional. A resolução estabelece que para cada pneu novo comercializado, as empresas deverão dar destinação adequada a um pneu inservível.

Ainda, para fins desta resolução, reforma de pneu não é considerada fabricação ou destinação adequada e a contratação de empresa para coleta de pneus pelo fabricante ou

importador não os eximirá da responsabilidade pelo cumprimento das obrigações previstas (CONAMA, 2009). Porém quando se tratam de outros componentes para a indústria automotiva, fornecidos por diversos sistemistas, ou setores industriais que possuem artefatos de borracha embarcados em seus produtos, a regulamentação é diferente no que tange ao retorno a origem, sendo que para estes casos é voltada ao descarte apenas e não a reutilização.

Por outro lado, a borracha ainda é um dos materiais que não possui o tempo de decomposição no meio ambiente totalmente conhecido, fazendo com que o problema de descarte deste tipo de material seja cada vez mais preocupante. A Tabela 1 mostra, como exemplo, o tempo de decomposição de alguns materiais (BRASIL ESCOLA, 2020).

Tabela 1 - Tempo de decomposição de alguns materiais na natureza

RESÍDUOS (MATERIAIS)	TEMPO DE DECOMPOSIÇÃO
Papel	3 a 6 meses
Metal	Mais de 100 anos
Plástico	Mais de 400 anos
Vidro	Mais de 1.000 anos
Borracha	Tempo Indeterminado

Fonte: “Manual de Educação – Consumo Sustentável” - MMA, MEC, IEDC

Se de um lado existe uma legislação ambiental e estudos voltados à Economia Circular (EC) em relação aos pneus inservíveis, por outro lado, ainda existe um campo muito grande para ser percorrido com relação aos outros componentes manufaturados em borracha, que representam em torno de 30% da borracha produzida mundialmente (ALLEN, 1982). Ainda, a reciclagem da borracha ainda está muito limitada a trituração do resíduo e a utilização em forma de pó de borracha reciclada como carga adicional ao elastômero. Algumas empresas de elastômeros desenvolveram processos cuja característica básica é a recuperação de borrachas vulcanizadas em baixa temperatura ($\sim 80^{\circ}\text{C}$), em que a execução deste processamento ocorre por meio do uso de catalisador heterogêneo em fase líquida; desse modo o produto regenerado apresenta alta homogeneidade, mantendo 75% das características físicas da composição original (FERREIRA, 2016).

A reutilização e a reciclagem da borracha são maneiras efetivas de reduzir o descarte, pois contribuem para minimizar a exploração de novas matérias primas, para a redução do consumo de energia, assim como a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) na

atmosfera (WANG *et al*, 2018). Assim, para cada quilograma de borracha feita de materiais reciclados, são economizados cerca de 75% da energia necessária para produzir a mesma quantidade de borracha nova; contribui para reduzir a extração de petróleo (uma das fontes de matéria-prima), reduz o custo final da borracha em mais de 50%, tenho em vista que a energia elétrica é um dos custos com grande participação no processo de transformação, nas etapas de vulcanização e conformação dos produtos (PIETROSANTI *et al*, 2016).

Existem no mercado alguns exemplos de utilização de produtos de borracha reciclada e que são comuns no nosso dia a dia. Por exemplo, um pneu reciclado pode gerar até 30 pares de solados de borracha para a indústria calçadista. Também, são produzidos tapetes de borracha para academias, equipamentos para uso em *playgrounds* e áreas livres (LIU *et al*, 2009). Porém, é no mercado de construção civil que a borracha reciclada está ganhando cada vez mais espaço como na utilização da mistura em manta asfáltica e na homogeneização de estruturas de concreto (HADADI, 2020).

Grande parte dos 30% restantes de borracha manufaturada mundialmente, além do que é destinado ao mercado de pneumáticos, também é direcionado ao mercado automotivo. Existe uma grande participação desta matéria prima em outras aplicações no setor automotivo, que variam em função das suas propriedades físicas e químicas. Por exemplo, para aplicações no conjunto de condução e contato com combustíveis, como bicos injetores, bombas e tanques, em que são empregadas vedações de borracha com base elastomérica em fluorcarbono; enquanto que em sistema de ar condicionado veicular, é utilizada borracha de nitrílica hidrogenada, devido a presença de fluido refrigerante R-134. Outro exemplo de aplicação de vedações veiculares é no conjunto de amortecimento de impactos, como nos amortecedores, coxins de motor, mancais e retentores de óleo, em que é empregada a borracha com base no elastômero em nitrílica, devido principalmente à elevada resistência mecânica (LIBRIANI, 2014).

Existe também um grande paradigma futuro que precisará ser discutido e avaliado com mais atenção e detalhes no setor automotivo, com a chegada dos veículos movidos a eletricidade, que poderá gerar uma diminuição considerável de componentes de borracha embarcados nos veículos, como exemplo, em sistemas de arrefecimento e de lubrificação totalmente diferentes dos veículos movidos a combustão; de modo que haverá uma “migração” dos tipos e quantidade de componentes de vedação elastoméricas.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Existe uma lacuna de conhecimento relacionada a literatura científica disponível relacionada aos conceitos de sustentabilidade para os materiais manufaturados a partir da borracha para o setor automotivo, com exceção dos pneus inservíveis que é um dos produtos com maior visibilidade devido a massa e volume de descarte na natureza. Portanto, pode se destacar como sendo a questão, ou o problema da pesquisa: como pode ser avaliada a produção de vedações elastoméricas para o setor automotivo, com base nos conceitos da economia circular?

1.2. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a produção de vedações elastoméricas produzidas a partir de borracha sintética e empregadas no setor automotivo, e sua correlação com os conceitos de sustentabilidade e economia circular.

1.2.1 Objetivos específicos:

- Realizar uma pesquisa bibliográfica com relação a produção, uso e descarte de artefatos de borracha empregados no setor automotivo, com destaque para as vedações elastoméricas;
- Realizar levantamento de dados do processo industrial de produção das vedações elastoméricas, na forma de estudo de caso investigando a situação atual das empresas do setor de produção dos artefatos de borracha sintética;
- Verificar e avaliar o nível atual de implementação de Economia Circular em empresas manufaturadoras de componentes de borracha para o mercado automotivo através de entrevistas semiestruturadas;
- Avaliar a produção das vedações elastoméricas voltadas ao setor automotivo, com base nos conceitos de 9R's da sustentabilidade.

1.3. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TRABALHO

Assim, diante do contexto apresentado, é importante considerar que as empresas produtoras de borracha sintética para vedações automotivas poderão enfrentar um ponto de ruptura nos conceitos da logística reversa e da economia circular em um futuro próximo.

Ainda, existem outras questões que impulsionam e aceleram essa mudança em termos da responsabilidade social, em que o pensamento “verde” tem como foco o futuro para o meio ambiente, por meio da redução da exploração e uso de combustíveis fósseis, de mudança na matriz energética para redução de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) e de componentes particulados na atmosfera, assim como sem o descarte inconsequente de resíduos na natureza.

Portanto, a justificativa e relevância do presente trabalho estão ligadas ao emprego dos conceitos da economia circular e dos 9R's da sustentabilidade, para avaliação da produção e uso dos artefatos de borracha industrial no setor automotivo, em especial as vedações elastoméricas, que é um dos maiores setores industriais consumidores de borracha sintética.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho segue uma estrutura com cinco capítulos, incluindo a Introdução, conforme detalhado a seguir e representado de maneira simplificada pela Figura 1.

O capítulo 1 – Introdução – apresenta o contexto no qual o trabalho foi concebido, a justificativa, a questão a ser respondida e os objetivos do trabalho.

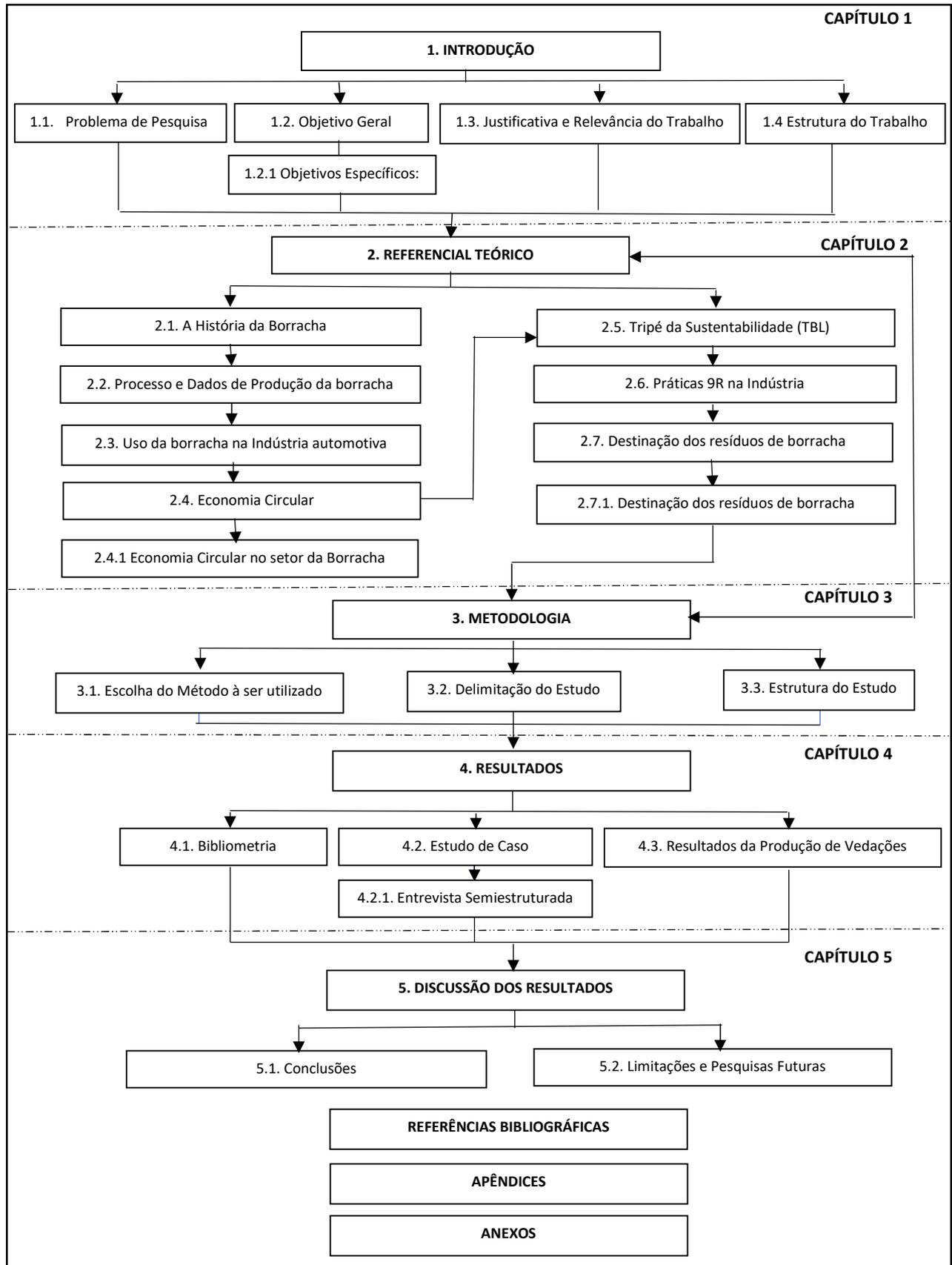
O capítulo 2 – Referencial teórico – busca um embasamento bibliográfico que permite entender os assuntos abordados pela pesquisa de maneira ampla, conhecendo os limites e características da literatura já publicada, apresentando conceitos e definições.

O capítulo 3 – Procedimento metodológico – descreve a classificação do presente trabalho quanto à sua natureza, abordagem, objetivos e procedimentos. Além disso, são apresentadas as etapas de atividades para que os objetivos do trabalho sejam atingidos.

O capítulo 4 – Resultados – apresenta os resultados obtidos por meio dos dados coletados e discussões a respeito da produção das vedações elastoméricas, o consumo de energia, descarte dos produtos inservíveis, com base nos conceitos da economia circular.

O capítulo 5 – Conclusão – é apresentado a conclusão após discussão dos resultados obtidos em relação aos objetivos e problema da pesquisa, bem como análise do método utilizado e propostas para possíveis futuros trabalhos.

Figura 1 - Diagrama simplificado da estrutura do presente trabalho



(Fonte: O autor)

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico é apresentado com base em pesquisa feita em literatura científica, sendo organizado em duas partes que compreende a manufatura e uso da borracha sintética no setor automotivo e as questões que envolvem o tema da economia circular.

Este tópico faz uma abordagem sobre a história da borracha desde o início da descoberta do látex até o advento do processo de vulcanização, assim como uma abordagem do surgimento das primeiras borrachas sintéticas no Mundo. Também, são apresentados dados de produção manufatura para a vulcanização de artefatos de peças de borracha, com um enfoque nas peças de borracha para a indústria automotiva, que é largamente empregada delimitando seus aspectos físicos, químicos e suas devidas aplicações. Além disso, é dado enfoque sobre reciclagem e destinação dos resíduos da borracha, bem como alternativas de reaproveitamento de artefatos inservíveis de borracha visando a diminuição de descarte e melhoria dos conceitos de sustentabilidade.

2.1 A HISTÓRIA DA BORRACHA

A linha de produtos elastoméricos (borracha) sempre esteve fortemente presente em quase todos os segmentos de mercado e se intensificou com o mercado automotivo desde o início da produção em massa baseada na segunda revolução industrial (HURLEY, 1981). Porém o grande avanço na utilização deste produto foi devido sua destinação ao mercado automotivo, inicialmente para a fabricação de pneus, que exigia uma quantidade enorme de borracha natural, proveniente do látex extraído da Seringueira. Ao longo do tempo, foram produzidos diversos outros componentes de borracha para o setor automotivo, como as vedações para combustíveis e fluídos em geral, batentes, peças para o sistema de amortecimento, para painéis e outras partes dos veículos (ZOFFOLI, 2017).

Os primeiros relatos de itens confeccionados a partir do látex são datados do ano de 1.500, quando índios latino americanos já possuíam bolas e garrafas de um material diferente, que quando pressionado tinha a tendência de retornar a forma original (SABU, 2018). Estes materiais despertaram atenção pois este material nunca tinha sido visto anteriormente e se destacava pela sua maleabilidade e a não absorção de água, de modo que o látex começou a ser empregado para confecção de outros tipos de peças. Por exemplo, em 1770 o inglês Joseph Priestley produziu a primeira borracha para apagar traços de lápis a partir da diluição de éter e

terebintina. O nome dado ao invento foi “*Rubber*” que vem do inglês “*rub*” que significa esfregar (HISTORY INFORMATION, 2021).

Em 1803 foi instalada a primeira fábrica de produtos de borracha em Paris, acelerando ainda mais a utilização deste tipo de material. Em 1823 o inglês Thomas Hancock criou o elástico e, posteriormente utilizou a borracha na forma de tiras para às rodas de madeira de carruagens, melhorando o conforto aos passageiros durante o trajeto.

Em 1834 o presidente dos Estados Unidos da América, Andrew Johnson ganhou de uma alfaiataria de Massachussets um terno impermeável revestido de borracha. No entanto, este terno possuía dois problemas: no frio o terno endurecia e no calor a camada impermeável se derretia. Um dos clientes da alfaiataria possuía um filho inventor, Charles Goodyear, que recebeu a incumbência de solucionar este problema. Em 1839 Charles deixou exposta ao calor do forno de sua casa uma mistura de borracha com enxofre e chumbo, percebendo assim que o material havia adquirido algumas propriedades mecânicas e físicas diferentes e que tanto procurava; de modo que acabava de inventar a vulcanização, cujo processo foi patenteado em 1844 (BRYAN, 1972).

No ano de 1845 o inglês Robert Thompson patenteou o primeiro pneu, que consistia em inflar uma câmara de ar dentro de uma tira de borracha. Em 1888 o escocês Dunlop criou e patenteou um pneu com câmara para o triciclo do seu filho Johny e, como resultado se beneficiou da ideia com o advento da utilização das bicicletas no final do século XVIII. (SMIL, 2018). Em 1894 os irmãos franceses Edouard e André Michelin entram com pedido de depósito de uma patente de pneus para automóveis. No ano de 1903 os irmãos Michelin se deslocaram para a cidade de Detroit nos Estados Unidos, com intenção de comercializar o seu produto com Henry Ford, um jovem empreendedor que havia montado uma fábrica de automóveis (MICHELIN, 2021).

Antes disso, foram montadas algumas fábricas de pneus, com destaque para a Goodyear em 1.898 que, apesar do nome, foi fundada pelo americano Frank Sciberling que deu o nome de Goodyear em homenagem a Charles, o inventor da vulcanização. Também, foram implantadas as fábricas da Pirelli na Itália, e Firestone nos Estados Unidos (SMIL, 2018).

Com relação ao Brasil, o país teve um papel fundamental no início da produção mundial de borracha, pois o clima quente e úmido era propício ao tipo de planta que origina a matéria-prima básica da obtenção da borracha. Por quase cinquenta anos, da segunda metade do século XIX até a segunda década do século XX, a borracha natural sustentou um dos mais importantes ciclos de desenvolvimento do País. Naquela época, a revolução industrial se expandia e o

mundo vivia período histórico de prosperidade e descobertas que se refletiam em vários setores; sendo que o automóvel, bonde, telefone, luz elétrica e outras inovações mudavam paisagem e costumes nas cidades (DICKENSON, 1988).

As cidades de Manaus e Belém cresceram e prosperaram impulsionadas pelo desenvolvimento do comércio extrativista das regiões. A produção amazônica atingiu 42 mil toneladas anuais e o Brasil dominou o mercado mundial de borracha natural, correspondendo a 40% de tudo o que o país exportava na época (NETO, 2016).

O declínio da produção brasileira iniciou em 1910, em função da entrada no mercado das exportações de borracha pelas colônias britânicas na Ásia. No ano de 1913 a produção Anglo-Malaia superou pela primeira vez a do Brasil. A diferença técnica de plantio e extração do látex no Brasil e na Ásia foi determinante para os resultados da exploração como negócio (NETO, 2016).

No final dos anos de 1920, o Brasil ainda tentou uma reação com a ajuda de um parceiro do setor industrial norte-americano Henry Ford, idealizador de uma nova forma de produzir que marcaria a indústria para sempre na forma da linha de montagem e responsável, na época, por 50% da produção mundial de veículos. Com a intenção de acabar com o controle do mercado de borracha pelas colônias inglesas do Sudeste Asiático, Ford plantou 70 milhões de mudas de seringueira em uma área de um milhão de hectares no Pará. O projeto foi abandonado, em função das adversidades e ao ambiente hostil da floresta amazônica (ONOKPISE, 2004).

Com o avanço tecnológico e o início do advento das borrachas denominadas “sintéticas” sem a necessidade mais da matéria-prima básica e natural, o látex, mais uma vez o mercado deu uma reviravolta. A história da borracha sintética começou, basicamente, em 1860 quando Greville William, isolou da borracha natural uma substância pura a que chamou de isopreno. Em 1879, G. Bouchardat mostrou que o isopreno poderia ser transformado em um sólido semelhante a borracha (MORTON, 1980). Em 1884, Tilden demonstrou que o isopreno poderia ser obtido pela decomposição de óleo de terebentina, e também poderia ser polimerizado. A primeira patente para polimerização do isopreno foi requerida pelos ingleses Strange e Matthews pouco antes do mesmo processo ser patenteado na Alemanha por Harries e pela Bayer Company (MORTON, 1980).

Em 1914, início da Primeira Guerra Mundial, a Alemanha viu-se obrigada a intensificar esforços neste campo, chegando a produzir quase 2,5 mil toneladas de material, entretanto, não puderam competir com a natural nem em preço, nem em qualidade, de modo que sua produção cessou com o fim da guerra. Posteriormente, na Segunda Grande Guerra, os Estados Unidos

promoveram um desenvolvimento rápido da borracha sintética. Além disso, um dos motivos foi o bloqueio do acesso à borracha natural, imposto pelo Japão, de modo que a pressão econômica e bélica forçou o desenvolvimento e produção da borracha sintética (MORAWETZ, 2000).

No ano de 1945, os EUA haviam realizado uma das maiores conquistas da química e engenharia de todos os tempos em que a produção de borracha sintética ultrapassou 800 mil t/ano e representava 85% do consumo americano. Assim, por muito tempo a borracha natural passou a não ter tanta importância sendo substituída (HORNE, 1984).

2.2 PROCESSO E DADOS DE PRODUÇÃO DA BORRACHA

No caso da borracha natural, o látex é extraído por meio de incisões na casca da seringueira, sendo que a remoção é feita em um pequeno volume de casca da árvore, permitindo o escoamento da seiva. Depois de extraído, o látex é coagulado, moído, misturado e empastado, separando as impurezas armazenado para sua posterior comercialização (BURANOV, 2010).

