

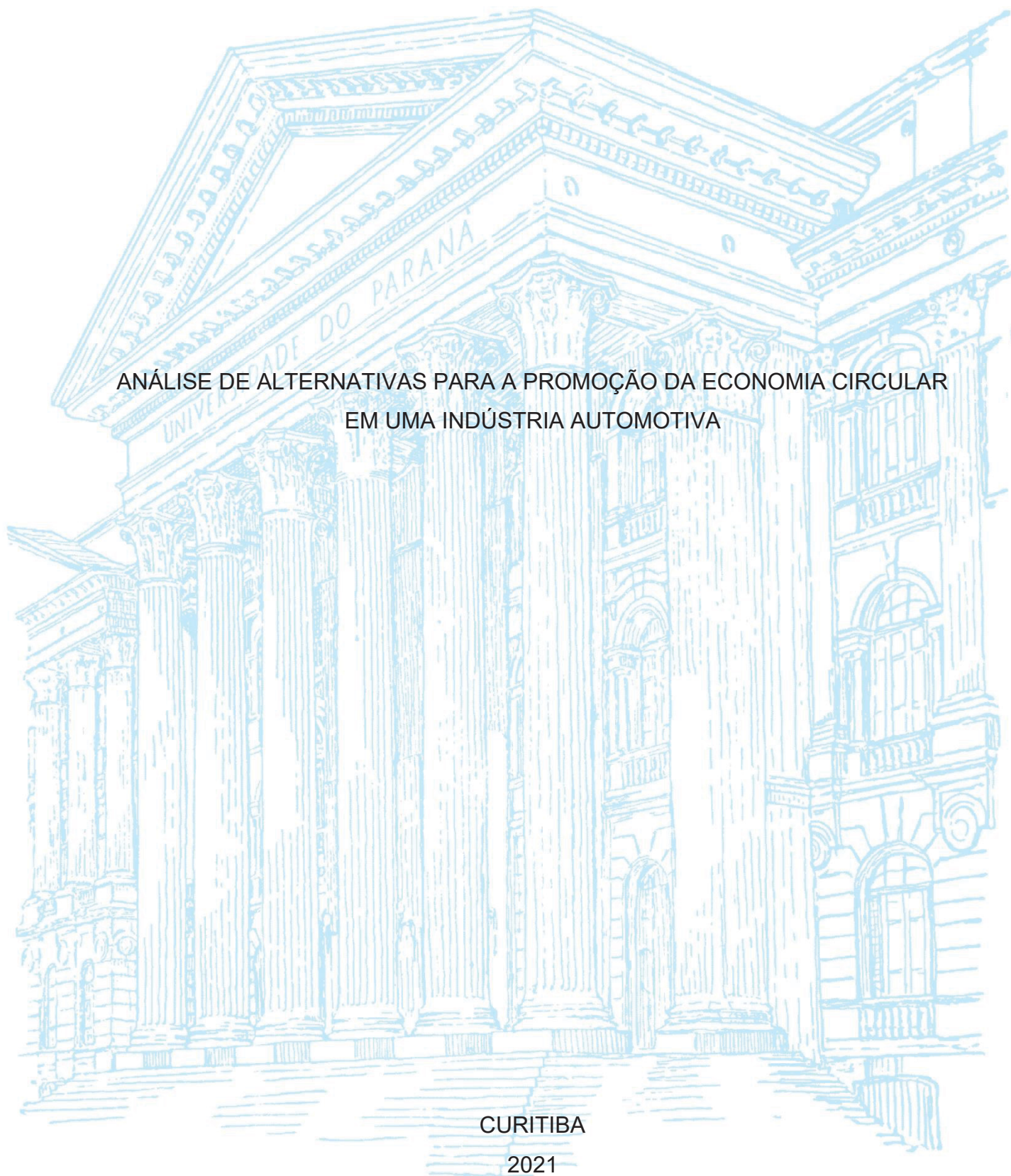
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CAROLINA RAMOS BEDRAN

ANÁLISE DE ALTERNATIVAS PARA A PROMOÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR
EM UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

CURITIBA

2021



CAROLINA RAMOS BEDRAN

ANÁLISE DE ALTERNATIVAS PARA A PROMOÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR
EM UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, da Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, em parceria com o SENAI – PR e a Universidade de Stuttgart, Alemanha como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientador(a): Prof(a). M.Sc. Marielle Feilstrecker

CURITIBA

2021

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Bedran, Carolina Ramos

Análise de alternativas para a promoção da economia circular em
uma indústria automotiva. / Carolina Ramos Bedran. – Curitiba, 2021.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de
Tecnologia de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial.
SENAI – PR. Universidade de Stuttgart.

Orientadora: Profa. M.Sc. Marielle Feilstrecker.

1. Economia. 2. Sustentabilidade. 3. Reciclagem. 4. Indústria
automobilística. I. Feilstrecker, Marielle. II. Universidade Federal do
Paraná. Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e
Industrial. III. SENAI - PR. IV. Universidade de Stuttgart. V. Título.

Bibliotecário: Nilson Carlos Vieira Junior CRB-9/1797



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MEIO AMBIENTE
URBANO E INDUSTRIAL - 40001016057P5

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **CAROLINA RAMOS BEDRAN** intitulada: **ANÁLISE DE ALTERNATIVAS PARA A PROMOÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR EM UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**, sob orientação da Profa. Ma. MARIELLE FEILSTRECKER, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 31 de Agosto de 2021.

Assinatura Eletrônica

11/11/2021 18:18:47.0

MARIELLE FEILSTRECKER

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

12/11/2021 07:03:15.0

LUCILA ADRIANI DE ALMEIDA CORAL

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - UTFPR)

Assinatura Eletrônica

16/11/2021 16:49:30.0

SANDRA MARA PEREIRA DE QUEIROZ

Avaliador Interno (LQ GEOAMBIENTAL)

Centro Politécnico - CURITIBA - Paraná - Brasil

CEP 81531-980 - Tel: (41) 3361-3614 - E-mail: ppgmaui@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 126909

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prpg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp>
e insira o código 126909

Dedico este trabalho ao meu marido Marcus e aos meus filhos Isadora e Bruno, que são minha inspiração, meu apoio e meus amores para toda vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Professora Marielle Feilstrecker pela orientação, apoio e boa energia nessa jornada. E aos professores Mauricy Kawano e Regina Weinschutz por suas valiosas contribuições durante a qualificação desta dissertação.

Agradeço à Professora Lucila Coral por aceitar participar como professora externa da banca de avaliação deste trabalho, bem como à Professora Sandra Mara Pereira de Queiroz, por ter aceitado compor esta banca como professora do PPGMAUI.

Agradeço à Coordenação do curso do PPGMAUI, em nome da Professora Arislete Dantas de Aquino, por ter me inspirado a ir em frente e ter tido flexibilidade e compreensão com os alunos durante a pandemia. Também a todos os professores com quem tive a oportunidade de aprender e a trocar experiências no PPGMAUI.

Agradeço à Volvo do Brasil, por ter aceitado ser objeto deste estudo e a todos os funcionários que gentilmente cederam seu tempo para fornecer informações valiosas.

Agradeço ao meu amado marido Marcus, por ter sempre acreditado e me apoiado durante toda a trajetória do curso. Aos meus filhos Isadora e Bruno que mesmo nos momentos em que precisei me dedicar de forma mais intensa às aulas e à pesquisa, sempre estiveram à minha espera com um sorriso e um abraço.

Agradeço à minha mãe Amélia e ao meu pai Paulo, por terem sempre me incentivado a ir atrás dos meus sonhos.

Agradeço aos colegas do PPGMAUI, em especial à Renata Simões e à Ana Beatriz Alves, que além de companheiras de viagem à Alemanha, se tornaram amigas e pessoas com quem troco conhecimento e boas práticas de trabalho. Ao Bruno Gomes, que foi parceiro de orientadora e incentivador em momentos em que parecia difícil continuar a pesquisa.

Agradeço à Deus, por ter me abençoado com pessoas tão especiais em minha vida, permitindo que tudo se conectasse da maneira como foi e culminasse com este estudo que tive a alegria de um dia sonhar e agora concluir.

Todos os nossos sonhos podem se realizar, se tivermos a coragem de persegui-los.