O ciclo de produção da seringueira é longo; são dezoito meses para a formação da muda e mais sete anos até o desenvolvimento da árvore para produzir o látex. Entre o sétimo e o décimo ano de vida a produção é pequena, crescendo gradualmente. Somente a partir do décimo primeiro ano, é que a árvore, então na fase adulta, estabiliza a produção em níveis elevados. Uma seringueira pode produzir látex por mais de trinta anos. A safra da seringueira ocorre no primeiro semestre do ano, período no qual as usinas formam estoques. As usinas de beneficiamento adquirem o látex dos seringueiros e transformam em borracha beneficiada, que será utilizado pela indústria de artefatos de borracha (BURANOV, 2010).

A borracha sintética tem como base os copolímeros Estireno e Butadieno, que são copolímeros derivados de mais de uma espécie de monômeros. O desenvolvimento de borrachas sintéticas se deu a partir da necessidade de criação de um material similar a borracha natural, que pudesse ser submetido à vulcanização, sendo que a produção é realizada em quatro etapas (YOUSSEF, 1993):

- a mistura das matérias-primas, em que os compostos de borracha geralmente são formulados a partir da mistura da matéria-prima base (borrachas natural ou sintética) e aditivos químicos, como agentes de vulcanização (geralmente enxofre), aceleradores de reação de vulcanização (catalisadores), plastificantes, cargas minerais, pigmentos e outros produtos auxiliares;

- moldagem ou conformação da massa, que é feita por meio de extrusão, injeção ou prensagem, como a preparação para a vulcanização;
- Vulcanização, consiste na aplicação de calor e pressão sobre a massa de borracha conformada, para conferir sua propriedade elástica, sendo que ocorre entre 150°C e 180°C, em que o material passa do estado plástico para o elástico, adquirindo suas características de dureza, resistência mecânica e elasticidade;
- Acabamento, cujo processo varia de acordo com cada fabricante, sendo muito valorizado no processo fabril e avaliado na forma de controle de qualidade.

Portanto, a borracha sintética (ou elastômeros) é produzida na 2ª geração petroquímica, sendo as matérias-primas o estireno e o butadieno (produzidos na 1ª geração), originários da nafta. A borracha sintética é utilizada em diversos segmentos industriais como: automotivo, eletrodomésticos, brinquedos, calçados, embalagens, vestuário, alimentício, adesivos, selantes, etc. (DUTT, 1981).

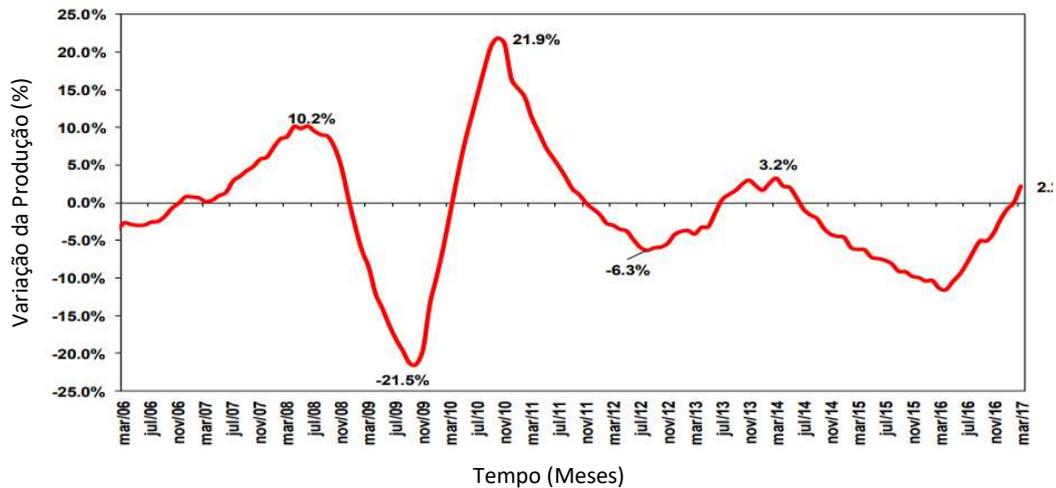
Na composição da borracha, é empregada uma carga adicional de um material com elevado teor de carbono, o negro de fumo (*carbon black*), que delimita a dureza e outras características físicas e químicas do elastômero base e atua como agente reforçante. Por exemplo, na produção de pneus o negro-de-fumo representa cerca de 25% ou 1/4 do seu peso (COTTEN, 1985).

O Brasil responde por 3% da produção mundial de 12 milhões de toneladas de borracha sintética. Além disso, o país importa em torno de 40% do consumo doméstico (BIBLIOTECA DIGITAL, 2020).

2.3 USO DA BORRACHA NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

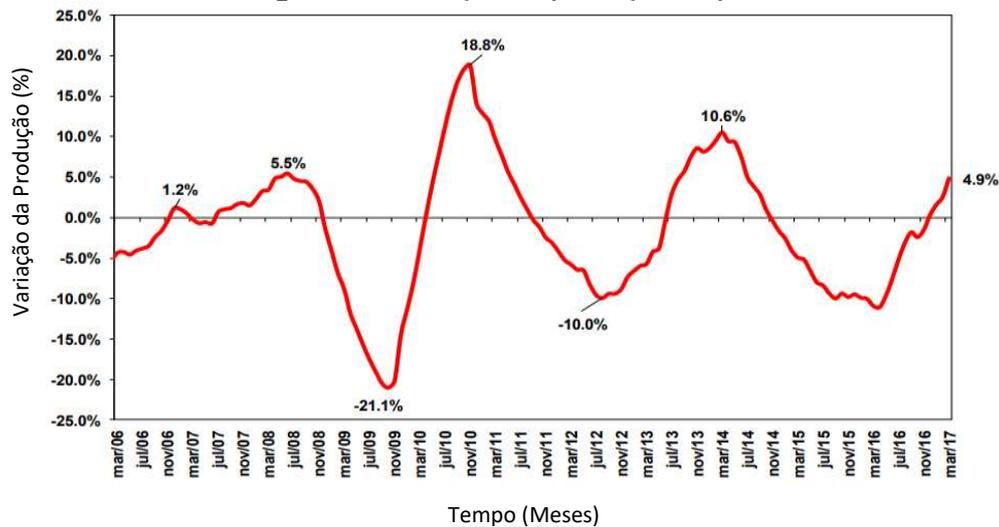
A Figura 8 mostra a evolução da produção dos artefatos de borrachas natural e sintética para diversos segmentos industriais, no período 2006-2017 (IBGE, 2020). No entanto, a maior parte da borracha natural e da borracha sintética produzidas mundialmente que são destinadas ao mercado automotivo destina-se a fabricação de pneus (Figura 2 e Figura 3), que atinge a proporção da ordem de 70% da borracha manufaturada (IBGE, 2020).

Figura 2 - Evolução da produção de artefatos de borracha.



Fonte: IBGE, 2020.

Figura 3 - Evolução da produção de pneus.



Fonte: IBGE, 2020.

As figuras indicam que praticamente as mesmas variações de volume e da produção industrial de pneus pode ser percebida na produção industrial de artefatos de borracha. Apesar dos pneus serem os produtos maiores em volumes e massa, existem diversas peças embarcadas nos veículos leves e pesados que são manufaturadas em borracha tão importantes quanto ao pneu, como (BARTELS, 1991):

- Borrachas de guarnição: são vedações que sofrem com as variações térmicas e também com o contato excessivo entre duas superfícies para realizar o isolamento;
- Coxins e buchas, assim como as juntas, são fundamentais para absorver as vibrações do motor, e também são encontrados em outras partes da suspensão;

- Mangueiras empregadas para conduzir os fluidos e os gases dos veículos. Elas são de diferentes espessuras e servem para a condução de combustível, do ar que entra no motor, da água para o limpador de para-brisas e de outros componentes.
- Coifa da junta homocinética, que inibi a entrada de impurezas e também a manutenção da lubrificação nos sistemas.
- Coifas da caixa de direção que mantém a segurança dos terminais axiais de direção de impurezas que contaminam a graxa que lubrifica o axial. O pino esférico do terminal se desgasta mais rapidamente, provocando ruído e folga na direção.
- Limpadores de para-brisa estão entre os itens obrigatórios para uma direção segura, e seu uso é fundamental quando se dirige na chuva.

2.4 ECONOMIA CIRCULAR

A Economia Circular (EC) busca viabilizar um modelo econômico reorganizado através da coordenação dos sistemas de produção e consumo em circuitos fechados e se baseia na redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais. É inspirada nos mecanismos dos ecossistemas naturais que fornecem recursos a longo prazo por meio de um processo constante de reciclagem e reabsorção. Ainda, a EC traz harmonia entre as questões técnicas e econômicas, enquadramento social e institucional (MURRAY, 2017).

Antes da EC surgir e começar a ser empregada a nível Mundial, existia apenas o conceito de Economia Linear (EL) (Figura 4), que é uma forma de organização da sociedade baseada apenas na extração crescente dos recursos naturais, em que os produtos feitos a partir desses recursos são utilizados até serem descartados como resíduos. Além disso, a maximização do valor dos produtos deve-se à maior quantidade de extração e produção. Os recursos naturais são extraídos para produzir novos materiais primários ou virgens que são usados para fabricar produtos que serão incinerados ou despejados em aterro sanitário após o uso (SORENSEN, 2018).

A Economia Linear é considerada atualmente uma forma de organização inviável, tendo em vista que os recursos existentes no planeta não são renováveis e serão insuficientes para a manutenção deste modelo econômico. As desvantagens da Economia Linear passam pela incerteza sobre a disponibilidade dos recursos do planeta para a manutenção do sistema econômico, na dependência dos países para as matérias-primas necessárias e grande impacto no ambiente desde a extração e a utilização destas matérias-primas, assim como o aumento do

consumo de energia e as emissões Gases de Efeito Estufa (GEE). No âmbito econômico, a principal desvantagem do modelo Linear é a volatilidade dos preços, impactando na flutuação dos *commodities*, que são produtos de qualidade e características uniformes e que não são diferenciados de acordo com quem os produziu ou da sua origem; sendo os seus preços determinados pela oferta e procura internacional, que impactam na redução da vida útil do produto (LEE, 2017).

Figura 4 – Diagrama simplificado do conceito de Economia Linear



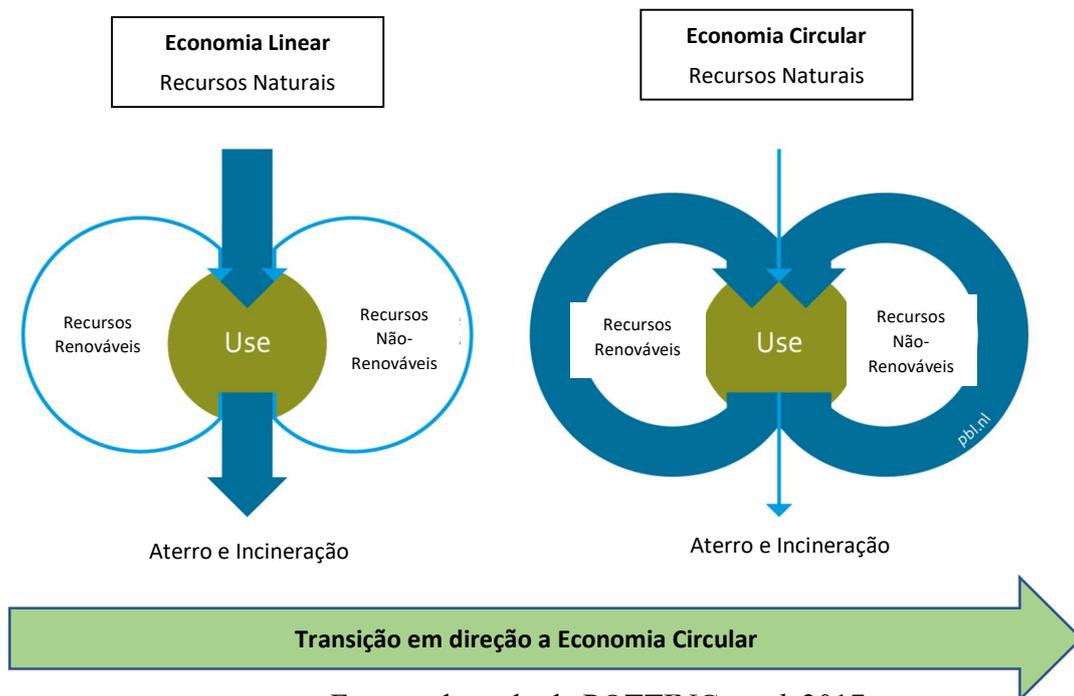
Fonte: Ellen MacArthur foundation, 2021.

A alteração da utilização da Economia Linear (EL) para a Economia Circular (EC) vem sendo apresentada por vários autores como uma evolução necessária para a preservação dos recursos naturais e da humanidade, sem que os aspectos econômicos para empresas e sociedade sejam negligenciados (BOULDING, 2003). A Figura 5 mostra um diagrama simplificado, que apresenta a diferença entre a EL e a EC.

A EC vai além da preservação ambiental e da sustentabilidade, porque em sua essência visa fechar o ciclo de vida de materiais e produtos, fazendo com que o rejeito do processo de manufatura de um produto seja o insumo para outro, até que a última etapa do processo seja sua degradação, por exemplo, a digestão microbiana, ou ainda, o seu aproveitamento na forma de energia, denominado pelos especialistas como sendo uma utilização do produto desde o “berço ao berço” originada da expressão em inglês “*cradle-to-cradle (C2C)*” (GHISELLINI *et al*, 2016).

Ainda, na economia circular, o valor dos produtos e materiais é mantido durante o maior tempo possível, a produção de resíduos e a utilização de recursos reduzem-se ao mínimo e, quando os produtos atingem o final da sua vida útil, os recursos mantêm-se na economia para serem reutilizados e voltarem a gerar valor (ROSA, 2018).

Figura 5 - Diagrama simplificado da diferença entre os conceitos de EL e EC.



Fonte: adaptado de POTTING *et al*, 2017.

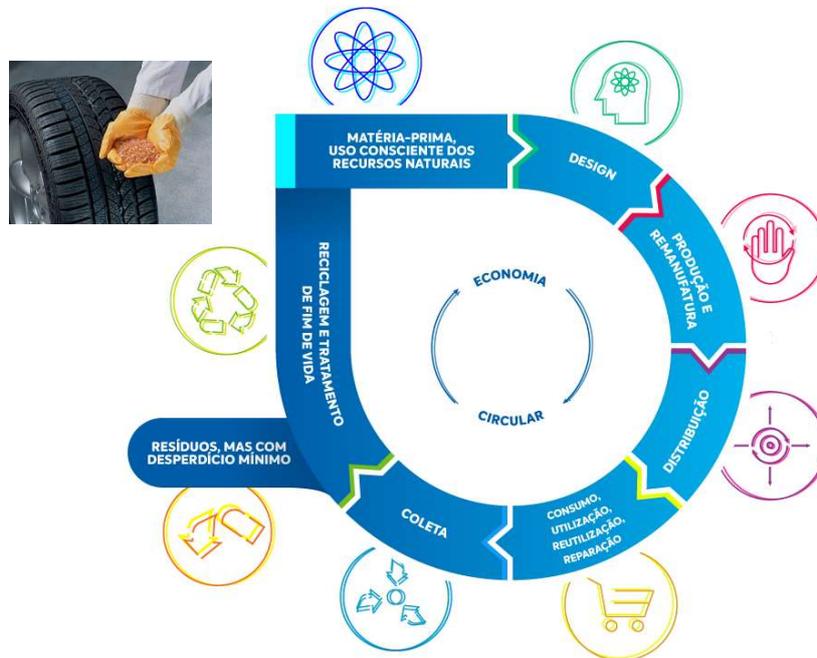
Os benefícios da EC podem ser considerados em uma grande amplitude, desde ajudar no combate às alterações climáticas, conservar o capital natural, diminuir as emissões de carbono, promover a eco inovação, reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e minimizar a produção de resíduos. Além disso, no âmbito tecnológico, visa criar novas oportunidades e modelos de negócio, produtos e serviços; aumentar a competitividade, criar novos empregos e produtos mais duradouros (ROSA, 2018).

Portanto, um novo relacionamento com os bens de consumo e os materiais, pode contribuir para economia de recursos e de energia, assim como a criação de empregos locais. O uso de recursos por um tempo mais longo possível, pode reduzir as emissões de GEE por algumas nações em até 70%, e ao mesmo tempo, diminuir significativamente a geração dos resíduos sólidos e líquidos (IDEIA CIRCULAR, 2021).

A Figura 6 mostra um diagrama simplificado voltado ao conceito da Economia Circular (EC), que compreende as etapas de extração das matérias primas, do *design* e manufatura dos produtos, seguido pela distribuição e uso. Em cada etapa estão envolvidas a identificação e coleta dos resíduos gerados, com objetivo de reuso, reciclagem e destinação correta, na forma de otimizar o uso da matéria primas e insumos, como forma de atender os conceitos de

definições de, por exemplo, o tripé da sustentabilidade (TBL – *Triple Bottom Line*) (BATISTA, 2020; BRASKEN, 2018).

Figura 6 - Diagrama simplificado do conceito de Economia Circular



Fonte: adaptado de Bluevision Braskem, 2018.

O conceito de EC está em evolução, mas suas raízes são antigas. Na virada do século XIX para o século XX algumas ideias já começaram a ser lançadas, ligadas a movimentos de preservação ambiental que já apareciam naquele período. Ao longo do tempo, a ligação da Economia Circular com a preservação do meio ambiente foi sendo ampliada (LACY & RUTQVIST, 2016).

Até 2012 a EC era vista apenas como uma vertente da sustentabilidade, relacionada a redução, reuso e reciclagem de materiais. Posteriormente, novos artigos passaram a agregar a perspectiva de sistemas para se fechar o ciclo (C2C), abrangendo desde o micro sistema na concepção dos produtos e materiais, até o macro sistema relacionado às mudanças amplas na própria estrutura da indústria, e até mesmo das cidades (KIRCHHERR *et al*, 2017).

O conceito de EC se firmou na Europa a partir de 1980, focado no conceito de hierarquia de rejeitos, buscando sempre em primeiro lugar reduzir sua geração, depois seu reuso, reciclagem, aproveitamento de sua energia e em último caso, o descarte. Porém a maior parte das ações tem sido para reciclagem, enquanto redução e reutilização têm sido relegadas ao segundo plano. Mesmo as ações de reciclagem ficam restritas aos materiais de maior valor econômico, tais como o elemento químico lítio empregado nas baterias, ou alumínio das latas /

embalagens. Por outro lado, os materiais de baixo valor econômico têm sido incinerados ou dispostos em aterros sanitários (MCDOWAL, 2017).

Existem muitas ações e projetos em curso em vários países, especialmente na União Europeia e na China, sendo os principais polos onde a EC mais se desenvolve, devido ao crescente problema com degradação do meio ambiente e extração de matérias primas. Na China a EC é uma política estabelecida pelo governo central, enquanto na União Europeia, assim como no Japão e nos EUA, a EC tem sido empregada pelas corporações e por governos, como uma ferramenta para políticas ambientais de gestão de rejeitos, complementando outras ações voltadas à sustentabilidade (SHEN, K. *et al*).

Entretanto, a Economia Circular parece ser um caminho necessário para a sociedade humana, tendo em vista que o planeta em que vivemos é um sistema fechado, sem praticamente nenhuma troca com o ambiente externo. Os recursos naturais são finitos e, sendo assim, o modelo de economia linear tende a se desgastar com o passar do tempo já que o aumento populacional é evidente e a melhoria das condições de vida das pessoas fazem com que a necessidade destes recursos aumente. A implementação da Economia Circular vai requerer mais do que novas tecnologias e produtos, mas uma cadeia de suprimento e logística muito eficiente e principalmente um novo sistema de interação econômica com um enorme valor econômico (LACY & RUTQVIST, 2016).

Outra vertente que cresce muito é a substituição de aquisição de produtos para uso de serviços, como, por exemplo, compartilhamento de automóveis, como o “*AutoLib*” na França ou o “*Sunfleet*” e o “*Move About*” na Suécia, ou o programa “*By the mile*” da Michelin de aluguel de pneus. Isso se insere na Economia Circular, aumentando o grau de utilização dos equipamentos e produtos, seu reuso mais extensivo, maior busca por eficiência do processo, reciclagem ou recuperação da energia ao final da sua vida útil (MICHELIN, 2020).

Assim, tornar a economia global um sistema 100% circular é uma utopia e um desafio, tendo em vista as limitações termodinâmicas para a completa recuperação de energia, a impossibilidade dentro do conhecimento atual de reciclar-se a totalidade dos materiais indefinidamente, questões sociais e políticas entre outras (DALY, 2009).

Além do conceito de Economia Circular, destacam-se outros conceitos e ferramentas que são utilizadas afim de enraizar e balizar ainda mais o conceito de Sustentabilidade como a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e a Logística Reversa (LR).

A Avaliação do Ciclo de Vida – ACV consiste de uma técnica utilizada para analisar sistemas de produtos, serviços ou processos, identificando os potenciais impactos ambientais associados ao longo de todo ciclo de vida, desde o berço até o túmulo (GUINÉE *et al*, 2011; ROBÈRT *et al*, 2002). Os registros indicam que a primeira aplicação dos conceitos da ACV ocorreu em 1969, voltado para análise ambiental de embalagens de bebidas (SHELDON, 2016).