Walt Disney

RESUMO

A Economia Circular (EC) vem sendo reconhecida como uma prática essencial para a sustentabilidade no planeta, trazendo à tona a necessidade de se prolongar a vida útil de produtos e materiais, evitando seu descarte final. Ela confronta com a Economia Linear, em que produtos são manufaturados, consumidos e descartados, demonstrando que este modelo não é mais viável. Em 2020, com a pandemia, vivenciou-se escassez de matérias-primas, como papelão e madeira para a produção de embalagens e aço para a produção de equipamentos. Montadoras do setor automotivo do mundo todo suspenderam suas produções pela falta de componentes, em especial os semicondutores. Neste contexto, o presente trabalho analisou alternativas para promover a economia circular nos processos de manufatura de uma indústria automotiva localizada em Curitiba-PR. Para isso, analisou dados de geração e destinação de resíduos, identificou e analisou alternativas com base em critérios Técnicos, Mercadológicos, Legais e Institucionais. A madeira proveniente de embalagens foi o resíduo de maior potencial de contribuição dentre os 22 tipos de resíduos gerados na empresa. A priorização de cinco dos 13 modelos de embalagens de madeira, apresentaram potencial de eliminar 406,5 toneladas por ano de resíduos, atualmente destinados à queima com recuperação energética. As sete alternativas de EC identificadas para substituir esta destinação propiciariam um aumento de 6,6% no referido índice, que iria de 57,75% para 64,35%. A alternativa proposta foi que as embalagens descartáveis de madeira sejam substituídas por embalagens retornáveis ou ainda por embalagens de papelão.

Palavras-chave: Economia circular. Hierarquia de resíduos. Reciclagem. Sustentabilidade. Indústria automotiva

ABSTRACT

The Circular Economy (CE) has been recognized as an essential practice for sustainability on the planet, bringing to light the need to extend the useful life of products and materials, avoiding their final disposal. It confronts the Linear Economy, in which products are manufactured, consumed and discarded, demonstrating that this model is no longer viable. In 2020, with the pandemic, there was a shortage of raw materials, such as cardboard and wood for the production of packaging and steel for the production of equipment. Automotive assemblers around the world have suspended production due to a lack of components, especially semiconductors. In this context, this work analyzed alternatives to promote the circular economy in the manufacturing processes of an automotive industry located in Curitiba-PR. For this, it analyzed data on the generation and disposal of waste, identified and analyzed alternatives based on Technical, Marketing, Legal and Institutional criteria. Wood from packaging was the waste presenting the greatest potential contribution among the 22 types of waste generated by the company. The prioritization of 5 from 13 wood packaging models had the potential to eliminate 406.5 tons per year of wood waste, currently destined for energy recovery. The seven CE alternatives identified to replace this destination would provide an increase of 6.6% in that index, which would go from 57.75% to 64.35%. The proposed alternative was that disposable wooden packaging be replaced by returnable packaging or even cardboard packaging.

Keywords: Circular economy. Waste hierarchy. Recycling. Sustainability. Automotive industry.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FORMAS DE RECIRCULAÇÃO DE MATERIAIS OU RESÍDUOS.....	18
FIGURA 2 - HIERARQUIA DE RESÍDUOS.....	22
FIGURA 3 - JORNADA ATÉ ATERRO ZERO.....	30
FIGURA 4 - HIERARQUIA DE RESÍDUOS.....	33
FIGURA 5 - TIPOS DE EMBALAGEM RETORNÁVEIS.....	34
FIGURA 6 - DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS EM 2020 (%).....	38
FIGURA 7 - GRÁFICO PARETO DE RESÍDUOS GERADOS - ANO 2020	39
FIGURA 8 - RESÍDUOS RECICLADOS - ANO 2020.....	41
FIGURA 9 - QUANTIDADE DE RESÍDUOS NÃO RECICLADOS.....	43
FIGURA 10 - QUANTIDADE DE RESÍDUOS NÃO RECICLADOS, EXCLUINDO A MADEIRA.....	46
FIGURA 11 - GERAÇÃO DE RESÍDUO DE MADEIRA, POR TIPO, EM 2020 (%) ..	49
FIGURA 12 - TIPOS DE RESÍDUOS DE MADEIRA - ANOS 2018, 2019 E 2020.....	50
FIGURA 13 - RESÍDUO DE MADEIRA POR TIPO DE EMBALAGEM	53
FIGURA 14 - MODELOS DE EMBALAGEM DE PAPELÃO.....	58

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - EMBALAGENS DE MADEIRA BRANCA CONTENDO PEÇAS METÁLICAS - ANO 2020	51
TABELA 2 - EMBALAGENS COM MAIOR POTENCIAL DE CONTRIBUIÇÃO À ECONOMIA CIRCULAR	54

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - CONTROLES OPERACIONAIS DA GESTÃO DE RESÍDUOS NA EMPRESA.....	32
QUADRO 2 - CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO.....	36
QUADRO 3 - INFORMAÇÕES SOBRE RESÍDUO DE MADEIRA.....	48
QUADRO 4 - ALTERNATIVAS ANALISADAS	56
QUADRO 5 - AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS	61
QUADRO 6 - RESUMO DAS ALTERNATIVAS.....	64