A ACV é uma técnica amplamente utilizada em análises que consideram a interação entre conjuntos de empresas (DADDI *et al*, 2017), seja para avaliação da viabilidade de um sistema ou para comparação ambiental entre diferentes produtos (LOISEAU *et al*, 2013).

Em 1997 foi publicada a norma ISO 14040 (ANEXO A), estabelecendo conceitos e diretrizes para estudos de ACV (ABNT, 2006).

De acordo com as normas ISO 14040 (ANEXO A), uma ACV é composta por quatro diferentes fases. Estas são interdependentes e o resultado de uma fase pode informar como a próxima será executada, ou até mesmo, corrigir fases anteriores. A primeira fase é a definição de objetivo e escopo, que determina o contexto do estudo e explica como e para quem os resultados serão anunciados. Esse é um passo chave e as normativas ISO requerem que o objetivo e escopo sejam claramente definidos e consistentes com a aplicação e público pretendidos. Esta etapa possui detalhes técnicos que guiarão o trabalho subsequente, incluindo a unidade funcional, que define precisamente o que está sendo estudado e cria uma unidade de referência para o sistema de produto, onde as entradas e saídas podem ser relacionadas. Além disso, a unidade funcional é uma base importante que permite que produtos ou serviços alternativos possam ser comparados e analisados; fronteiras do sistema; pressupostos e limitações; procedimentos de alocação e método e categorias de impacto selecionadas (ABNT, 2006).

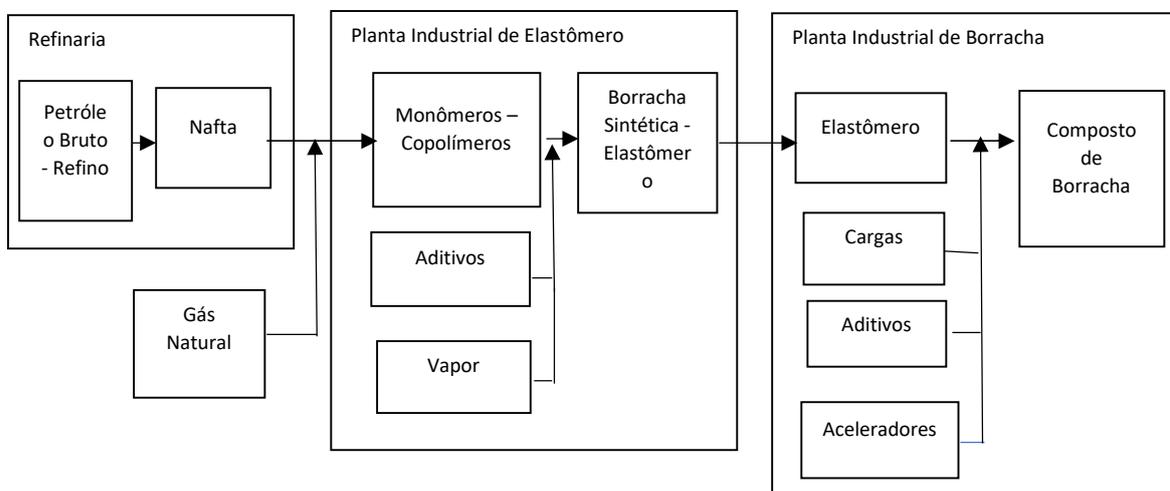
A segunda fase da ACV, conforme a ISO 14040, é a análise de inventário do ciclo de vida (ICV) que envolve a criação de um inventário de fluxos elementares de material ou energia retirado do meio ambiente para um sistema de produto. Os fluxos de inventário incluem entradas de energia, água, matéria prima, e saídas para o ar, terra ou água. Para a terceira fase, existe a avaliação de impacto, com objetivo de avaliar a significância dos impactos potenciais ao meio ambiente. As normas definem pelo menos três elementos mandatários que são a seleção das categorias de impacto; a classificação e a caracterização (ABNT, 2006).

Finalmente na quarta e última fase, corresponde a interpretação do ciclo de vida, que é uma técnica sistemática para identificar, quantificar, checar e avaliar a informação dos

resultados da análise de inventário e da avaliação de impacto. A documentação da fase de interpretação expõe um conjunto de conclusões e recomendações do estudo (ABNT, 2006).

Portanto, a ACV é uma técnica muito utilizada para a análise de processos industriais e seus impactos. Alguns exemplos de utilização de ACV em produtos em geral e voltados a redução de impactos ao meio ambiente vem sendo utilizados há algum tempo. Por exemplo, a Figura 7 mostra de forma simplificada o diagrama da produção da borracha sintética (ABIQUIM, 2007).

Figura 7 - Diagrama simplificado do processo de produção da borracha sintética.



Fonte: Abiquim, 2021.

Mais especificamente para produtos de borracha utilizando conceitos de ACV, o trabalho pioneiro é datado de 1996, em que foi realizado um inventário de Ciclo de Vida de fluxos de materiais e de energia para a produção de produtos de perfis de borracha. Neste estudo, a análise dos processos de produção foi feita em uma empresa de fabricação de borracha, e mostrou possibilidades técnicas e organizacionais para otimizar o processo de fabricação com base nos resultados de ACV. Os resultados da ACV mostraram que os impactos dos processos a montante, ou seja, analisando a geração de eletricidade e processos de produção das matérias-primas, foram muito superiores aos impactos dos processos de produção das empresas (PFITZNER, 1996).

Nesse contexto de ciclo de vida do produto, a Gestão do Ciclo de Vida (GCV) é uma prática de negócio que integra os aspectos ambientais, econômicos e sociais na tomada de

decisão, desenvolvendo produtos e sistemas de produção mais sustentáveis (SEIDEL-STERZIK *et al*, 2018).

As práticas de GCV são importantes na contribuição para a sustentabilidade nas organizações, inclusive em empresas de micro, pequeno ou médio porte (OLIVEIRA *et al*, 2018). Porém, a implementação da GCV em sistemas reais ainda está distante de alcançar a abrangência proposta pela ideia de ciclo de vida, sendo que as suas práticas são geralmente utilizadas como uma ferramenta de apoio a engenharia e design (CATTANEO *et al*, 2016).

Nem sempre as ações para otimização pontual dos impactos ambientais de um produto resultarão em significativa otimização do sistema como um todo, tornando necessária uma visão sistêmica do ciclo de vida dos produtos (BALKAU e SONNEMANN, 2010). Dessa forma, a GCV pode ser uma abordagem importante no gerenciamento da sustentabilidade e do desempenho de produtos e materiais ao longo das cadeias de manufatura e de valor.

Por outro lado, a logística reversa (LR) é um conjunto de meios que leva a coleta e a devolução dos resíduos sólidos ao setor empresarial, está ligada às etapas de remanufatura e reciclagem na economia circular. Ambos esses conceitos estão diretamente ligados à responsabilidade que todos têm pelo ciclo de vida de um produto, para que ele seja reaproveitado em seu ciclo produtivo (DOWLATSHAHI, 2000; LEITE, 2002).

As iniciativas relacionadas à logística reversa têm trazido consideráveis retornos para as empresas. Economias com a utilização de embalagens retornáveis ou com o reaproveitamento de materiais para produção têm trazido ganhos que estimulam cada vez mais novas iniciativas. No pós-venda, o objetivo é viabilizar operacionalmente o retorno de produtos aos centros produtivos ou de negócios, agregando dentro desse processo, valor aos mesmos. O processo de logística reversa no pós-consumo geram materiais reaproveitados que retornam ao processo de suprimento, produção e distribuição (DOWLATSHAHI, 2000).

A LR ocorre no sentido de minimizar o impacto ambiental, não só dos resíduos na esfera da produção e do pós-consumo, mas de todos os impactos ao longo do ciclo de vida dos produtos, e imprime novas formas de pensar o produzir e o consumir. Os esforços em desenvolvimento e melhorias nos processos de LR podem produzir também retornos financeiros, de imagem corporativa e de nível de serviço consideráveis que justificam os investimentos realizados. A implantação da LR é de suma importância para a gestão empresarial como um diferencial de mercado trazendo benefícios à empresa. Outro aspecto importante diz respeito ao aumento de consciência ecológica dos consumidores que esperam que as empresas reduzam os impactos negativos de sua atividade ao meio ambiente. Também, a LR está ligada

à área da logística empresarial, que planeja, opera e controla o fluxo e as informações correspondentes, do retorno dos bens de pós-venda e de pós-consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, por meio dos canais de distribuição reversos, agregando-lhes valor de diversas naturezas: econômico, legal, de imagem corporativa, entre outros (DOWLATSHAHI, 2000; LEITE, 2003).

Além disso, a LR é uma área da logística empresarial que planeja, opera e controla o fluxo e as informações referentes ao retorno dos bens de pós-venda e de pós-consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, por meio dos canais de distribuição reversos, agregando valor de diversas naturezas: econômicas, ecológico, legal, logístico, de imagem corporativa, entre outros. Tendo-se em vista a evolução e o crescimento de uso nas sociedades modernas, a LR representa um dos mais importantes canais de distribuição reversos, mediante a revalorização pelo sistema de reciclagem dos materiais constituintes. Por exemplo, as embalagens descartadas pela sociedade apresentam uma considerável e negativa visibilidade ecológica em alguns centros urbanos, pois devido ao grande crescimento de sua utilização, sendo muitas vezes dispostas impropriamente, gerando poluição; por outro lado, oferece importantes oportunidades econômicas. Desse modo, constituem um exemplo de um conjunto de atividades comerciais, industriais e de serviços, com importante potencial de desenvolvimento tecnológico, estruturação e organização de seus canais de distribuição reversos, desde que sejam equacionados seus fatores logísticos restritivos, a coleta e a consolidação dos produtos descartados (DOWLATSHAHI, 2000; LEITE, 2003).

Também, a descartabilidade de um produto é que dá início ao processo de LR, de modo que o foco de atuação da logística reversa envolve a reintrodução dos produtos ou materiais à cadeia por intermédio do “ciclo produtivo” (MARTINS, 2003). Ainda, a LR cria novas oportunidades sociais e ambientais para a destinação dos resíduos retornarem ao ciclo produtivo. Esta deve ser incrementada por restrições ambientais em face de: custos crescentes da operação e manutenção de aterros sanitários; restrições de destinação para aterros; reaproveitamento de embalagens; obrigatoriedade de retorno de embalagens após entrega de seus produtos; recolhimento de produtos por força legal, ao fim de sua utilidade, pelos fabricantes, e outros (TIBBEN-LEMBKE, 2004).

A LR adiciona valor ao serviço de pós-transação oferecido ao cliente, na medida em que estabelece uma política de disposição final, reutilização, reciclagem, reforma reparo (reaproveitamento) para um determinado produto. Desta forma, tem a visão ampla de sua responsabilidade sobre todo o ciclo de vida do produto, e não somente durante sua vida útil,

atentando para os impactos ambientais, para as possibilidades de desenvolvimento de atividades econômicas e pelo comprometimento para com a sociedade. Ainda, algumas cadeias produtivas já praticam ações de logística reversa, mas com baixo grau de organização e certa informalidade comercial. São canais reversos que se desenvolveram, sobretudo, unicamente pela percepção do valor comercial contido em um resíduo, o qual ainda tem por qualidade ter uma fácil utilização, aplicação e/ou reprocessamento. Como por exemplo, a cadeia do aço e ferro, na qual a economia reversa representa uma fração de cerca de 30 a 40% da cadeia produtiva direta (DOWLATSHAHI, 2000; LEITE, 2003).

Alguns trabalhos existentes de LR para produtos de borracha já foram publicados com base no conceito da Teoria das Restrições (TOC – *Theory of Constraints*), discutindo um modelo de tomada de decisão de reciclagem da logística reversa para produtos de borracha o que prova que é mais eficaz do que a abordagem tradicional para minimizar o custo total (ZHOU, G. *et al*, 2008).

Muito trabalhos de LR em borracha ainda são voltadas aos pneumáticos por existir necessidade de políticas públicas de descarte e reciclagem. Existem desenvolvimentos de modelos de programação linear inteira mista para localização de instalações capacitadas que permite o projeto ideal de uma rede de LR e ilustra sua aplicação no caso de pneus fora de uso. Os pneus são gerados em redes de serviços e oficinas, como em muitas grandes cidades, e sua utilização inclui a possível produção de matéria-prima derivada da borracha e a utilização como combustível para determinadas indústrias, como a do cimento. Estes modelos devem atender às metas de reciclagem e minimizar o custo das multas em caso de inviabilidade, por meio do relaxamento de algumas restrições (SEPULVEDA & BANGUERA, 2017).

2.4.1 Economia Circular no setor da Borracha

O setor de borrachas, particularmente o subsetor de pneumáticos, tem práticas bastante alinhadas com a Economia Circular que se iniciaram antes mesmo desse conceito se tornar conhecido. Como exemplo, destaca-se a reforma de pneus, que é uma forma intensamente empregada e economicamente viável para estender seu uso. O emprego de embalagens retornáveis metálicas é outra prática do segmento de borrachas que se enquadra dentro dos princípios da Economia Circular (DRUMRNOND & LIN, 2009).

Um exemplo, o projeto de Reciclagem da Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (Reciclanip) é considerado uma das maiores iniciativas da indústria brasileira na área de responsabilidade pós-consumo, também conhecido como logística reversa (LR). O

trabalho de coleta e destinação de pneus inservíveis realizado pela entidade é comparável aos maiores programas de reciclagem desenvolvidos no país, em especial, ao de latas de alumínio e embalagens de defensivos agrícolas (RECICLANIP, 2021).

O projeto teve início em 1999, com o Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis implantado pela ANIP (Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos), entidade que representa os fabricantes de pneus novos no Brasil. Ao longo dos anos, o programa foi sendo ampliado para todas as regiões do País e os fabricantes decidiram criar uma entidade voltada exclusivamente para esse fim (ANIP, 2021).

Sendo assim, em 2007, a Reciclanip foi criada pelos fabricantes de pneus novos Bridgestone, Goodyear, Michelin e Pirelli. Em 2010, a Continental juntou-se à entidade e, em 2014, foi a vez da Dunlop. As atividades atendem a resolução 416/09 do CONAMA, que regulamenta a coleta e destinação dos pneus inservíveis. Desde o início da operação até o final de 2019, reunindo mais de 1.026 pontos de coleta distribuídos por todo o país, foram coletados e destinados adequadamente mais de 5,23 milhões de toneladas de pneus inservíveis, o equivalente a 1,04 bilhão de pneus de passeio. A indústria nacional já investiu R\$ 1,6 bilhão nesta operação (RECICLANIP, 2021; CONAMA, 2021).

Conforme já mencionado, a indústria da borracha vai muito mais além do que apenas os pneus, sendo que 30% da borracha manufaturada mundialmente é destinada a outros produtos de borracha. O uso de borracha natural na composição de diversos artefatos de borracha, representa a adição de um componente renovável ao ciclo de materiais; mas por outro lado, a característica de ser reciclável não elimina a necessidade de adotar práticas de EC para manter esses materiais em uso antes do seu descarte (DEKIC, 2010). Além disso, os subsegmentos de peças técnicas industriais e de autopeças têm um desafio maior do que o de pneus, na medida em que o volume total é menor, mas em contrapartida, o número de itens e a diversidade de materiais e de destinos é maior (MOVAHED, 2015).

A indústria e a sociedade ainda estão se ajustando. As ações estão ainda muito focadas em reciclagem, por ser o ciclo mais fácil de ser implementado. No entanto, para que se possa usufruir mais das vantagens da EC, iniciativas em redução de consumo e de reuso vão precisar aumentar em número e em importância e para isso, novos produtos serão projetados para serem reparados com mais facilidade e reutilizados várias vezes, como forma de estender suas vidas úteis. Precisarão ainda ter suas partes separadas para reciclagem para reduzir o descarte e ao final do ciclo, deverão poder ser degradados por micro-organismos ou serem usados para geração de energia. No entanto, há uma série de barreiras tecnológicas para a plena aplicação

desse conceito como a desvulcanização, a deslaminação, separação de ligas metálicas ou plásticas, hoje processos inexistentes ou com altíssimo consumo de energia (STAHEL, 2016).

Na regeneração da borracha, o processo envolve a separação da borracha vulcanizada dos demais componentes e sua digestão com vapor e produtos químicos, tais como, álcalis, *mercaptanas* e óleos minerais. O produto desta digestão é refinado em moinhos até a obtenção de uma manta uniforme, ou extrudado para obtenção de material granulado. A moagem do produto, como pneu e outros artefatos automotivos, em partículas finas permite o uso direto do resíduo de borracha em aplicações similares às da borracha regenerada.

Para identificação dos materiais empregados que facilitaria o reuso e reciclagem, há propostas para definir-se um “passaporte” de produto para rastrear seu ciclo de vida, desde a produção até seu descarte (LACY e RUTQVIST, 2016). Também, tecnologias como “*blockchain*” poderiam ser empregadas, mas para sua disseminação, um padrão necessariamente deveria ser desenvolvido e internacionalmente aceito (ANTIKAINEN, 2018).

Existem alguns exemplos do uso dos conceitos da EC no setor de produtos da borracha; como o uso de aditivos de processo que melhoram a fluidez do composto de borracha, resultando em um material que pode ser processado com muito mais eficiência (Figura 8). A reatividade e a estrutura polimérica também são fatores importantes, pois ambos dão origem a densidade de ligações entre as partículas de borracha, o que impacta positivamente as propriedades mecânicas do produto. Melhoram também a eficácia dos custos de processamento quanto a qualidade das peças de borracha quando se trata de borracha reciclada. O aditivo também é usado como auxiliar na reciclagem de resíduos de borracha (EVONIK, 2021).

Figura 8 - Exemplo de uso de aditivos misturados a borracha reciclada.



Fonte: Evonik (2021).

Também, destacam se alguns métodos experimentais de despolimerização, fazendo com que a borracha possa ser curada novamente. Alguns experimentos em borracha de silicone foram realizados a partir de amostras que foram previamente reduzidas para obter-se maior superfície de contato e facilidade na agitação mecânica. Também, a homogeneização das condições de processo foi otimizada com o auxílio de óleo de silicone, que reveste a superfície das partículas facilitando os processos de troca térmica e evitando assim a queima do resíduo por aquecimento localizado, variando entre de 250-350 °C, e com agitação mecânica. O produto resultante do processo consiste no Polydimethylsiloxane, chamado também de PDMS, que é um polímero com baixa massa molar, indicando que o método provoca um processo de despolimerização (LOPES, 2005). Assim, este processo contribui para a o reuso de componentes de borracha, em novas etapas de processo de produção e, por conseguinte, na ampliação do conceito da EC.

2.5 TRIPÉ DA SUSTENTABILIDADE (TBL)

Em 1998 o sociólogo e consultor britânico John Elkington formulou o conceito *Triple Bottom Line (TBL)* – o tripé da sustentabilidade – expressão consagrada atualmente e também conhecida como os “Três P’s” (*people, planet and profit*) ou, em português, “PPL” (pessoas, planeta e lucro). Segundo esse conceito, para ser sustentável uma organização ou negócio deve ser financeiramente viável, socialmente justo e ambientalmente responsável (ELKINGTON, 1998).

Ao instituir o *Triple Bottom Line*, Elkington tentava-se criar uma linguagem que captasse a complexidade da agenda da sustentabilidade, uma vez que algumas organizações, como o Conselho Mundial de Negócios para o Desenvolvimento Sustentável estava dialogando a respeito de eficiência, em especial, de que forma poderiam lucrar economizando energia, protegendo o meio ambiente e diminuindo a poluição (ELKINGTON, 1998).

Na ocasião já se preconizava que os negócios trilhassem um caminho sustentável, mas era necessária a discussão a respeito de uma série de outras questões relativas ao aspecto social que, ainda hoje, muitas empresas insistem em ignorar, provavelmente porque a sustentabilidade se impõe, progressivamente, como um desafio maior para elas, na medida em que altera o ambiente de negócios (ELKINGTON, 1998).

No livro “Canibais com Garfo” (ELKINGTON, 1997), integrou-se as preocupações ambientais, sociais e econômicas na estratégia da gestão, as quais devem ser consideradas para classificar uma empresa como sustentável, em:

- **Responsabilidade Ambiental:** é um conjunto de atitudes voltado para o desenvolvimento sustentável do planeta, ou seja, as ações das empresas ajustadas à responsabilidade ambiental levam em conta o crescimento econômico ligado à proteção do meio ambiente, na atualidade e para as gerações futuras.
- **Responsabilidade Social:** Esta área envolve medidas que proporcionam cultura, educação e melhores condições de vida e saúde aos colaboradores da empresa e à comunidade onde está inserida. Chamamos de responsabilidade social quando empresas, de forma voluntária, adotam posturas, comportamentos e ações que promovam o bem-estar dos seus públicos interno e externo. É uma prática voluntária pois não deve ser confundida exclusivamente por ações compulsórias impostas pelo governo ou por quaisquer incentivos externos (como fiscais, por exemplo). O conceito, nessa visão, envolve o benefício da coletividade, seja ela relativa ao público interno (funcionários, acionistas, etc) ou atores externos (comunidade, parceiros, meio ambiente, etc.).
- **Gestão Econômica Sustentável:** São as questões melhores desenvolvidas por empresas que dirigem sua organização através de processos que incentivam e recuperam todas as formas de capital, humano, natural e financeiro. Nessas áreas as ações realizadas devem comprovar financeiramente seus resultados, seja com economia de recursos ou em geração de valor e novos negócios. Significa não só garantir o retorno ao acionista no final do ano (no curto-prazo), mas também satisfazer as expectativas que os diferentes *stakeholders* (partes interessadas) têm sobre o comportamento ético, econômico, social e ambiental da empresa.

Algumas das vantagens mais perceptíveis de implantar a sustentabilidade na estratégia do negócio, alinhada aos projetos e objetivos da empresa são um maior poder de precificação do serviço, redução de custos, atração e retenção de talentos, incentivos fiscais, aumento de participação no mercado, bem como acesso a novos mercados. Além destes, outros valores intangíveis também são desenvolvidos, como o aumento do valor da marca, através da melhoria da imagem, da diferenciação no mercado e de fidelização e preferência de clientes. Algumas vantagens consistem também na gestão de risco, como a redução de custos com multas,

facilitação de processos, menos atrasos nas operações e aumento da longevidade da empresa (SPITZECK, 2016).

Dessa forma, um dos principais objetivos do tripé da sustentabilidade é informar que o assunto se trata de negócios, porque é o que as empresas têm de fazer e o que o mercado exigirá cada vez mais, daqui para frente. Contudo, não apenas do ponto de vista financeiro, mas também sob o viés econômico, ambiental e social, o tripé da sustentabilidade é um conceito que ajuda a pensar no futuro de uma maneira mais ampla (SPITZECK, 2016).

Existem alguns trabalhos realizados baseados na abordagem TBL com o intuito de analisar como a sustentabilidade entre os fornecedores e seus distribuidores e atacadistas e como a falta de alinhamento afeta a sustentabilidade. Os resultados sugerem uma relação direta entre a sustentabilidade da empresa focal e dos integrantes da cadeia de suprimentos, de modo que o alinhamento das práticas da *Triple Bottom Line* (TBL) ao longo da cadeia é fundamental para enfatizar os efeitos dessas práticas e para a empresa ser considerada sustentável, conforme indicado pelos conceitos de cadeia de abastecimento sustentável. Os resultados sugerem que as empresas podem melhorar seu desempenho em termos ambientais, sociais e econômicos se observarem e avaliarem a sustentabilidade de seus fornecedores, reduzindo riscos ambientais e perdas futuras (ROSA *et al*, 2019).

Um trabalho realizado no Brasil voltado a produtos de borracha utilizando a abordagem TBL argumenta a favor de uma mudança de paradigma nos estudos de sustentabilidade da cadeia de suprimentos, de uma abordagem de desempenho de sustentabilidade para uma abordagem de prática de sustentabilidade. Se concentra em como a sustentabilidade ocorre, e não no que é necessário para garantir operações sustentáveis por meio de uma compreensão orientada para o processo da sustentabilidade como uma prática. A abordagem da prática da sustentabilidade também apoia uma mudança da perspectiva de TBL para um foco nas metas de desenvolvimento sustentável. A ideia de que a sustentabilidade emerge de um conjunto de práticas para atingir e manter algum objetivo, além de contribuir para a compreensão de como uma organização de médio porte e sua cadeia de suprimentos praticam a sustentabilidade, em direção às metas de desenvolvimento sustentável. O estudo de caso qualitativo durou quatro anos e foi realizado em uma empresa familiar brasileira que fabrica produtos de borracha para as áreas de saúde e educação, e a análise de conteúdo foi utilizada para revelar os fazeres e dizeres da sustentabilidade como prática. Os resultados indicaram que a sustentabilidade ocorre, tanto internamente quanto ao longo da cadeia de suprimentos, por meio de cinco práticas diferentes: cooperar, entender, julgar, melhorar e mudar a lógica. O trabalho ainda fornece uma

representação da prática da sustentabilidade como sendo as práticas que ocorrem como uma nova lente teórica para os estudos de logística integrada e contribuições ao mundo real (SILVA & FIGUEIREDO, 2019).

2.6. PRÁTICAS 9R NA INDÚSTRIA

Algumas práticas têm alcançado cada vez mais popularidade no contexto da sustentabilidade focadas nos resultados financeiros das empresas, como por exemplo os chamados R's da sustentabilidade. Inicialmente, foi apresentado o conceito dos 3R's, que correspondem a redução, reuso e reciclagem dos materiais e produtos; evoluindo em seguida para os 6Rs, com a adição dos itens recuperação, remanufatura e redesenho (BRADLEY *et al*, 2018).

Em decorrência da evolução dos Rs da sustentabilidade, as práticas 9R foram desenvolvidas com o objetivo de aumentar a circularidade de produtos, proporcionando redução no consumo de recursos naturais e materiais, bem como a minimização dos resíduos gerados, conforme mostra a Figura 9 (POTTING *et al*, 2017).

Figura 9 - Práticas 9R para a cadeia de produtos.

Estratégias		Definições	Necessidade de inovação			
Uso e fabricação mais inteligente dos produtos	R0 – Recusar	Fazer o produto obsoleto pela oferta da função com um produto diferente	Tecnologia	Design do produto	Modelo de receita	
	R1 – Repensar	Fazer o uso do produto mais intenso				
	R2 – Reduzir	Aumentar a eficiência dos materiais na produção e uso do produto				
Extensão do ciclo de vida dos produtos e componentes	R3 – Reusar	Intensificar o uso de produtos descartados por outros consumidores				Características sócio-institucionais
	R4 – Reparar	Reestabelecer a função original de produtos com defeito				
	R5 – Recondicionar	Restaurar produtos antigos e atualizá-los				
	R6 – Remanufaturar	Usar partes de produtos descartados em novos produtos com a mesma função				
	R7 – Reaproveitar	Usar produtos (ou partes) descartados em novos produtos com função diferente				
Aplicação útil dos materiais	R8 – Reciclar	Processar os materiais descartados para obtenção de matéria prima				
	R9 – Recuperar	Incineração dos materiais para recuperação de energia				

Fonte: Potting *et al*, 2017

Na representação proposta por Potting *et al* (2017), o componente R0 (Recusar) não está incluso na lógica dos conceitos dos 9Rs, por se tratar da ausência de produção de um produto em função de novas possibilidades, tendo como exemplo o uso da câmera de celulares em substituição das câmeras fotográficas amadoras, a popularização de *streaming* no lugar de videolocadoras, a leitura de livros e jornais em meios digitais, entre outros. Assim, de acordo com a Figura 7, são apresentados exemplos de aplicação de 9R em alguns setores:

- R1 – Repensar – utilização de produtos multifuncionais e sistemas para compartilhamento de veículos e imóveis;
- R2 – Reduzir – melhorias incrementais nos processos produtivos ou produtos, como a utilização do sistema de refil;
- R3 – Reusar – uso de produtos que ainda podem cumprir sua função original por novos consumidores, tendo como exemplo o comércio eletrônico;
- R4 – Reparar – viabilização do reparo de produtos defeituosos, tendo como exemplo a ampliação de assistência técnica;
- R5 – Recondicionar – restauração de produtos antigos, mesmo que não sejam defeituosos, tendo como exemplo a restauração de veículos e móveis;
- R6 – Remanufaturar – utilização de peças ou produtos descartados para a produção de novos produtos com a mesma função, bastante usado na indústria de autopeças;
- R7 – Reaproveitar – utilização de peças ou produtos descartados para a produção de produtos com função diferente, podendo ocorrer parcerias para simbiose industrial;
- R8 – Reciclar – transformação de peças e produtos descartados em matéria prima com a mesma qualidade, como na fundição de autopeças, ou com qualidade inferior, como na reciclagem de papel;
- R9 – Recuperar – geração de energia pela incineração dos materiais, é uma ação de baixa circularidade pois não possibilita a aplicação dos demais Rs.

O tema 9R's é ainda recente e carece de uma abordagem acadêmica mais profunda devido a existência de poucos artigos relacionados ao tema, principalmente ao uso da borracha no setor automotivo.

Embasando ainda mais a teoria por motivos metodológicos, as estratégias são compostas de acordo com o desperdício hierárquico, ou seja, do mais importante ao menos importante, e

que consiste em uma coleção de 9Rs que deve levar a redução de resíduos. A Economia Circular é um sistema de economia regenerativa em que a entrada de recursos e resíduos, emissões e perda de energia são minimizados pela desaceleração, fechamento e estreitamento dos circuitos de material e energia (GEISSDOERFER *et al*, 2017).

Isso pode ser alcançado por meio de *design* e gerenciamento de longa duração, considerando os 9Rs. A hierarquia de resíduos 9R mencionada acima, capturada pelos princípios dos “Rs”, é considerado essencial para uma definição abrangente (KORHONEN *et al.*, 2018). Este conceito foi baseado no ano 1979 por Lansink Ladder, a primeira versão de uma hierarquia de resíduos, que fez uma distinção entre reuso, reciclagem e aterro, entre outros aspectos (LANSINK, 2018). Isso foi ampliado e refinado pela agência PBL (*Netherlands Environmental Assessment Agency*) na hierarquia de resíduos "9R" (POTTING *et al*, 2017). A hierarquia de resíduos 9R consiste principalmente em três princípios sendo o uso mais inteligente de materiais; a extensão da vida útil e o fim de vida útil.

Como exemplo, destaca-se o trabalho sobre otimização do ciclo de vida para *design* de veículos sustentáveis, utilizando uma metodologia na qual avalia a energia na produção de veículos, assim como o desempenho operacional e o fim de vida, que são formulados como um problema matemático que pode ser otimizado. Esta metodologia permite considerar o impacto ambiental do ciclo de vida, através do uso da energia, logo nas primeiras etapas do projeto do veículo. Os resultados da otimização para este caso demonstram que existe uma solução de *design* que atende aos requisitos funcionais com um custo mínimo de energia no ciclo de vida (O'REILLY, 2014).

Um dos trabalhos de destaque utilizando os conceitos de 9R's corresponde ao uso da *Circular Economy Interface Matrix Analysis* (CEIMA) no setor de infraestrutura, que necessita de grandes quantidades de recursos naturais e é responsável por uma considerável quantidade de resíduos. Assim, para reduzir o uso de recursos e desperdícios, as organizações neste setor estão considerando a implementação de conceitos de circularidade. Apesar da abundância de métodos circulares, princípios e estratégias fornecidos em literatura científica, a implementação dessas abordagens na prática diária é ainda um desafio. Um dos principais problemas com a implementação da circularidade é que os profissionais nem sempre estão cientes de todo o conjunto das abordagens circulares, bem como muitos especialistas em EC não têm o conhecimento acumulado para o gerenciamento de todo o ciclo de vida (COENEN *et al*, 2020).

Outras formas de utilização dos conceitos de 9R, além do setor automotivo, consistem por exemplo na indústria farmacêutica que já está voltada à manufatura sustentável, para

mitigação de resíduos, por meio da adoção do conceito de economia circular. Em trabalhos feitos por Ang et al., (2021), foi empregada a estrutura 9R com base nos conceitos da EC de economia circular (ANG *et al*, 2021).

Outro exemplo, consiste em trabalhos feitos por Fassio e Minotti (2019) voltados a aplicação dos conceitos de 9R's, no contexto da EC no setor de alimentos. Em particular, foram usados indicadores e estratégias da EC para moldar as políticas alimentares urbanas, afim de criar um novo modelo de negócios em direção a uma política de sustentabilidade, e apresentando quatro perspectivas convergentes, emergindo da literatura, e analisando como eles foram integrados no estudo de caso baseado no Projeto de Projeção de Resíduos Orgânicos no mercado de Porta Palazzo, na Cidade de Torino na Itália (FASSIO e MINOTTI, 2019). Nesse caso foi definido um novo quadro de investigação denominado “economia circular para a política alimentar”, juntamente com suas características: a aplicação de uma abordagem sistêmica e EC para soluções de problemas com a necessidade de um desenho de projeto transdisciplinar e integrado para os conceitos de 9R's (responsabilidade, reagir, reduzir, reutilizar, redesenhar, reparar, recuperar, reciclar e apodrecer), sendo o uso de alimentos como um pilar de mudança intersetorial e uma nova forma de governança colaborativa e integrada.

2.7 DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS DA BORRACHA

A destinação de resíduos de Borracha está cada vez mais normatizada e monitorada. Órgãos reguladores como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), são responsáveis pelo controle das empresas do setor de borracha, bem como direcionam a como efetuar a melhor destinação de resíduos de borracha como triturar, destinar e emitir o Certificado de Compromisso com o Meio Ambiente (CONAMA, 2020).

A borracha é um dos resíduos que possui o maior grau de contaminação ao meio ambiente e seu ciclo de degradação no meio ambiente é um dos mais longos, comparado a outros resíduos. Assim, a responsabilidade pós-consumo dos artigos produzidos a partir da borracha deve fazer parte dos princípios de qualquer companhia. Também, os distribuidores, os revendedores, os destinadores, e os consumidores finais de pneus e de artefatos de borracha, e o Poder Público, deverão implementar cada vez mais novos procedimentos para a destinação de resíduos de borracha (RECICLANIP, 2021).

Nesse sentido, alguns avanços já foram realizados, como exemplo, a partir da entrada em vigor da resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) número 416/09, para cada pneu novo comercializado para o mercado de reposição, as empresas fabricantes ou importadoras devem dar a destinação adequada aos resíduos de borracha (CONAMA, 2009).

Além disso, as empresas de coleta de descarte de resíduos de borracha, em conjunto com o Conselho Nacional de Defesa Ambiental (CNDA) oferece um selo denominado de eco etiqueta da Campanha Cidadania Ambiental: “Sou agente do meio ambiente, encaminho pneus para a reciclagem”, que consiste na destinação de resíduos de borracha e na entrega dos selos a serem fixados nos veículos. Através de parcerias, as empresas podem utilizar livremente o selo para comunicação, além de alinhar os compromissos de apoiar e respeitar a proteção dos direitos humanos, abominar todas as formas de trabalho informal infantil, eliminar a discriminação laboral, apoiar uma abordagem preventiva dos desafios ambientais, desenvolver as iniciativas para promover maior responsabilidade ambiental e destinar a coleta de pneus usados em empresas homologadas pelo IBAMA (CONAMA, 2020).

2.7.1 Reciclagem de artefatos inservíveis de borracha

Cada vez mais a borracha reciclada vem tomando um campo expressivo de aplicações, tendo em vista que se trata de um material de baixo custo de utilização, comparado com os custos de uma borracha nova vulcanizada além do que, existe enorme disponibilidade de artefatos de borracha inservíveis para descarte e reuso.

Por exemplo, como a borracha uma vez vulcanizada não pode ser vulcanizada novamente, faz com que a reutilização deste material seja comprometida, de modo que não pode ser reusada por não poder cumprir a função dos produtos originais; não pode ser reparada, pois não viabiliza o reparo de produtos defeituosos; não pode ser recondicionada, pois é impossível a restauração de produtos antigos e, também, não pode ser remanufaturada pois, devido ao processo de vulcanização, não pode ser realizada a utilização de peças ou produtos descartados para a produção de novos produtos com a mesma função (KLEPS, 2000).

Como exemplo bem sucedido, de reciclagem destaca-se a produção de solados de sapatos e de chinelos a partir da borracha de pneus inservíveis, como resultado de um apelo ecológico e de sustentabilidade, sendo que para cada pneu descartado é possível a fabricação de 30 pares de solados de sapatos ou chinelos (Figura 10) (LUNA, 2020).

Figura 10 - Exemplo de sub produto da borracha reciclada – produção de calçados



Fonte: Inbbor, 2021

Outro exemplo de produto que utiliza a borracha reciclada é a partir de uma tecnologia no setor da construção civil, através da mistura da borracha com manta asfáltica para pavimentação de rodovias, ou para construção de lombadas (Figura 11) (ALFAYES, 2020).

Figura 11 - Exemplo de sub produto da borracha reciclada – pavimentação de rodovias



Fonte: Pavfacil, 2020.

Também, na construção civil a borracha reciclada é empregada para fabricação de tijolos, inclusive como em protótipos de casas inteiras construídas com este tipo de material reciclado (Figura 12).

Figura 12 - Exemplo de sub produto da borracha reciclada - tijolo e um protótipo de residência construída.



Fonte: SustentArqui, 2021

Ainda, destacam-se outras aplicações possíveis utilizando a borracha reciclada, por exemplo, para produção de aditivos de adesivos, de selantes e solventes, sendo capaz de recriar espaços de recreação visando a redução de impacto do corpo humano na superfície, como pisos de academias e parques infantis e até mesmo para decorações como vasos, utensílios e demais variedades de produtos (Figura 13) (DOKKI, 2014).

Figura 13. Exemplos de sub produtos da borracha reciclada: pisos de academia e parques infantis, vasos de plantas.



Fonte: Engbor, 2021

3. METODOLOGIA

3.1. ESCOLHA DO MÉTODO A SER UTILIZADO

Do ponto de vista metodológico, de acordo com as considerações feitas até agora, a natureza exploratória do trabalho aqui proposto pode ser caracterizada como revisão bibliográfica e estudo de caso. Para poder levantar informações das empresas fabricantes de vedações para o setor de autopeças de borracha, com foco nos conceitos da Economia Circular, foi desenvolvida uma pesquisa qualitativa do tipo exploratória no sentido de:

- Possibilitar o aumento da familiaridade do pesquisador com o assunto, pois uma das finalidades dos estudos exploratórios é aumentar a familiaridade do pesquisador com o ambiente, fato ou fenômeno para a realização de uma pesquisa futura mais precisa. (MARCONI e LAKATOS, 2003).
- O conhecimento sobre esse assunto está longe de permitir o estabelecimento de conclusões definitivas. Nessas condições, sugere-se que pesquisas sobre o tema sejam desenvolvidas utilizando-se estudos exploratórios (SELLTIZ *et al.*, 1974).
- O trabalho realizado não pretende ser um estudo definitivo, pois visa avaliar as ações da EC que são utilizadas pelas empresas de autopeças, de modo que a utilização de um estudo exploratório é recomendado como um passo inicial (SELLTIZ *et al.*, 1974).

No entanto, estabelecer que se pretende desenvolver uma pesquisa exploratória não é suficiente para se determinar o método mais adequado para a pesquisa que este trabalho propõe. Estabelece um conjunto de possíveis projetos de pesquisa e de possíveis métodos de pesquisa que podem ser utilizados nos estudos exploratórios. Os projetos de pesquisa são considerados como a estrutura global e a orientação geral de uma investigação. Os métodos de pesquisa e seus métodos envolvem as possíveis técnicas para a coleta dos dados: experimentos – questionário auto-preenchido; *survey* – entrevista estruturada; pesquisa qualitativa – observação participativa; estudo de caso – entrevista não-estruturada; pesquisa-ação – observação estruturada, simulação e pesquisa bibliográfica (BRYMAN, 1995).

A primeira e mais importante condição para se escolher o projeto de pesquisa a ser adotado é o tipo de questão que se busca responder. Para as questões que envolvem a identificação do tipo “como” e “porquê”, certos fenômenos ocorrem em que o autor indica o estudo de caso, como o tipo de projeto de pesquisa que tem sido preferido para utilização (YIN, 2015). Assim, o estudo da aplicação dos conceitos de sustentabilidade para as empresas

manufadoras de vedações em borracha sintética procura verificar o quanto estão preparadas e engajadas no “pensamento verde”, aliado ao fator lucratividade.

O estudo de caso também pode ser empregado quando se pretende testar teorias, o que é um dos objetivos do trabalho aqui proposto, já que se buscará verificar a adequação do modelo teórico de atuação dos conceitos de sustentabilidade que se pretende desenvolver a situações do mundo real (BRYMAN, 1995).

Em adição a esses pontos, define-se o estudo de caso como uma pesquisa empírica que investiga um fenômeno dentro de um contexto do mundo real, quando as fronteiras entre o fenômeno e o contexto não são claramente evidentes, e na qual múltiplas fontes de evidências são usadas, pode-se estabelecer que o estudo de caso é o projeto de pesquisa mais adequado ao estudo empírico que este trabalho propõe desenvolver (YIN, 2015).

Com relação ao método de pesquisa para as pesquisas do tipo qualitativo, a entrevista não estruturada deveria ser o método de coleta de dados preferido, no sentido de deixar o entrevistado à vontade para abordar as questões em discussão (BRYMAN, 1995). Ainda, a entrevista não estruturada é especialmente adequada quando se deseja manter a máxima flexibilidade para possibilitar a obtenção de informações em qualquer direção que pareça apropriada como decorrência do que estiver sendo obtido no decorrer da entrevista (PATTON, 1990).

A vantagem da entrevista não estruturada para os estudos qualitativos, na medida em que o pesquisador tem a liberdade de repetir questões em diferentes momentos da entrevista, para confirmar informações consideradas duvidosas; pode formular perguntas de maneiras distintas e adicionais, para garantir uma melhor compreensão do ponto pesquisado pelo entrevistado e consideradas necessárias para aprofundar uma abordagem ou esclarecer pontos para o assunto investigado (MARCONI e LAKATOS, 2003).

Pelas razões apontadas, a pesquisa de campo foi realizada por meio de entrevista semiestruturada como o método de coleta de dados para obter as informações necessárias.

Embora o método de pesquisa utilizando a entrevista não-estruturada não exija a elaboração prévia de um questionário, para garantir que todas as informações relevantes sejam obtidas, deverá ser produzido um “*aide-mémoire*” para orientar o desenvolvimento dos contatos pessoais que serão mantidos junto às fontes pesquisadas (BRYMAN, 1995). Por essa razão, como parte do planejamento da pesquisa de campo, foi elaborado o roteiro para orientar as entrevistas realizadas (APÊNDICES A, B e C).

3.2. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Eco (1977, p.10) afirma que “*quanto mais se restringe o campo (de estudo), melhor e com mais segurança se trabalha*”. Dessa forma, para que o presente trabalho possa ser desenvolvido com um grau de precisão que permita estabelecer conclusões significativas sobre o tema que aqui se aborda, não se deverá levar em conta a indústria de autopeças de borracha de maneira irrestrita e considerando todos os possíveis relacionamentos entre essas empresas e seus clientes e fornecedores. Nesse sentido, a delimitação do estudo é importante para de evitar que o estudo fique muito amplo e com uma dificuldade de obter dados do processo de fabricação, assim como de apresentar algumas conclusões mais concisas e precisas. Portanto, como delimitação do objeto de estudo, tendo se em vista o amplo campo dos artefatos de borracha usados para confecção de peças para o setor automotivo, neste trabalho será dado ênfase às vedações elastoméricas.

3.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O desenvolvimento do trabalho envolve quatro partes distintas e interligadas. Na primeira, foi realizada uma revisão da bibliografia científica, com o objetivo de estabelecer considerações sobre as dimensões que caracterizam a atuação das empresas na EC, e sobre os impactos das novas formas de pensamento da EC sobre as empresas produtoras de borracha.

Na segunda parte do trabalho, em função das informações levantadas na revisão bibliográfica, foram identificadas, analisadas e integradas as dimensões teóricas relevantes identificadas para atuação da EC das empresas de produtoras de borracha no Brasil.

Na terceira parte, foi realizado o estudo de caso em três empresas localizadas no Estado de São Paulo produtoras de artefatos de borracha, nas quais foram conduzidas pesquisas de campo para aquisição de dados referentes às vedações automotivas e avaliar a aplicabilidade dos da EC e dos 9R's da sustentabilidade.

A quarta e última parte deste trabalho consiste das conclusões, considerações finais, das limitações e dos estudos futuros que poderão ser desenvolvidos com relação às vedações automotivas.

4. RESULTADOS

Neste item são apresentados os resultados, contendo a bibliometria, e dados obtidos no estudo de caso e as primeiras avaliações sobre as vedações automotivas no contexto da EC e das práticas 9R's da sustentabilidade.

4.1 BIBLIOMETRIA

A pesquisa bibliométrica foi feita por meio do portal periódicos, na base *Scopus (Elsevier)* em que foram utilizadas duas palavras ou expressões que estão interligadas ao trabalho: “*rubber*” e “*circular economy*”.

Para a palavra “*rubber*” apenas, com esta primeira análise, observou-se a quantidade de referências relacionadas ao material “borracha” existem nesta base científica, sem limite de uma data específica de publicação. A procura foi baseada por “documentos” utilizando o filtro de tipo de arquivo sendo “título dos artigos, resumos e palavras-chave”. Com esta pesquisa, na base *Scopus* teve-se o retorno 138.884 artigos.

O mesmo procedimento foi feito para a expressão “*Circular Economy*”, e o resultado apresentou a quantidade de 10.017 artigos, o que demonstra a preocupação do tema sustentabilidade no campo desta pesquisa.

Em seguida foi feita a limitação do tempo, considerando os artigos publicados a partir do ano 2010, utilizando a mesma base *Scopus (Elsevier)* e a mesma palavra-chave “*rubber*”, com retorno de 56.679 artigos, o que representou 40,8% dos artigos relacionados ao material borracha.

O mesmo processo de pesquisa foi realizado com a expressão “*Circular Economy*” com a mesma limitação de tempo e que apresentou a quantidade de 9.515 artigos, representando que 94,9% dos trabalhos relacionados à EC foram publicados após o ano de 2010, demonstrando assim a contemporaneidade do assunto abordado neste trabalho.

Na sequência, foi feita a procura por ferramentas para auxiliar na compilação dos dados obtidos e, através de *Science Mapping*, foi escolhida a ferramenta “*R Studio*”, conjugada com a compilação através da ferramenta *Bibliometrix*. Também, foi utilizada uma segunda base de dados, WoS (*Web of Science*), além da base *Scopus (Elsevier)*.

Na primeira pesquisa utilizando a base *Web of Science*, definiu-se concatenar as palavras-chave utilizadas inicialmente sendo “*rubber*” e “*circular economy*” e delimitou-se a pesquisa por “Tipo de Documentos”, sendo que apenas artigos fossem mostrados. Além disso, foi reduzido o intervalo de tempo, sendo a partir do ano de 2015.

Portanto, como resultado da pesquisa na base *Web of Science* foram encontrados 39 trabalhos publicados desde 2015, relacionados aos temas “Economia Circular” e “borracha”. Além disso, o resultado na base *Scopus (Elsevier)* apresentou 57 trabalhos publicados.

Utilizando-se a ferramenta “*R Studio*”, foi realizada a compilação das duas bases de pesquisa onde constatou-se que 28 artigos eram duplicados e sendo assim foram desconsiderados de uma das bases. Portanto, para o início da Revisão Bibliográfica foram considerados 68 trabalhos publicados. A Tabela 2 mostra os tipos de documentos que foram publicados com relação a conjugação das palavras: “*rubber*” e “*Circular Economy*”:

Tabela 2 - Caracterização dos documentos publicados

TIPO DE DOCUMENTO	QUANTIDADE
Artigos	43
Artigo; <i>data paper</i>	1
Artigo; acesso fácil	1
Artigo; <i>proceedings paper</i>	1
Capítulos de Livro	2
Artigo de conferência	11
Resumo de conferência	1
Editorial	1
Revisão de literatura	7
TOTAL	68

Fonte: Biliometrix – R Studio

Outro ponto observado e analisado nas 68 publicações é a regionalização referente ao assunto de Economia Circular de borracha, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Quantidade de citações por País

País citado na publicação	Quantidade de citações
Itália	52
Espanha	27
Índia	24
China	20
Malásia	19
Portugal	15
França	9
Japão	7
Canadá	6
Reino Unido	6
TOTAL	185

Fonte: Biliometrix – R Studio

Vale ressaltar o número expressivos de trabalhos citados na Itália, onde uma onda de conceitos sustentáveis vem sendo trabalhados constantemente, em que é cada vez maior o número de pesquisadores italianos que contribuem com novos trabalhos relacionados a sustentabilidade, o que reflete no número de citações nas principais plataformas de literatura científica como a *Scopus Elsevier* e a *Web of Science*.

Outro ponto corresponde a contemporaneidade do tema, em que a Tabela 4 mostra o número de publicações realizados por ano, desde 2015. Destaca-se que para o ano de 2021, o número representa apenas artigos publicados no mês de Janeiro.

Tabela 4 - Quantidade de artigos publicados sobre EC e borracha.

Ano	Quantidade de artigos
2015	1
2016	3
2017	7
2018	8
2019	14
2020	30
2021 (apenas Janeiro)	5
Total	68

Fonte: Biliometrix – R Studio

Em seguida foi empregada a ferramenta Bibliometrix para compilar as 68 publicações, bem como analisar os artigos com relação ao título e ao resumo. Foram identificados 27 artigos que possuem sinergia com o tema deste trabalho, todos no idioma inglês. Um outro ponto identificado foi de que entre os 27 artigos, 20 são relacionados a pneumáticos e seus descartes e reutilizações, o que corrobora com o percentual de borracha utilizada mundialmente para este tipo de produto que pode chegar a 70% de toda a borracha mundial produzida.

Ainda, com a ferramenta Bibliometrix, conseguiu-se também diminuir o tamanho das amostras, considerando-se a relação entre número de citações de uma publicação por sua data, bem como o fator de impacto *Journal Citation Reports* (JCR) que cada trabalho possui. Assim, foram descartados os artigos sem fator de impacto, de modo que a amostra foi reduzida para as 10 principais publicações relacionadas ao tema deste trabalho. Para estes 10 artigos analisados, observou-se que todos são relacionados a Economia Circular de pneus que corresponde ao maior volume de borracha reciclada, devido tanto a proporção de borracha misturada quanto em seu volume e peso.

4.2 ESTUDO DE CASO

Foram estabelecidas como campo de estudo para aplicação da entrevista, três empresas que aqui serão denominadas com seus nomes fictícios: VEA - Vedações Elastoméricas Automotivas S.A. (Apêndice A); BPM - Borrachas para o Mundo S.A. (Apêndice B); ADB - Artefatos de Borracha Ltda (Apêndice C).

A empresa VEA é uma multinacional de origem Americana com mais de 100 anos de fundação e é especializada na produção de artefatos de borracha para máquinas e equipamentos com características de movimento e controle. Possui mais de 7.000 colaboradores ao redor do mundo e 3 linhas de produtos diferentes: Filtração, Hidráulica e Vedações, sendo sua matriz situada no Estado de Ohio – Estados Unidos, e unidades presentes em mais de 26 Países. Na América Latina possui cerca de 1.000 colaboradores sendo 105 colaboradores em sua filial de Vedações no Brasil e está situada no Estado de São Paulo. Possui capital aberto na Bolsa de Valores de Nova Iorque (NYSE - *New York Stock Exchange*). A entrevista foi conduzida junto ao Gerente Geral da Divisão de Vedações (Sr. Marcio, que tem formação em Engenharia Elétrica), está com 12 anos no cargo e possui vasta experiência em todos os ramos e departamentos da empresa.

A empresa BPM é uma multinacional, de origem Europeia com sede na Suécia e com mais de 120 anos de fundação. Possui cerca de 8.000 colaboradores ao redor do Mundo e também outras linhas de produtos além de vedações, como elementos filtrantes e tecidos de engenharia. Está situada no estado de São Paulo onde possui cerca de 600 colaboradores na América Latina. A entrevista foi conduzida junto ao Sr. Antonio que é o Gerente Industrial da Divisão de Vedações (Sr. Antônio, com formação em Engenharia de Produção Mecânica), que está há 8 anos no cargo, e tem como responsabilidade todas as áreas fabris da empresa.

A empresa ADB é uma empresa nacional com mais de 46 anos de atuação no mercado de vedações e artefatos de borracha possuindo uma saúde financeira invejável quando comparada com outras empresas de artefatos de borracha locais. Está situada no Estado de São Paulo, possui cerca de 120 colaboradores ativos. A entrevista foi conduzida junto ao Sr. Marcos (formado em Administração de Empresas), que além de ser o fundador da empresa há 46 anos atrás, tem o papel de Diretor Geral e Sócio Proprietário.

A pesquisa feita nestas empresas com perfis distintos permitiu observar se existem diferenças nos conceitos de EC e 9R's entre empresas globais que possuem um alinhamento estratégico entre sua matriz e filiais, bem como a replicação desse alinhamento na região onde está instalada. Além disso, foi avaliado o quanto as empresas estão posicionadas em relação aos conceitos e práticas da EC e 9R's no que tange a legislação vigente no País e os ganhos comerciais e sociais de tais práticas.

4.2.1 Entrevista Semiestruturada

O tipo de entrevista aplicada é caracterizado como semiestruturada, em que o entrevistador tem a liberdade de caminhar no sentido mais conveniente para a abordagem do tema em discussão. O motivo da escolha da aplicação da entrevista semiestruturada deve-se por possuir uma maior flexibilidade, com possibilidade de solicitação de esclarecimentos, oferecer oportunidades para avaliação das atitudes e comportamentos dos entrevistados e obter dados não disponíveis em fontes bibliográficas. Foram utilizadas perguntas abertas ao pesquisado, afim de possuir maior liberdade para as respostas, e de uma forma mais qualitativa. Não foi utilizada a escala *Likert*, pois foi limitado o número de empresas e profissionais entrevistados.

Para entender-se o grau de prontidão das empresas pesquisadas, para implementação dos conceitos dos 9R's de sustentabilidade, foram comparadas as práticas e padrões de desempenho entre estas diferentes organizações. Destaca-se que, conforme Cauchick Miguel e

Sousa (2012), que o tipo de caso é longitudinal, pois investiga o presente momento de cada empresa pesquisada nas aplicações dos conceitos dos 9R's de sustentabilidade no seu processo.

Os resultados das entrevistas foram compilados na Tabela 5, que mostram de uma forma simples, o nível de prontidão destas empresas em aplicar políticas de sustentabilidade. Assim, foi considerado que acima de 20 pontos pode ser indicado para que as empresas possam seguir para próximos passos em direção a política de implementação dos 9R's. Abaixo de 10 pontos a análise tende a mostrar um caminho a ser percorrido, que aponta para falta de base sustentável e pouca participação, foco e cobrança da alta gerência em possuir um pensamento “verde”.

Tabela 5 - Compilação dos Resultados das Entrevistas

Dimensão	Empresas		
	VEA	BPM	ADB
Empresa Global (OLIVEIRA <i>et al</i> , 2018)	Sim	Sim	Não
Aplicabilidade dos conceitos da EC (MURRAY, 2017)	Sim	Sim	Sim
Conhecimento dos 9R's (POTTING, 2017)	Não	Não	Não
Política de descarte (BATISTA, 2020)	Sim	Sim	Sim
Utiliza material reciclado (EVONIK, 2021)	Não	Não	Não
Proj. de redução de insumos VA/VE (MP, Energia) (ROSA, 2018)	Sim	Não	Não
Processo de desvulcanização (LOPES, 2005)	Não	Não	Não
Certificação IBAMA (CONAMA, 2020)	Sim	Sim	Sim
Autorização CONAMA (CONAMA, 2021)	Sim	Sim	Sim
ISO 14000 (ABNT, 2016)	Sim	Não	Não
Política Corporativa de sustentabilidade (DALY, 2009)	Sim	Sim	Não
Rastreabilidade de processo (PFITZNER, 2019)	Sim	Sim	Sim
Auditoria ambiental em fornecedores (DOWLATSHAHI, 2000)	Sim	Sim	Não
Embalagens retornáveis (SHELDON, 2016)	Sim	Sim	Não
Auditoria ambiental em Distrib. / Revendedores (LEITE, 2002)	Não	Não	Não
Depto. de Assistência Técnica (SILVA e FIGUEIREDO, 2019)	Sim	Sim	Não
Rastreabilidade de Produto (LACY e RUTQVIST, 2016)	Não	Não	Não
Exigência de retorno pelo cliente (GHISELLINI <i>et al</i> 2016)	Não	Não	Não
Treinamento EC para colaboradores (SPITZECK, 2016)	Sim	Sim	Não
Depto. específico de Sustentabilidade (EHS) (ROSA <i>et al</i> , 2019)	Sim	Não	Não
Política de Premiação de ideias sustentáveis (ROSA <i>et al</i> , 2019)	Não	Não	Não
Engenharia de Inovação / Design (KORHONEN <i>et al</i> , 2018)	Não	Não	Não
Recuperação de Energia (POTTING, 2017)	Não	Não	Não
Barreiras transponíveis (ELKINGTON, 1998)	Sim	Sim	Não
Total	15	12	5

Fonte: Entrevista semiestruturada (autor)

4.3 RESULTADOS DA PRODUÇÃO DAS VEDAÇÕES

Dentre as três empresas estudadas afim de avaliar o nível de implementação de EC e 9R's, teve-se acesso a dados de produção e processo por parte de apenas uma, a empresa VEA (Vedações Elastoméricas Automotivas).

Inicialmente, destaca-se que nos últimos anos ocorreu um aumento da comercialização de vedações automotivas importadas de outras plantas da empresa VEA. Este fato implicou na redução de insumos e *scrap* (refugo) para confecção das peças no Brasil, que vêm diminuindo ano após ano. Por exemplo, no final do ano de 2019, em torno de 60% dos produtos que a empresa VEA comercializou foram de outras plantas, situada em outros países, o que colaborou com a diminuição do volume de borracha misturada localmente.

A Tabela 6 mostra a composição média dos custos envolvidos na produção das vedações elastoméricas no período compreendido entre 2017-2019, pela empresa VEA. Os dados mostram que as principais despesas de produção estão relacionadas à aquisição e processamento das matérias primas, juntamente com os custos de mão de obra, seguidos pelos gastos com energia elétrica.

Tabela 6 - Composição dos custos de produção das vedações elastoméricas.

Insumos	% no custo
Matérias primas	40%
Mão-de-Obra	40%
Energia Elétrica	15%
Despesas gerais de fabricação	5%
Total	100%

Fonte: Autor

A Tabela 7 mostra a quantidade de peças elastoméricas produzidas no ano de 2019, assim como as importadas pela VEA de suas próprias unidades localizadas em outros países, em que os anéis *orings* e as juntas de vedação representam a maior proporção. Os destacados como “outros” correspondem a peças customizadas e que não foram direcionadas para vedação, mas empregadas para outros sub-produtos, como passa-cabo, batentes, coxins, etc.

Tabela 7 - Quantidade de peças produzidas no ano de 2019

Linha de produtos	Peças produzidas	Peças importadas
<i>Orings</i>	5.788.904	9.073.959
Juntas de vedação	986.800	325.977
Retentores	0	55.256
Outros	425.318	1.355.464
Total	7.201.022	10.810.656

Fonte: Autor

A maioria dos artigos científicos relacionados as borrachas destinadas ao mercado automotivo, assim como os componentes / peças produzidas pela VEA são compostos com base em borracha nitrílica. Ainda, destaca-se que a VEA emprega maior quantidade de matérias primas no processo de produção das vedações automotivas, tendo como justificativa as perdas inerentes às etapas de conformação da borracha. Assim, os resíduos, ou as rebarbas relacionadas a conformação são descartadas, pois o processo de vulcanização impede que sejam reutilizadas para produção de novas peças. Desse modo, em torno de 50% da matéria prima e insumos misturados no processo VEA não é destinado ao produto final, e sim ao excesso de material necessário para a conformação dos itens por ela manufaturados. Ainda, a diferenciação de qual processo utilizar geralmente está ligada ao volume do item a ser manufaturado. Assim, quanto maior a quantidade da peça a ser fornecida, são empregadas máquinas injetoras que possuem alimentação automática de matéria-prima, que permite reduzir ciclo de produção. Por outro lado, a conformação pode ser feita de duas formas: a alimentação manual da matéria-prima nos moldes da prensa; ou por meio da conformação por extrusão.

Com relação às características, os anéis *orings* são produzidos em dimensões variadas, para as mais diversas aplicações. Tomando-se como base a variedade e quantidade de peças manufaturadas, o peso médio estimado é de 0,786 gramas por peça manufaturada. Portanto, considerando as 5.788.904 peças manufaturadas no ano de 2019 pela VEA, e considerando que 80% da borracha misturada foi direcionada para esta linha de produtos, então VEA misturou neste ano cerca 9,1 toneladas do composto elastomérico de borracha nitrílica. Assim, a Tabela 8 apresenta a quantidade de matérias primas e insumos empregados para a produção desta quantidade de anéis *orings*.

Tabela 8 - Proporção matérias primas empregadas na produção de anéis *orings*.

Matérias primas	Composto	Quantidade (t)
Elastômero base	50%	4,55
Cargas minerais e Negro de Fumo	40%	3,64
Aditivos (ativador, agente de fluxo)	5%	0,46
Aceleradores (enxofre)	5%	0,46
Total	100%	9,1

Fonte: Autor

Outro fator de destaque é com relação as perdas que ocorrem no processo de produção. Além da perda na forma dos resíduos gerados (galhos e rebarbas), existem dois tipos diferentes de refugo, ou *scrap*, que são as peças descartadas e reprovadas durante o processo, e as peças inservíveis resultantes da inspeção final dos produtos finalizados. Nesse caso, o número atualizado de *scrap* de inspeção na VEA gira em torno de 2,5% de todo o volume de borracha prensada, relacionada ao peso apenas dos *orings*; enquanto que o *scrap* de inspeção para o processo de compressão gira em torno de 3,2% de produtos, que serão descartados por não atingirem os critérios finais, tanto em dimensional quanto em acabamento.

Além disso, a borracha uma vez vulcanizada não pode ser novamente utilizada, pois o processo de alta temperatura empregada faz com que os componentes para vedações atinjam características físicas e químicas definidas, fazendo com que seja integral o descarte de todas as peças de *scrap*. Algumas outras empresas utilizam sobras de processos de borrachas para confecção de produtos não destinados a vedação, tendo-se em vista a necessidade do controle de fluxo e temperatura para um vedante devendo ser muito mais criterioso. Assim, por exemplo, peças como tapetes, buchas e componentes não vedantes, podem ser produzidas a partir do *scrap* como matéria-prima de borracha recuperada, nesse caso, podendo ser empregada no contexto da Economia Circular para borracha. A Tabela 9 mostra a representatividade do *scrap* de matérias-primas, empregadas na produção de anéis *orings* sem carga adicional, ou seja, *scraps* de peças recusadas / dispensadas pela VEA anualmente.

Tabela 9 - Total de borracha descartada para *Orings* pela empresa VEA

Ano	% Produtos manufaturados	Quantidade de borracha misturada (4,55 t/ANO)	Scrap de processo (2,5%) Kg	Scrap de inspeção (3,2%) Kg	Total de scrap (Kg)
2017	61%	2,78	71,28	91,90	163,2
2018	49%	2,23	57,18	73,72	130,9
2019	40%	1,82	46,67	60,17	106,8

Fonte: Autor

Portanto, a perda de 4,55 t/ano na forma de resíduos (galhos e rebarbas) no processo de produção, somadas a 0,11 t/ano de *scrap* totaliza 4,66 t/ano de material que precisa ser descartado de forma ambientalmente correta e sustentável. Assim, para este descarte, a empresa VEA subcontrata uma empresa de coleta de resíduos que revende esta borracha para outras empresas fabricantes de peças voltadas a tapetes, borrachas moídas e trituradas para a construção civil e demais aplicações, de modo que esta coleta segue todas as legislações regulatórias de descarte de resíduos.

Na manufatura das vedações elastoméricas, grande parte da energia consumida no processo de transformação ocorre nas etapas de injeção, compressão e na vulcanização da borracha por meio da aplicação de calor e pressão. Em geral, a vulcanização ocorre entre 150°C-180°C, em que o material passa do estado plástico para o elástico, alterando suas propriedades físicas e químicas, como dureza, resistência mecânica e elasticidade. Para isto, independentemente do processo, tanto as injetoras de borracha quanto as prensas de compressão utilizam resistências para geração de calor o que implica em grande consumo de energia elétrica. A VEA possui 28 prensas de platôs duplos totalizando 56 platôs e 8 injetoras. Cerca de 70% da energia elétrica total consumida da empresa é direcionada para o processo de moldagem e compressão.

As Prensas são da marca *Panstone*, modelos de compressão à vácuo com força de fechamento de 350 t e dois platôs de 700 x 700 mm, com uma potência de 55,41 KW e motor com 25 CV, que opera em dois turnos, completando assim 14 horas diárias de funcionamento. O consumo mensal de energia elétrica neste setor é de 477.856 KWh/mês. A empresa implantou projetos para redução de *scrap*, por meio do uso de novas alternativas de moldes e ferramentas necessárias para a conformação dos anéis de vedação, de modo que os moldes com processo de *flashless* (sem rebarbas) conseguem diminuir as perdas no *scrap* de processo em até 1% dentre os 2,5% perdidos, o que resulta na redução de 4.779 KWh/mês do consumo de energia, tendo-se em vista que em função do volume manufaturado, tem-se o valor de 0,083 KW mês/peça. Outro projeto visando a diminuição de *scrap* é no processo de extrusão e corte, utilizando novas extrusoras com corte a laser dos tubos de borracha e melhor controle de gramatura, que também contribui para redução do consumo estimado de energia de 15.000 KWh/mês.

5. DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Os estudos de caso mostram o pensamento das empresas em focar no imediatismo das ações de Sustentabilidade como redução de custo pontuais e trabalhos relacionados a ganhos de lucratividade. Todas as ações que necessitam de investimentos, mesmo que estes possam trazer ganhos futuramente, tendem a ser postergados ou colocados em suspensão temporária. Os gastos acabam sendo canalizados para manutenção do atingimento das questões legais apenas demonstrando ainda mais este tipo de pensamento. Ações como auditorias específicas, treinamentos, capacitação técnica voltada a Sustentabilidade e Certificações Ambientais são sempre mais ponderadas pelas empresas do que as ações imediatísticas mencionadas anteriormente.

5.1 CONCLUSÕES

A pesquisa bibliométrica permitiu verificar a lacuna de conhecimento com relação a literatura científica, e quando foi limitado o campo de pesquisa, sendo que 10 artigos foram encontrados e relacionados ao tema; e que ainda apontaram para o produto pneu. Portanto, observa-se que ainda existe um campo a ser percorrido relacionado ao tema 9R's de sustentabilidade, bem como para a reciclagem de produtos de borracha não classificados como pneumáticos.

No que tange aos dados de produção e de processo, observou-se que os anéis (*orings*) representam a maior proporção dentre as peças produzidas, assim como entre as importadas pela própria empresa de suas unidades no exterior.

Com relação aos resíduos da produção dos anéis *orings*, observou se que são gerados em torno de 2,5% de *scrap* de todo o volume de borracha prensada, enquanto que o *scrap* de inspeção é da ordem de 3,2% de produtos, que são descartados por não atingir os critérios finais, tanto dimensional quanto em acabamento. Esta proporção representa uma perda de 4,66 t/ano de material que precisa ser descartado de forma ambientalmente correta e sustentável, além do que parte destes resíduos são remanufaturados para produção de tapetes e borrachas moídas e trituradas para a construção civil.

Outro fator de destaque corresponde ao consumo médio mensal de energia elétrica que atinge em torno de 477.856 KWh/mês, sendo que as etapas de injeção, compressão e vulcanização são as responsáveis por maior proporção no consumo total.

Com relação ao nível de implantação dos conceitos de 9R's de sustentabilidade voltados à EC nas empresas fabricantes de peças de borracha para o mercado automotivo, ainda existe um campo muito grande de desenvolvimento e entendimento em relação ao que fazer com o excesso e refugo de borracha. Não existe ainda, com exceção dos pneumáticos, uma política pública de retorno de peças às empresas fabricantes fazendo com que as mesmas não tenham como enfoque projetos relacionados a reaproveitamento e sim apenas ao descarte regular. Nem mesmo as empresas globais possuem tal estrutura ou enfoque.

Ainda, os resultados deste estudo apontaram para a falta de dados científicos referentes às peças automotivas de vedações elastoméricas, que representam a segunda maior proporção de produtos, em que os pneumáticos possuem maior participação no mercado automotivo.

Também, este trabalho pode contribuir na forma de um procedimento inicial para implantação dos conceitos de sustentabilidade dentro das empresas produtoras de vedações elastoméricas. Ainda, destaca-se que sem o direcionamento estratégico e cobrança da alta gerência na implantação dos conceitos de sustentabilidade, dificilmente as empresas conseguirão evoluir no tema. Isto fica bem visível na diferenciação das ações das empresas globais que já possuem diretrizes por parte da alta administração de suas matrizes fora do País, comparada com as empresas locais que não possuem estas diretrizes.

5.2 LIMITAÇÕES E PESQUISAS FUTURAS

A primeira limitação encontrada foi com relação a inexistência de artigos científicos referentes às vedações elastoméricas, desde a produção, aplicações, e a interligação com os conceitos da sustentabilidade. Também, o trabalho teria grande dificuldade de ser desenvolvido caso o pesquisador não possuísse bom relacionamento com as empresas bem como conhecimento do produto pesquisado, de modo que a interação anterior com os entrevistados ajudou na coleta de dados para o estudo de caso.

Tendo-se em vista a importância dos 9R's da sustentabilidade e que ainda existem limitações técnicas para o processo de desvulcanização da borracha afim de reutilizá-las, então é muito importante o desenvolvimento de novas pesquisas para destinação ambientalmente correta dos *scraps* da produção das vedações elastoméricas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIQUIM.** Disponível em < <https://abiquim.org.br/>>. Acesso em 21 Abril 2021.
- ABNT. ISO 14040:2006. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. ABNT/CB-038. **Gestão Ambiental**, p. 1-21. 2006.
- ALLEN, P.; Future prospects for natural rubber: Production, Processing, End Uses. **Kautschuk und Gummi, Kunststoffe**, v. 35, n. 3, p. 189-193, 1982.
- ANIP.** Disponível em < <https://www.anip.org.br/institucional/>>. Acesso em 10 Mar 2021.
- ANG, K.; SAW, E.; HE, W.; DONG, X.; RAMAKRISHNA, S.; Sustainability framework for pharmaceutical manufacturing (PM): A review of research landscape and implementation barriers for circular economy transition. **Journal of Cleaner Production**, v. 280, n. 124264, 2021.
- ANTIKAINEN, M., UUSSITALO, T., KIVIKYTÖ-REPONEN, P.; Digitalisation as an Enabler of Circular Economy. **Procedia CIRP**, v. 73, p. 45-49, 2018.
- BALKAU, F., SONNEMANN, G.; Addressing Sustainability Issues through Enhanced Supply-Chain Management. **Supply Chain Management**, pp. 379-400, 2010.
- BARTELS, H.; Rubber in Non-Tire Automotive Applications. **Kautschuk Gummi Kunststoffe**, v. 44, n. 8, p. 786-787, 1991.
- BATISTA, A., SCHARDOSIN, F, BIER, C., (...), LAUTERT, H., DAROLD, D.; A Technological Alternative for Solid Waste Utilization with an Emphasis on Closed Production Cycles in Circular Economy. **2020 International Conference on Technology and Entrepreneurship - Virtual, ICTE-V 2020 9114371**, 2020.
- BIBLIOTECA DIGITAL.** Disponível em <bibliotecadigital.fgv.br/>. Acesso em 15 Fevereiro 2021.
- BLUEVISION BRASKEM.** Disponível em <<https://bluevisionbraskem.com/inteligencia/>>. Acesso em 21 Abril 2021.
- BOULDING, K. DAILY, H., FREEMAN, W.; The economy of the coming spaceship earth. **Geocities**, p. 1-8, 2003.
- BRADLEY, R., JAWAHIR, I., BADURDEEN, F.; A total life cycle cost model (TLCCM) for the circular economy and its application to post-recovery resource allocation. **Resources Conservation and Recycling**, v. 135, p. 141-149, 2018.
- BRASIL ESCOLA.** Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/curiosidades/tempo-decomposicao-lixo.htm>. Acesso em 10 de março de 2021.

BRYAN, W.; Goodyear – Greatest Name in Rubber. **Abstracts of papers the American Chemical Society**, v. 164, p. 11-12, 1972.

BRYMAN, Alan. **Research methods and organization studies**. 1a. ed., Ed. Routledge: London, 1995.

BURANOV, A., ELMURADOV, B.; Extraction and Characterization of Latex and Natural Rubber from Rubber-Bearing Plants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n.2, p. 734-743, 2010.

CATTANEO, T., GIORGI, E., NI, M., MANZONI, G.; Sustainable Development of Rural Areas in the EU and China: A Common Strategy for Architectural Design, Research Practice and Decision-Making. **Buildings**, v. 6, n. 4, DOI: 10.3390/buildings6040042, 2016.

COENEN, T., HAANSTRA, W., BRAAKSMA, J., SANTOS, J.; CEIMA: A framework for identifying critical interfaces between the Circular Economy and stakeholders in the lifecycle of infrastructure assets. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 155, p. 1-12, 2020.

CONAMA Resolução No 416. Publicada no DOU Nº 188, de 01/10/2009, p. 64-65. 2009.

CONAMA. Disponível em <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em 01 Mar 2021.

COTTEN, G.; Mixing of Carbon-Black with Rubber. Mechanism of Carbon-Black incorporation. **Rubber Chemistry and Technology**, v. 58, n.4, p. 774-784, 1985.

DADDI, T., NUCCI, B., IRALDO, F.; Using Life Cycle Assessment (LCA) to measure the environmental benefits of industrial symbiosis in an industrial cluster of SMEs. **Journal of Cleaner Production**, v. 147, p. 157-164, 2017.

DALY, H.; Sustainability is an objective value. **Principles of Environmental Sciences**. Capítulo de Livro, p. 483-490, 2009.

DEKIC, P., RADENKOVIC, G.; The influence of the share of recycled tire on the rubber mixture properties. **Hemijaska Industrja**, v. 64, n. 3, p. 247-252, 2010.

DICKENSON, J.; Brazil and the struggle for rubber – A study in environmental history. **Journal of Latin American Studies**, v. 20, p. 212-214, 1988.

DOKKI, E., MOHAMED, M., ALI, W.; Friction Coefficient and Wear of recycled Rubber Floor Mat. **KGK – Kautschuk Gummi Kunststoffe**, v. 67, n. 1-2, p. 27-32, 2014.

DOWLATSHAHI, S.; Developing a theory of reverse logistics. **Interfaces**, v. 30, n. 3, p. 143-155, 2000.

DRUMRNOND, D., LIN, A.; A greener metal sustainable packaging with foil-like UV curable coatings. **Flexo**, v. 34, n. 9, p. 74-77, 2009.

DUTT, B.; Synthetic Rubber for High-Temperature and Engineering Application. **Plastics & Rubber International**, v. 6, n. 4, p. 164-165, 1981.

ECO, Umberto. **Como se faz uma tese**. 14.ed. Ed. Perspectiva: São Paulo, 1998.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org>. Acesso em 21 de abril de 2021.

ELKINGTON, J. **Cannibals with Forks: the Triple Bottom Line of 21st Century Business**. 1a. ed. Ed. Capstone: Oxford, 1997.

ELKINGTON, J.; Partnerships from cannibals with forks: The triple bottom line of 21st-century business. **Environment Quality Management**, v. 8, n. 1, p. 37-51, 1998.

ENGBOR. Disponível em <<https://www.engbor.com.br/>>. Acesso em 15 Jan 2021.

EVONIK. Disponível em <<https://brasilalemanhanews.com.br/destaque/evonik-apresenta-aditivo-de-processo-para-reciclagem-eficiente-de-residuos-de-borracha-na-k2019/>>. Acesso em 20 Fev 2021.

FASSIO, F.; MINOTTI, B.; Circular Economy for Food Policy: The Case of the RePoPP Project in The City of Turin (Italy). **Sustainability**, v. 11, p. 1-17, 2019.

FERREIRA, P.; Pirólise rápida de borracha residual de pneus inservíveis (BRPI) utilizando catalisadores de Fe. **UFRGN – Centro de Ciências Exatas e da Terra – CCET Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais - PPGCEM Dissertação de Mestrado**, 120 páginas – p. 42-54, 2016.

FILHO, J., LADCHUMANANANDASIVAM, R.; Estudo do reaproveitamento e regeneração da borracha vulcanizada de pneus inservíveis. **Anais do 7o Congresso Brasileiro de Polímeros**, p. 765-767, 2003.

GEISSDOERFER, M., SAVAGET, P., BOCKEN, N., HULTINK, E.; the Circular Economy – A new sustainability paradigm? **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 757-768, 2017.

GHISELLINI, P.; A review on Circular Economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 114, p. 11-32, 2016.

GUINÉE, J., HEIJUNGS, R., HUPPES, G., EKVAL, L.; Life cycle assessment: Past, present, and future. **Environmental Science and Technology**, v. 45, n. 1, p. 90-96, 2011.

HADADI, V.; Effect of concentration and size of crumb rubber on rheological and flexibility properties of bitumen. **Iranian Journal of Polymer Science and Technology**, v. 32, n. 6, p. 475-483, 2020.

HO, Y., LWIN, A., LEE, P.; Recycling of scrap tires for use in asphalt concrete in Singapore. **8th International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements, MAIREPAV 2016**, Código 124664, p. 125-133, 2016.

HORNE S.; The History of Synthetic Rubber from Genesis to Revelation. **Abstracts of papers of the American Chemical Society**, v. 188, p. 33, 1984.

HURLEY, P.; History of Natural Rubber. **Journal of Macromolecular Science: Part A – Chemistry**, v. 15, n. 7, p. 1279-1287, 1981.

HYSTORY OF INFORMATION. Disponível em < <https://www.Historyofinformation.com/detail.php?id=1291/>>. Acesso em 20 Fev 2021.

IBGE. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em 20 Dez 2020.

IDEIA CIRCULAR. Disponível em <<https://www.ideiacircular.com/economia-circular/>>. Acesso em 15 Jan 2021.

INBBOR. Disponível em < <https://www.inbbor.com.br/>>. Acesso em 15 Jan 2021.

KIRCHHERR, J., REIKE, D., HEKKERT, M.; Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 127, p. 221-232, 2017.

KLEPS, T., PIASKIEWICZ, M., PARASIEWICZ, W.; Use of thermogravimetry in the study of rubber devulcanization. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 60, n. 1, p. 271-277. 2000.

KORHONEN, J., HONKASALO, A., SEPPÄLÄ, J.; Circular Economy: The Concept and its Limitations. **Ecological Economics**, v. 143, p. 37-46, 2018.

LACY, P., RUTQVIST, J.; **Waste to wealth: The circular economy advantage**. 1º ed., Ed. Paulgrave Macmillan: New York. p. 1-264, 2016.

LANSINK, A.; Challenging Changes – Connecting Waste Hierarchy and Circular Economy, **Waste Management and Research**, v. 36, n. 10, p. 872, 2018.

LEE, R., KELLER, F.; A concept to support the transformation from a linear to circular carbon economy: Net zero emissions, resource efficiency and conservation through a coupling of the energy, chemical and waste management sectors. **Clean Energy**, v. 1, n. 1, p. 102-113, 2017.

LEITE, P.; Logística Reversa: Nova Área da Logística Empresarial. **Revista Tecnológica**, p. 1-4, 1ª parte. 2002.

LEITE, P.; Logística Reversa: Nova Área da Logística Empresarial. **Revista Tecnológica**, p. 5-6, 2ª parte. 2003.

LIBRIANI, A.; Food processing and automotive manufacturing: An environmental friendly approach to synthetic rubber. **SAE 2014 World Congress and Exhibition; SAE Technical Papers**, v. 1, 2014.

LIU, Y., YANG, W., HAO, M.; Research on mechanical performance of roof tiles made of tire powder and waste plastic. **Advanced Materials Research**, v. 87-88, p. 329-332, 2010.

Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado / Coordenação geral André Vilhena. – 4. ed. – São Paulo (SP): **CEMPRE**, v. 316, p. 185-188, 2018.

LOISEAU, E., ROUX, P., JUNQUA, G., MAAUREL, P., BELLON-MAUREL, V. Adapting the LCA framework to environmental assessment in land planning. International. **Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 8, p. 1533-1548, 2013.

LOPES, G., POÇOS, J. RIEDER, E.; Reciclagem termoquímica de borracha de silicone. **Revista de Iniciação Científica da ULBRA**, p. 263-267, 2005.

MARCONI, M., LAKATOS, E.; **Fundamentos de metodologia científica**. 5.ed., Ed. Atlas: São Paulo, 2003.

MARTINS, C.; Trabalhadores na reciclagem do lixo: dinâmicas econômicas, sócio-ambientais e políticas na perspectiva do empoderamento. **Programa de Pós-Graduação em Sociologia**. UFRGS - Instituto de Filosofia e Ciências Humanas. 2003.

MCDOWALL, W., GENG, Y., HUANG, B., (...), KEMP, R., DOMÉNECH, T.; Circular Economy Policies in China and Europe. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 651-661. 2017.

MICHELIN. Disponível em <<https://www.miles-and-more.com/de/en/program/partners/michelin.html>>. Acesso em 01 Fev 2021.

MICHELIN. Disponível em <<https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=1291/>>. Acesso em 20 Fev 2021.

MIGUEL, C., SOUSA, R.; **O Método do Estudo de Caso na Engenharia de Produção**. Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. 2.^a ed., cap. 6, p. 131-148. 2012.

MORAWETZ, H.; History of rubber research. **Rubber Chemistry and Technology**, v. 73, n. 3, p. 405-426, 2000.

MORTON, M.; History of Synthetic Rubber. **Abstracts of papers of the American Chemical Society**, v. 179, p. 27, 1980.

MOVAHED, S., ANSARIFAR, A., KARBALAEI, S., et al; Devulcanization and Recycling of Waste Automotive EPDM Rubber Powder by Using Shearing Action and Chemical

Additive. **Progress in Rubber Plastics and Recycling Technology**, v. 31, n. 2, p. 87-116, 2015.

MURRAY, A., SKENE, K., HAYNES, K.; The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. **Journal of Business Ethics**, v. 140, n. 3, p. 369-380, 2017.

NETO, T., BATISTA, N., RICARDO, J.; The city of Manaus and the crisis of rubber: a brief history analysis. **Estação Científica UNIFAP**, v. 6, n. 3, p. 9-27, 2016.

NIHMAT, A., RAMESAN, M.; Comparative evaluation of oil resistance, dielectric properties, AC conductivity, and transport properties of nitrile rubber and chlorinated nitrile rubber. **Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology**, ISSN: 14777606, 2020.

OLIVEIRA, S., COSTA, M., SCHOENEBOOM, J., VINAS, R., MEDEIROS, G.; A Socio-economic efficiency analysis of integrated and non-integrated crop-livestock-forestry systems in the Brazilian Cerrado based on LCA. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 1460-1471, 2018.

ONOKPISE, O.; Natural rubber, *Hevea brasiliensis*. Mull. Arg., germplasm collection in the Amazon basin, Brazil: A retrospective. **Economic Botany**, v. 58, n. 4, p. 544-555, 2004.

O'REILLY, C., GÖRANSSON, P., POTTING, J., CAMERON, C., WENNHAGE, P.; Life-cycle energy optimisation for sustainable vehicle design. **FISITA 2014 World Automotive Congress – Proceedings**, 2014.

PATTON, M.; Qualitative evaluation and research methods. **Designing Qualitative Studies**, p. 169-186, 1990.

PAVFACIL. Disponível em <<https://www.pavfacil.com.br/>>. Acesso em 20 Dez 2020.

PFITZNER, R.; LCA of rubber profiles - Part of the manufacturer in the life cycle and possibilities to optimize the manufacturing process based on LCA-results. **Conference on Life Cycle Engineering of Passenger Cars - Resources, Production, Usage, Recycling**, v. 1307, p. 165-174, 1996.

PHANI, D., VARADAJULU, R., THOMAS, A., MURALEEDHARAN, V., NAIR, R.; Acoustic and ultrasonographic characterization of polychloroprene, beeswax, and carbomer-gel to mimic soft-tissue for diagnostic ultrasound. **Physical and Engineering Sciences in Medicine**, v. 43, n. 4, p. 1171-1181, 2020.

PIETROSANTI, S., HOLDERBAUM, W., BECERRA, V.; Optimal power management strategy for energy storage with stochastic loads. **Energies**, v. 13, doi 10.3390/en9030175, 2016.

POLZER, V., PISANI, M., PERSSON, K.; The importance of extended producer responsibility and the national policy of solid waste in Brazil. **International Journal of Environment and Waste Management**, v. 18, n. 2, p. 101-119, 2016.

POTTING, J., HEKKERT, M., WORRELL, E., HANEMAAIJER, A.; Circular Economy: Measuring innovation in the product chain. **PBL Netherlands Environmental Assessment Agency**, v. 46, p. 4-6, 2017.

RECICLANIP. Disponível em <<https://www.reciclanip.org.br/>>. Acesso em 14 Fev 2021.

ROBERT, K., SCHMIDT-BLEEK, B., DE LANDEREL, J., HAWKEN, P., WACKERNAGEL, M.; Strategic sustainable development - Selection, design and synergies of applied tools. **Journal of Cleaner Production**, v. 10, n. 3, p. 197-214, 2002.

ROSA, A., ABDALA, E., CEZARINO, L.; Sustainable practices and the relationship with suppliers in SSCM: A case study in wholesale. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 16, n. 3, p. 413-423, 2019.

ROSA, P., SASSANELLI, C., TERZI, S.; Circular economy in action: Uncovering the relation between circular business models and their expected benefit. **Proceedings of the Summer School Francesco Turco**, p. 228-235, 2018.

ROSA, R., GENESCA, M., AMOROS, J., .; Comparison of the mechanical and dielectric characteristics of various polymers mixed with ground tired rubber (GTR) for its application as industrial work footwear insulator. **Dyna (Spain)**, v. 95, n. 1, p. 1-9, 2020.

SABU, T.; VINOD, K., JOBI, M.; Life history, aggregation and dormancy of the rubber plantation litter beetle, *Luprops tristis*, from the rubber plantations of moist south Western Ghats. **Journal of Insect Science**, v. 8, n. 1, 2008.

SEIDEL-STERZIK, H., MCLAREN, S., GARNEVSKA, E.; Effective Life Cycle Management in SMEs: Use of a Sector-Based Approach to Overcome Barriers. **Sustainability**, v. 10, cap. 2, n. 359, 2018.

SELLTIZ, C., JOHODA, M., DEUTSEH, M., COOK, S.; **Métodos de pesquisa nas relações sociais**. 1ª ed., Ed. EPU: São Paulo, 687p., 1974.

SEPULVEDA, J., Banguera, L.; A model for design of a Reverse Logistics Network under extended producer responsibility. **24th International Conference on Production Research (ICPR). DE tech Transactions on Engineering and Technology Research**, p. 38-43. 2017.

SHELDON, R. Biocatalysis and Green Chemistry. **Green Biocatalysis**, cap. 1, p. 1-15. 2016.

SHEN, K., LI, L., WANG, J.; Circular Economy Model for recycling waste resources under government participation: A case study in industrial waste water circulation in China. **Technological and Economic Development of Economy**, v. 26, n. 1, p. 21-47, 2020.

SILVA, M., FIGUEIREDO, M.; Practicing sustainability for responsible business in supply chains. **Journal of Cleaner Production**, v. 251, DOI: 10.1016/j.jclepro.2019. 119621, 2020.

SMIL, V.; December 1888: Dunlop Patents Inflatable Tire. **IEEE Spectrum**, v. 55, n. 12, p. 23-23. 2018.

SØRENSEN, P.; From the linear economy to the circular economy: A basic model. **FinanzArchiv**, v. 74, n. 1, p. 71-87, 2018.

SPITZECK, H., ALT, E.; Improving environmental performance through unit-level organizational citizenship behaviors for the environment: A capability perspective. **Journal of Environmental Management**, v. 182, p. 48-58, 2016.

STAHEL, W.; Circular economy. **Nature**, v. 531, p. 435-438, 2016.

SUSTENTARQUI. Disponível em <<https://sustentarqui.com.br/>>. Acesso em 15 Jan 2021.

TIBBEN-LEMBKE, R.; Strategic use of the secondary market for retail consumer goods. **California Management Review**, v. 46, n. 2, p. 90, 2004.

WANG, T., XIAO, F., ZHU, X., (...), WANG, J., AMIRKHANIAN, S.; Energy consumption and environmental impact of rubberized asphalt pavement. **Journal of Cleaner Production**, v. 180, p. 139-158. 2018.

YIN, R.; Case Studies. **International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences**. 2a. Edição, p. 194-201, 2015.

YOUSSEF, H., YOSHII, F., MAKUUCHI, K., et al.; Physical properties of Styrene-Butadiene Rubber radiation vulcanized with functional monomers. **Journal of Macromolecular Science-Pure and Applied Chemistry**, v. A30, p. 315-326, 1993.

ZHOU, G., CAO, Z., QI, F., et al; TOC-based Approach on A Decision-Making Model of Recycling Reverse Logistics. **IEEE/SOLI'2008: Proceedings of 2008 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics**, v. 1, p. 1170-1174. 2008.

ZOFOLLI, L.; CORTI, E.; MORO, D., et al; Zero-Dimensional Model for Dynamic Behavior of Engineered Rubber in Automotive Applications. **72nd Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association (ATI)**. **Energy Procedia**, v. 126, p. 939-946, 2017.

APÊNDICE A - Entrevista Semi-estruturada 1 – Questionário na empresa VEA (Vedações Elastoméricas Automotivas S/A)

Data: 02 de Novembro de 2020

Entrevistado: Sr. Marcio (Gerente Geral)

Entrevistador: Carlos Augusto Borges da Silva

1) Qual a origem (nacionalidade) da empresa? Possui uma matriz?

R: Origem Americana. A matriz fica no Estado de Ohio, Estados Unidos.

2) Conhece os conceitos de Economia Circular? É aplicado algum conceito na Empresa?

R: Sim. Os conceitos que aplicamos aqui estão baseados no descarte correto e que não afete o Meio Ambiente.

3) Já ouviu falar do termo 9R?

R: Não.

4) A empresa segue alguma política de descarte de excedente de elastômero?

R: Sim. Como já comentei anteriormente, seguimos a legislação de descarte de resíduos de borracha. Além disso, a VEA segue rigorosamente as práticas de regulamentação ambiental já que é homologada ISO 14000.

5) Na composição dos compostos elastoméricos da empresa, é utilizado material reciclado em alguma das formulações? Em caso negativo, por quê?

R: Não. As nossas formulações, além de manterem um alinhamento global, não possui borracha reciclada em sua composição. Acredito que ainda não temos tecnologia efetiva para este tipo de utilização.

6) Existem projetos de VA/VE (*Value Analysis and Value Engineering*) realizados pela empresa?

R: Sim. Todos os projetos *Green Belt* que implantamos e custeamos junto a Engenharia de Processo são baseados em projetos VA/VE como redução de matéria-prima e redução de Energia Elétrica.

7) Você conhece o processo de desvulcanização? Em caso afirmativo, a empresa utiliza esta técnica internamente?

R: Não... e também não utilizamos.

8) A Empresa possui certificação do IBAMA?

R: Sim.

9) A Empresa possui autorização de funcionamento conforme portaria do CONAMA?

R: Sim... como disse anteriormente, seguimos todas as legislações vigentes no que tange a políticas de descarte.

10) A Empresa é Certificada ISO 14000?

R: Sim. Inclusive passamos pela recertificação dois meses atrás.

11) Possui alguma política Corporativa redigida e formalizada referente a Sustentabilidade?

R: Sim. Existe uma política global formal e disseminada pela Corporação.

12) Os produtos finais confeccionados pela Empresa possuem rastreabilidade durante o processo de manufatura?

R: Sim. Possuímos um sistema de código de barras desde do início do processo de mistura da borracha até a alocação do item manufaturado no estoque.

13) É mantida uma auditoria ambiental em fornecedores / parceiros?

R: Sim. Existe uma política Corporativa de *Supply Chain* onde um dos tópicos é justamente a auditoria ambiental em nossos fornecedores. Caso estes fornecedores não possuam políticas ambientais confiáveis ou um plano de implementação, o Gerente de *Supply Chain* tem total autonomia para a troca da cadeia de fornecimento.

14) A Empresa trabalha com embalagens retornáveis?

R: Sim. Geralmente embalagem KLT fornecidas pelos nossos próprios clientes.

15) É mantida uma auditoria ambiental em Distribuidores / Revendedores?

R: Não. Apesar de possuímos uma cartilha de ações para abertura de novos distribuidores autorizados, mas não me recordo de possuir um tópico específico para este tema.

16) Dentro da Engenharia, existe um departamento específico de Assistência Técnica / Pós-Venda?

R: Sim. Quem é responsável por isto aqui na Empresa é a Engenharia de Aplicação do Produto que se reporta diretamente ao Departamento de Vendas.

17) Os produtos finais confeccionados pela Empresa possuem rastreabilidade do produto após a comercialização?

R: Sim. A responsabilidade nossa é até a abertura da embalagem no cliente final.

18) Existe alguma exigência / legalização nos clientes atendidos pela Empresa relacionada ao retorno dos produtos comercializados após seu uso?

R: No momento, nenhum cliente possui alguma exigência de retorno de material para descarte à origem que somos nós.

19) Existe treinamento / divulgação dos conceitos de Economia Circular aos colaboradores por parte da Empresa.

R: Uma vez por mês fazemos uma reunião informativa com 100% de nossos colaboradores incluindo os da área fabril onde a abertura é realizada pelo nosso Departamento de Segurança do Trabalho que também é responsável pelas ações de EHS da Companhia.

20) Existe um Departamento específico de EHS (*Environment, Health and Safety*) na Empresa?

R: Em termos sim já que é uma das obrigações do Departamento de Segurança do Trabalho conforme mencionado anteriormente.

21) A Empresa possui algum programa de Premiação voltado aos colaboradores referente a novas ideias relacionadas ao tema de Sustentabilidade?

R: Os programas de Premiação são voltados a redução de custo já que a premiação tem que necessariamente ser contabilizada... sendo assim, a resposta seria não... não temos uma premiação exclusiva para novas ideias relacionadas a Sustentabilidade exclusivamente.

22) Existe um departamento de Engenharia específico relacionado a Inovação e novos Design relacionados aos conceitos de Economia Circular?

R: Nossa Engenharia de Produto é focada em novos desenvolvimentos baseados nos requerimentos de nossos clientes e não me recordo de termos um tópico no APQP relacionado à Economia Circular.

23) No âmbito do descarte de produtos / retorno à origem, a Empresa utiliza algum método ou processo de geração de energia baseado neste excedente?

R: Não.

24) Na sua opinião, todas as barreiras existentes para implantação dos conceitos de Economia Circular / 9R's da Sustentabilidade são transponíveis?

R: Acredito que sim... já que todas as limitações de implantações de novas ferramentas têm que ser, necessariamente, abraçadas pela alta gerência... caso contrário, a história já nos mostrou que projetos como esse são colocados *on hold*.

APÊNDICE B - Entrevista Semi-estruturada 2 – Questionário na empresa BPM (Borrachas para o Mundo S.A.)

Data: 10 de Dezembro de 2020

Entrevistado: Sr. Antônio (Gerente Industrial)

Entrevistador: Carlos Augusto Borges da Silva

1) Qual a origem (nacionalidade) da empresa? Possui uma matriz?

R: Origem Européia... mais precisamente na Suécia.

2) Conhece os conceitos de Economia Circular? É aplicado algum conceito na Empresa?

R: Sim. Possuímos uma política robusta de descarte de material.

3) Já ouviu falar do termo 9R?

R: Não... é relacionado ao o quê??

4) A empresa segue alguma política de descarte de excedente de elastômero?

R: Sim. Sub contratamos uma empresa específica de coleta de resíduos que dá a devida destinação final ao material.

5) Na composição dos compostos elastoméricos da empresa, é utilizado material reciclado em alguma das formulações? Em caso negativo, por quê?

R: Não... aliás é terminantemente proibido... tanto pela Corporação que possui as formulações originais quanto pelo nosso laboratório de Pesquisa & Desenvolvimento. Sabemos que este tipo de material reciclado não atende nossas especificações.

6) Existem projetos de VA/VE (*Value Analysis and Value Engineering*) realizados pela empresa?

R: Infelizmente não... apesar de conhecer um pouco a ferramenta. Sei da existência de projetos de redução de insumos em nossa Matriz na Suécia...

7) Você conhece o processo de desvulcanização? Em caso afirmativo, a empresa utiliza esta técnica internamente?

R: Já ouvi falar... porém não utilizamos nada do tipo.

8) A Empresa possui certificação do IBAMA?

R: Sim.

9) A Empresa possui autorização de funcionamento conforme portaria do CONAMA?

R: Sim.

10) A Empresa é Certificada ISO 14000?

R: A nossa planta aqui no Brasil não possui a certificação ISO 14000... novamente apenas nossa matriz na Suécia possui certificação específica.

11) Possui alguma política Corporativa redigida e formalizada referente a Sustentabilidade?

R: Sim. Tentamos implantar as mesmas diretrizes que a nossa Matriz na Suécia nos sugere juntamente com as outras plantas ao redor do Mundo, porém sabemos que a legislação aqui no Brasil quando comparada com outros Países ainda é muito específica.

12) Os produtos finais confeccionados pela Empresa possuem rastreabilidade durante o processo de manufatura?

R: Sim. Utilizamos um sistema de *card box* que acompanha nossas peças durante o processo fabril. É colocada junto a caixa KLT junto com o lote de produção que acompanha todas as etapas do processo. Infelizmente para produtos de borracha temos mais dificuldades de implantarmos sistema *one-piece-flow* já que temos que fazer de batelada devido o processo.

13) É mantida uma auditoria ambiental em fornecedores / parceiros?

R: Sim. Existe um *check list* que enviamos aos nossos fornecedores como parte do processo de homologação de novos fornecedores. Este processo é comandado pelo departamento de Logística da empresa.

14) A Empresa trabalha com embalagens retornáveis?

R: Sim. Temos clientes que exigem este tipo de procedimento.

15) É mantida uma auditoria ambiental em Distribuidores / Revendedores?

R: Não. Não temos esta ingerência em nossos clientes.

16) Dentro da Engenharia, existe um departamento específico de Assistência Técnica / Pós-Venda?

R: Sim. Nosso time de Vendas é treinado tecnicamente para também dar suporte Pós-Venda aos nossos clientes.

17) Os produtos finais confeccionados pela Empresa possuem rastreabilidade do produto após a comercialização?

R: Não. Apesar que temos rastreabilidade no processo e no produto desde a mistura até armazenagem em nosso estoque onde chamamos este código de rastreabilidade de número de *batch*, não temos rastreabilidade após a comercialização.

18) Existe alguma exigência / legalização nos clientes atendidos pela Empresa relacionada ao retorno dos produtos comercializados após seu uso?

R: que me recorde não... nenhum cliente retorna peças a nós para destruição ou destinação ou coisas do tipo.

19) Existe treinamento / divulgação dos conceitos de Economia Circular aos colaboradores por parte da Empresa.

R: Sim. Temos uma comunicação interna que é o nosso “Jornal Mensal” que demonstra ações de sustentabilidade e inclusão social além, é óbvio, de notícias inerentes ao nosso negócio.

20) Existe um Departamento específico de EHS (*Environment, Health and Safety*) na Empresa?

R: Infelizmente não... não chegamos nesse nível de exigência ainda.

21) A Empresa possui algum programa de Premiação voltado aos colaboradores referente a novas ideias relacionadas ao tema de Sustentabilidade?

R: Apenas programas de premiação voltadas à redução de custo. Se as novas ideias conseguirem concatenar os dois tópicos, melhor...

22) Existe um departamento de Engenharia específico relacionado a Inovação e novos Design relacionados aos conceitos de Economia Circular?

R: Não já que desenvolvemos nossos produtos baseados nos requisitos do cliente e não possuímos nenhuma ingerência durante o processo de desenvolvimento baseado em desenho e especificações de nossos clientes.

23) No âmbito do descarte de produtos / retorno à origem, a Empresa utiliza algum método ou processo de geração de energia baseado neste excedente?

R: Como disse anteriormente, não possuímos clientes que retornam produtos a nossa base e sendo assim não possuímos nenhum tipo de programa de reutilização de produtos os excedentes para geração de energia... Na verdade, nem sei se isto seria possível devido a um *gap* de tecnologia que ainda existe...

24) Na sua opinião, todas as barreiras existentes para implantação dos conceitos de Economia Circular / 9R's da Sustentabilidade são transponíveis?

R: Difícil dizer... mas acredito que sim desde que exista uma política Corporativa alinhada em todos os lugares do Mundo... e seja feita de cima para baixo... alta gerência...

APÊNDICE C - Entrevista Semi-estruturada 3 – Questionário na empresa ADB (Artefatos de Borracha Ltda.)

Data: 21 de Janeiro de 2021

Entrevistado: Sr. Marcos (Diretor Geral – Sócio Proprietário e Fundador)

Entrevistador: Carlos Augusto Borges da Silva

1) Qual a origem (nacionalidade) da empresa? Possui uma matriz?

R: Nossa Empresa é nacional.

2) Conhece os conceitos de Economia Circular? É aplicado algum conceito na Empresa?

R: Sim. A política de descarte de material excedente e refugo é seguida conforme legislação brasileira vigente.

3) Já ouviu falar do termo 9R?

R: Não. O que é 9R??

4) A empresa segue alguma política de descarte de excedente de elastômero?

R: Como disse anteriormente, sim... seguimos a legislação vigente.

5) Na composição dos compostos elastoméricos da empresa, é utilizado material reciclado em alguma das formulações? Em caso negativo, por quê?

R: Não... se existe uma coisa que nunca fui adepto é a utilização de borracha reciclada em nossas formulações. Conheço muitas empresas aqui perto que utilizam e acredito que fazem isso para baratear o produto afetando aspectos de qualidade importantes no produto final.

6) Existem projetos de VA/VE (*Value Analysis and Value Engineering*) realizados pela empresa?

R: Não... aliás não conheço muito bem esse termo... somente ouvi falar... nossa Engenharia de Processo é focada na melhoria de nossos produtos durante o processo de produção.

7) Você conhece o processo de desvulcanização? Em caso afirmativo, a empresa utiliza esta técnica internamente?

R: Sim... mas ainda é muito caro... o que torna inviável para nós visto o mercado tão competitivo que possuímos aqui n Brasil... aliás sei que o processo de desvulcanização não consegue replicar 100% das características originais do composto.

8) A Empresa possui certificação do IBAMA?

R: Sim.

9) A Empresa possui autorização de funcionamento conforme portaria do CONAMA?

R: Sim.

10) A Empresa é Certificada ISO 14000?

R: Não... já tentamos no passado, mas quando fui verificar a questão econômica de implantação, voltei para trás... ainda não dá... apesar de alguns clientes estarem exigindo esse tipo de Certificação.

11) Possui alguma política Corporativa redigida e formalizada referente a Sustentabilidade?

R: Não.

12) Os produtos finais confeccionados pela Empresa possuem rastreabilidade durante o processo de manufatura?

R: Sim. Por sermos certificados IATF 16949, somos obrigados a ter... implantamos o sistema de cartões que acompanham o lote de peças desde a mistura até a separação e faturamento.

13) É mantida uma auditoria ambiental em fornecedores / parceiros?

R: Não.

14) A Empresa trabalha com embalagens retornáveis?

R: Não. Já tentamos no passado, mas os próprios clientes que nos exigem isso acabam se complicando no controle e envio de embalagens. Utilizamos hoje sacos plásticos e caixas de papelão para envio de nossas mercadorias.

15) É mantida uma auditoria ambiental em Distribuidores / Revendedores?

R: Não trabalhamos com Distribuidores e Revendedores.

16) Dentro da Engenharia, existe um departamento específico de Assistência Técnica / Pós-Venda?

R: Não. Quando temos problemas em nossos clientes, acionamos o nosso Departamento de Qualidade que é responsável por estas tarefas.

17) Os produtos finais confeccionados pela Empresa possuem rastreabilidade do produto após a comercialização?

R: Não. A partir do momento que nosso cliente final monta nosso produto no equipamento deles, não temos como nos responsabilizar ou identificar posteriormente nossas peças.

18) Existe alguma exigência / legalização nos clientes atendidos pela Empresa relacionada ao retorno dos produtos comercializados após seu uso?

R: Não.

19) Existe treinamento / divulgação dos conceitos de Economia Circular aos colaboradores por parte da Empresa.

R: Não.

20) Existe um Departamento específico de EHS (*Environment, Health and Safety*) na Empresa?

R: Não... aliás não conheço muito bem esse termo EHS...

21) A Empresa possui algum programa de Premiação voltado aos colaboradores referente a novas ideias relacionadas ao tema de Sustentabilidade?

R: Não.

22) Existe um departamento de Engenharia específico relacionado a Inovação e novos Design relacionados aos conceitos de Economia Circular?

R: Não.

23) No âmbito do descarte de produtos / retorno à origem, a Empresa utiliza algum método ou processo de geração de energia baseado neste excedente?

R: Não... não temos equipamento de trituração internamente e nem alguma espécie de caldeira para geração de energia com a queima de resíduos.

24) Na sua opinião, todas as barreiras existentes para implantação dos conceitos de Economia Circular / 9R's da Sustentabilidade são transponíveis?

R: Existe sim... principalmente na questão de investimento por sermos uma empresa de capital nacional.

ANEXO A – Folder família ISO 14000



ISO in brief

ISO is the International Organization for Standardization. It has a membership of 160 national standards institutes from countries large and small, industrialized, developing and in transition, in all regions of the world. ISO's portfolio of more than 18 000 standards provides practical tools for all three dimensions of sustainable development: economic, environmental and societal.

ISO standards for business, government and society as a whole make a positive contribution to the world we live in. They ensure vital features such as quality, ecology, safety, economy, reliability, compatibility, interoperability, conformity, efficiency and effectiveness. They facilitate trade, spread knowledge, and share technological advances and good management practice.

ISO develops only those standards that are required by the market. This work is carried out by experts on loan from the industrial, technical and business sectors which have asked for the standards, and which subsequently put them to use. These experts may be joined by others with relevant knowledge, such as representatives of government agencies, testing laboratories, consumer associations and academia, and by nongovernmental or other stakeholder organizations that have a specific interest in the issues addressed in the standards.

Published under the designation of International Standards, ISO standards represent an international consensus on the state of the art in the technology or good practice concerned.

ISO and the environment

ISO has a multi-faceted approach to meeting the needs of all stakeholders from business, industry, governmental authorities and nongovernmental organizations, as well as consumers, in the field of the environment.

1. ISO has developed standards that help organizations to take a proactive approach to managing environmental issues: the ISO 14000 family of environmental management standards which can be implemented in any type of organization in either public or private sectors – from companies to administrations to public utilities.
2. ISO is helping to meet the challenge of climate change with standards for greenhouse gas accounting, verification and emissions trading, and for measuring the carbon footprint of products.
3. ISO develops normative documents to facilitate the fusion of business and environmental goals by encouraging the inclusion of environmental aspects in product design.
4. ISO offers a wide-ranging portfolio of standards for sampling and test methods to deal with specific environmental challenges. It has developed some 570 International Standards for the monitoring of such aspects as the quality of air, water and the soil, as well as noise, radiation, and for controlling the transport of dangerous goods. They also serve in a number of countries as the technical basis for environmental regulations.

Environmental management and sustainability

Organizations around the world, as well as their stakeholders, are becoming increasingly aware of the need for environmental management, socially responsible behaviour, and sustainable growth and development.

Accordingly, as the proactive management of environmental aspects converges with enterprise risk management, corporate governance, and sound operational and financial practices and performance, International Standards are becoming increasingly important for organizations to work towards common and comparable environmental management practices to support the sustainability of their organizations, products, and services.

Furthermore, governments and regulatory bodies are increasingly looking to ISO standards to provide a framework to ensure alignment and consistency both nationally and internationally.

ISO International Standards and related normative documents provide consumers, regulators and organizations in both public and private sectors with environmental tools with the following characteristics:

- ✓ **Technically credible** as ISO standards represent the sum of knowledge of a broad pool of international expertise and stakeholders
- ✓ **Fulfill stakeholder needs** as the ISO standards development process is based on international input and consensus
- ✓ **Facilitate the development of uniform requirements** as the ISO standards development process is built on participation by its national member institutes from all regions of the world
- ✓ **Promote efficiencies** when the same standards are implemented across markets, sectors, and/or jurisdictions
- ✓ **Support regulatory compliance** when the standards are used to meet market and regulatory needs
- ✓ **Enhance investor confidence** because the standards can be used for conformity assessment such as by audit, inspection or certification. This enhances confidence in products, services and systems that can be demonstrated to conform to ISO standards and provides practical support for regulation.



ISO/TC 207, *Environmental management*

Origins

ISO technical committee **ISO/TC 207, *Environmental management***, is responsible for developing and maintaining the ISO 14000 family of standards. The committee's current portfolio consists of 21 published International Standards and other types of normative document, with another nine new or revised documents in preparation.

ISO/TC 207 was established in 1993, as a result of ISO's commitment to respond to the complex challenge of "sustainable development" articulated at the 1992 United Nations Conference on Environment and Development in Rio de Janeiro.

It also stemmed from an intensive consultation process, carried out within the framework of the **ISO Strategic Advisory Group on Environment (SAGE)**. SAGE was established in 1991 and brought together representatives of a variety of countries and international organizations – a total of more than 100 environmental experts – who helped to define how International Standards could support better environmental management.

As a result, the ISO 14000 family of standards for environmental management was launched to provide a practical toolbox to assist in the implementation of actions supportive to sustainable development.

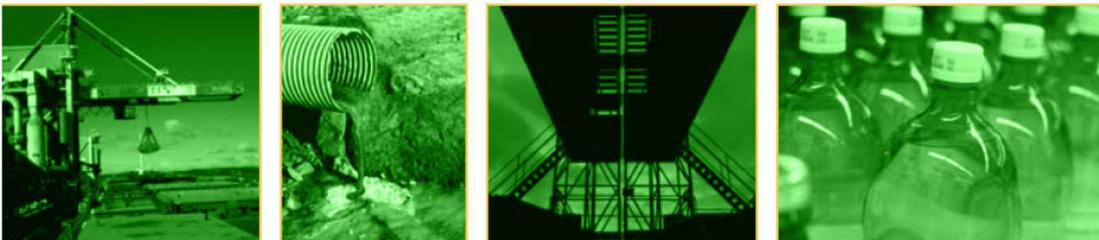
Compatibility

From its beginning, it was recognized that **ISO/TC 207** should cooperate closely with **ISO/TC 176, *Quality management and quality assurance*** – the ISO technical committee responsible for the ISO 9000 family of quality management standards – in the areas of management systems, auditing and related terminology.

Successful steps have been taken to ensure compatibility of the ISO 14001 and ISO 9001 standards to facilitate their use by organizations that wish to implement both environmental and quality management systems to benefit themselves and their customers and stakeholders. These steps include a common standard (ISO 19011) giving guidelines for auditing environmental and/or quality management systems.

Global participation

Membership of ISO/TC 207 is among the highest of any ISO technical committee and is both broad and diverse in representation, two key indicators of the worldwide interest in the work of this technical committee. National delegations of environmental experts from over 100 countries participate in ISO/TC 207, including 27 developing countries. The leadership of the committee is "twinned" between a developed and developing country (currently Canada and Brazil).



The national delegations are chosen by the national standards institute concerned and they are required to bring to ISO/TC 207 a national consensus on issues being addressed by the technical committee. This national consensus is derived from a process of consultation with interested parties and stakeholders in each country.

ISO/TC 207 continues to explore new and innovative ways to allow member countries to contribute and participate in the standards development process without increasing their carbon footprint.

ISO/TC 207 has relationships with over 30 international organizations that serve as liaison members to the technical committee. These organizations include the following:

- ✓ Asian Productivity Organization
- ✓ Confederation of European Paper Industries
- ✓ European Commission
- ✓ Environmental Defense Fund
- ✓ Global Ecolabelling Network
- ✓ International Aluminium Institute
- ✓ International Chamber of Commerce
- ✓ International Institute for Sustainable Development
- ✓ International Iron and Steel Institute
- ✓ Organisation for Economic Co-operation and Development
- ✓ Sierra Club
- ✓ United Nations Environment Programme
- ✓ World Business Council for Sustainable Development
- ✓ World Health Organization
- ✓ World Resources Institute
- ✓ World Trade Organization.

Scope of ISO/TC 207's work

Published documents and ongoing work of ISO/TC 207 address the following areas:

- ✓ Environmental management systems
- ✓ Environmental auditing and related environmental investigations
- ✓ Environmental performance evaluation
- ✓ Environmental labelling
- ✓ Life cycle assessment
- ✓ Environmental communication
- ✓ Environmental aspects of product design and development
- ✓ Environmental aspects in product standards
- ✓ Terms and definitions
- ✓ Greenhouse gas management and related activities
- ✓ Measuring the carbon footprint of products.

The ISO 14000 family of standards reflects international consensus on good environmental and business practice that can be applied by organizations all over the world in their specific context.



Overview of the ISO 14000 family of standards

Published standards

ISO 14001 is the world's most recognized framework for **environmental management systems (EMS)** – implemented from Argentina to Zimbabwe – that helps organizations both to manage better the impact of their activities on the environment and to demonstrate sound environmental management.

ISO 14001 has been adopted as a national standard by more than half of the 160 national members of ISO and its use is encouraged by governments around the world. Although certification of conformity to the standard is not a requirement of ISO 14001, at the end of 2007, at least 154 572 certificates had been issued in 148 countries and economies.

Other environmental management tools developed by ISO/TC 207 include: **ISO 14004**, which complements ISO 14001 by providing **additional guidance** and useful explanations.

Environmental audits are important tools for assessing whether an EMS is properly implemented and maintained. The **auditing** standard, **ISO 19011**, is equally useful for EMS and quality management system audits. It provides guidance on principles of auditing, managing audit programmes, the conduct of audits and on the competence of auditors.

ISO 14031 provides guidance on how an organization can evaluate its **environmental performance**. The standard also addresses the selection of suitable performance indicators, so that performance can be assessed against criteria set by management. This information can be used as a basis for internal and external reporting on environmental performance.

Communication on the environmental aspects of products and services is an important way to use market forces to influence environmental improvement.

Truthful and accurate information provides the basis on which consumers can make informed purchasing decisions.

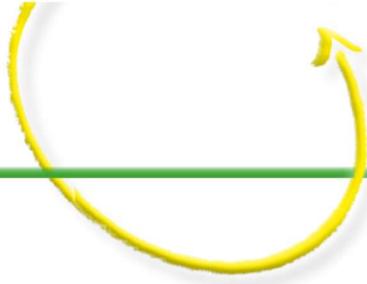
The **ISO 14020** series of standards addresses a range of different approaches to **environmental labels and declarations**, including eco-labels (seals of approval), self-declared environmental claims, and quantified environmental information about products and services.

ISO 14001 addresses not only the environmental aspects of an organization's processes, but also those of its products and services. Therefore ISO/TC 207 has developed additional tools to assist in addressing such aspects. **Life-cycle assessment (LCA)** is a tool for identifying and evaluating the environmental aspects of products and services from the "cradle to the grave": from the extraction of resource inputs to the eventual disposal of the product or its waste. The **ISO 14040** standards give guidelines on the principles and conduct of LCA studies that provide an organization with information on how to reduce the overall environmental impact of its products and services.

ISO 14064 parts 1, 2 and 3 are international **greenhouse gas (GHG) accounting and verification** standards which provide a set of clear and verifiable requirements to support organizations and proponents of GHG emission reduction projects.

ISO 14065 complements ISO 14064 by specifying requirements to **accredit** or recognize organizational bodies that undertake GHG validation or verification using ISO 14064 or other relevant standards or specifications.

ISO 14063, on **environmental communication** guidelines and examples, helps companies to make the important link to external stakeholders.



ISO Guide 64 provides guidance for addressing **environmental aspects in product standards**. Although primarily aimed at standards developers, its guidance is also useful for designers and manufacturers.

Upcoming new standards

Sustainable development policy and practice has attracted considerable attention and debate in the past 15 years. Our understanding of and concerns about environmental and sustainable development issues have also evolved over time. Just as the existing ISO 14000 standards play an important role in helping organizations to address today's priorities, so too can future standards help to address future priorities.

An integral part of an organization's EMS is the commitment to continual improvement. ISO/TC 207 takes this principle to heart and is constantly improving its process to identify and respond to new standardization needs. ISO/TC 207's success in continuing to work on relevant standards is evidenced by the development of the following new standards:

ISO 14045 will provide principles and requirements for **eco-efficiency assessment**. Eco-efficiency relates environmental performance to value created. The standard will establish an internationally standardized methodological framework for eco-efficiency assessment, thus supporting a comprehensive, understandable and transparent presentation of eco-efficiency measures.

ISO 14051 will provide guidelines for general principles and framework of **material flow cost accounting (MFCA)**. MFCA is a management tool to promote effective resource utilization, mainly in manufacturing and distribution processes, in order to reduce the relative consumption of resources and material costs.

MFCA measures the flow and stock of materials and energy within an organization based on physical unit (weight, capacity, volume and so on) and evaluates them according to manufacturing costs, a factor which is generally overlooked by conventional cost accounting. MFCA is one of the major tools of environmental management accounting (EMA) and is oriented to internal use within an organization.

ISO 14067 on the **carbon footprint of products** will provide requirements for the quantification and communication of greenhouse gases (GHGs) associated with products. The purpose of each part will be to: quantify the carbon footprint (Part 1); and harmonize methodologies for communicating the carbon footprint information and also provide guidance for this communication (Part 2).

ISO 14069 will provide guidance for organizations **to calculate the carbon footprint** of their products, services and supply chain.

ISO 14005 will provide guidelines for the **phased implementation of an EMS** to facilitate the take-up of EMS by small and medium-sized enterprises. It will include the use of environmental performance evaluation. **ISO 14006** will provide guidelines on **eco-design**.

ISO 14033 will provide guidelines and examples for compiling and communicating **quantitative environmental information**.

Finally, **ISO 14066** will specify **competency requirements** for greenhouse gas validators and verifiers.

The development programme of ISO/TC 207 is constantly evolving, driven by market needs. Hence the above is a small sample of areas where standards are currently in development. Please consult www.iso.org for an up-to-date programme of standards under development by ISO/TC 207.

Environmental and economic benefits

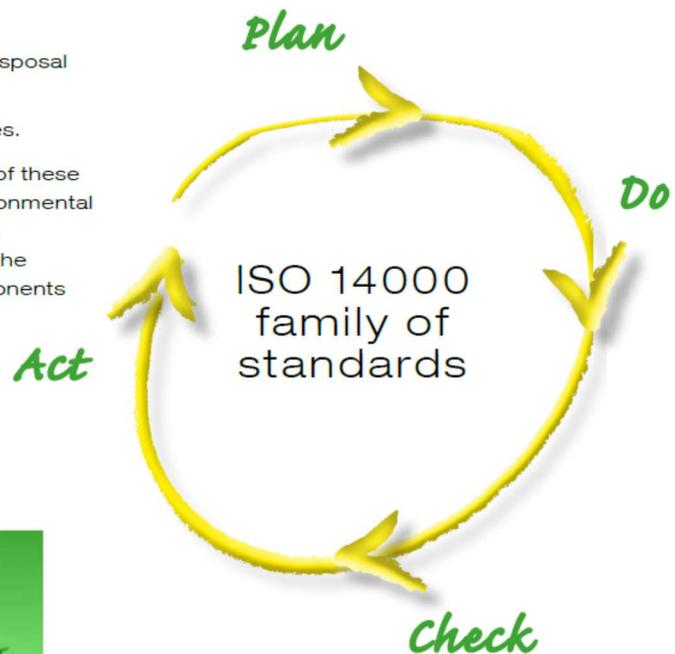
Although the ISO 14000 standards are designed to be mutually supportive, they can also be used independently of each other to achieve environmental goals. The whole ISO 14000 family of standards provides management tools for organizations to manage their environmental aspects and assess their environmental performance. Together, these tools can provide significant tangible economic benefits, including the following:

- ✓ Reduced raw material/resource use
- ✓ Reduced energy consumption
- ✓ Improved process efficiency
- ✓ Reduced waste generation and disposal costs
- ✓ Utilization of recoverable resources.

Of course, associated with each of these economic benefits are distinct environmental benefits too. This is the contribution that the ISO 14000 series makes to the environmental and economic components of sustainable development and the triple bottom line.

The ISO 14000 family and the PDCA cycle

The ISO 14000 family is designed to be implemented according to the same Plan-Do-Check-Act (PDCA) cycle underlying all ISO management systems standards. The following table classifies the standards making up the ISO 14000 family according to their optimal place in the PDCA cycle.



Acronyms: **DIS** (Draft International Standard); **TR** (Technical Report); **TS** (Technical Specification); **AWI** (Approved Work item); **WD** (Working Draft); **CD** (Committee Draft).

<i>Plan</i>	<i>Do</i>	<i>Check</i>	<i>Act</i>
Environmental management system implementation	Conduct life cycle assessment and manage environmental aspects	Conduct audits and evaluate environmental performance	Communicate and use environmental declarations and claims
ISO 14050:2009 Environmental management – Vocabulary	ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework	ISO 14015:2001 Environmental management – Environmental assessment of sites and organizations (EASO)	ISO 14020:2000 Environmental labels and declarations – General principles
ISO 14001:2004 Environmental management systems – Requirements with guidance for use	ISO 14044:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines	ISO 14031:1999 Environmental management – Environmental performance evaluation – Guidelines	ISO 14021:1999 Environmental labels and declarations – Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling)
ISO 14004:2004 Environmental management systems – General guidelines on principles, systems and support techniques	ISO/TR 14047:2003 Environmental management – Life cycle impact assessment – Examples of application of ISO 14042	ISO 19011:2002 Guidelines for quality and/or environmental management systems auditing	ISO 14024:1999 Environmental labels and declarations – Type I environmental labelling – Principles and procedures
ISO/DIS 14005 Environmental management systems – Guidelines for the phased implementation of an environmental management system, including the use of environmental performance evaluation	ISO/TS 14048:2002 Environmental management – Life cycle assessment – Data documentation format		ISO 14025:2006 Environmental labels and declarations – Type III environmental declarations – Principles and procedures
			ISO/AWI 14033 Environmental management – Quantitative environmental information – Guidelines and examples
Address environmental aspects in products and product standards		Evaluate greenhouse gas performance	
ISO Guide 64:2008 Guide for addressing environmental issues in product standards	ISO/TR 14049:2000 Environmental management – Life cycle assessment – Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis	ISO 14064-3:2006 Greenhouse gases – Part 3: Specification with guidance for the validation and verification of greenhouse gas assertions	ISO 14063:2006 Environmental management – Environmental communication – Guidelines and examples

<i>Plan</i>	<i>Do</i>	<i>Check</i>	<i>Act</i>
<p>ISO/CD 14006 Environmental management systems – Guidelines on eco-design</p>	<p>ISO/CD 14051 Environmental management – Material flow cost accounting – General principles and framework</p>	<p>ISO 14065:2007 Greenhouse gases – Requirements for greenhouse gas validation and verification bodies for use in accreditation or other forms of recognition</p>	
	<p>ISO/WD 14045 Eco-efficiency assessment – Principles and requirements</p>		
	<p>Manage greenhouse gases</p>		
<p>ISO/TR 14062:2002 Environmental management – Integrating environmental aspects into product design and development</p>	<p>ISO 14064-1:2006 Greenhouse gases – Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals</p>	<p>ISO/CD 14066 Greenhouse gases – Competency requirements for greenhouse gas validators and verifiers document</p>	
	<p>ISO 14064-2:2006 Greenhouse gases – Part 2: Specification with guidance at the project level for quantification, monitoring and reporting of greenhouse gas emission reductions or removal enhancements</p>		
	<p>ISO/WD 14067-1 Carbon footprint of products – Part 1: Quantification</p> <p>ISO/WD 14067-2 Carbon footprint of products – Part 2: Communication</p>		
	<p>ISO/AWI 14069 GHG – Quantification and reporting of GHG emissions for organizations (Carbon footprint of organization) – Guidance for the application of ISO 14064-1</p>		

For further information



Web sites

ISO:

www.iso.org

ISO/TC 207:

www.tc207.org

Information on the ISO 14000 standards is also available from ISO's national member bodies

- www.iso.org/isomembers –
- and from the ISO Web site
- www.iso.org/managementstandards

Sales enquiries should be directed to the ISO members or to the ISO Central Secretariat sales department

- sales@iso.org

ISO publishes **ISO Focus+ magazine** (launched in January 2010) – www.iso.org/isofocus+ – which gives an overview of ISO and its standards and also includes articles on its management standards. It is published 10 times a year in English and French editions.



ISO Central Secretariat
1, chemin de la Voie-Creuse
Case postale 56
CH - 1211 Genève 20
Switzerland
E-mail central@iso.org
Web www.iso.org

ISBN 978-92-67-10500-0
© ISO, 2009-10/5 000. All rights reserved