LISTA DE SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
BNDES	- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CACE	- <i>Chinese Association for Circular Economy</i>
CE	- <i>Circular Economy</i>
CNAE	- Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CNI	- Confederação Nacional das Indústrias
CO ₂	- Dióxido de Carbono
CRI	- Controle de Resíduos Industriais
DOF	- Documento de Origem Florestal
EC	- Economia Circular
EIB	- Banco Europeu de Investimentos
ESG	- <i>Environmental, Social and Governance</i>
EU	- União Europeia
FIEP	- Federação das Indústrias do Estado do Paraná
FINEP	- Fundo de Financiamento de Estudos de Projetos e Programas
GM	- <i>General Motors</i>
GPP	- <i>Green Public Purchasing</i>
IBAMA	- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ISO	- Organização Internacional de Normalização
ODS	- Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU	- Organização das Nações Unidas
RAPP	- Relatório de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais
RS	- Rio Grande do Sul
SBTI	- <i>Science Based Target Initiative</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	14
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 ECONOMIA CIRCULAR.....	15
2.1.1 BARREIRAS PARA A ECONOMIA CIRCULAR.....	20
2.2 HIERARQUIA DE RESÍDUOS	21
2.3 PANORAMA DA ECONOMIA CIRCULAR NO MUNDO	23
2.4 PANORAMA DA ECONOMIA CIRCULAR NO BRASIL	27
3 ESTUDO DE CASO - INDÚSTRIA AUTOMOTIVA	30
3.1 PRÁTICAS EXISTENTES DE ECONOMIA CIRCULAR NA EMPRESA	30
4 METODOLOGIA	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1 RESÍDUOS E DESTINAÇÃO	38
5.2 RESÍDUOS RECICLADOS	40
5.3 RESÍDUOS NÃO RECICLADOS.....	42
5.4 O RESÍDUO DE MADEIRA.....	47
5.5 DESCRIÇÃO DE ALTERNATIVAS	55
5.5.1 ALTERNATIVA 1 – EMBALAGENS RETORNÁVEIS.....	56
5.5.2 ALTERNATIVA 2 – COMERCIALIZAÇÃO	57
5.5.3 ALTERNATIVA 3 – EMBALAGENS DE PAPELÃO.....	57
5.5.4 ALTERNATIVA 4 – PAINÉIS DE MADEIRA.....	58
5.5.5 ALTERNATIVA 5 - CELULOSE.....	59
5.5.6 ALTERNATIVA 6 – PASTAS.....	59
5.5.7 ALTERNATIVA 7 – MOAGEM.....	59
5.6 AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS	59
5.7 PROPOSTAS	65
6 CONCLUSÃO	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

1 INTRODUÇÃO

A Economia Circular (EC) vem sendo reconhecida como uma prática essencial para a sustentabilidade no planeta. Ela apresenta uma nova forma de lidar com os recursos naturais e com os produtos manufaturados a partir deles, reforçando a necessidade de se prolongar sua vida útil, evitando o descarte final. Em contrapartida, a Economia Linear, modelo no qual a maioria dos produtos são atualmente manufaturados, consumidos e descartados tornou-se inviável, já que os recursos naturais são finitos e não têm condições de suprir o atual modelo econômico.

O conceito de EC propõe a manutenção de valor de recursos extraídos e que estão em circulação, através de cadeias produtivas integradas. O destino de um material parte do processo de design de produtos e sistemas e deixa de ser uma questão somente de gerenciamento de resíduos (WEBSTER, 2015).

Em 2020, com a pandemia, algumas empresas passaram a ser impactadas pela escassez de matéria-prima. No Brasil, vivenciou-se a escassez de papelão e de madeira para a produção de embalagens e também a falta de aço para a produção de equipamentos. Montadoras do Brasil e do mundo suspenderam suas produções pela falta de componentes, em especial os semicondutores.

Ainda neste contexto, intensificaram-se as discussões sobre o conceito de ESG (do inglês *Environment, Social and Governance*), que tem por objetivo dar maior transparência aos investidores quanto aos riscos relacionados aos aspectos Ambientais, Sociais e de Governança das empresas em que estão colocando dinheiro.

Para atender a esta demanda dos investidores, muitas empresas passaram a adotar práticas de sustentabilidade, conectando-as aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU). Estes objetivos descritos por *United Nations* (2016) vêm ganhando cada vez mais relevância desde que foram lançados em 2016. Algumas empresas escolhem de 3 a 4 ODS's que possuem maior correlação com seu negócio e então divulgam e promovem as práticas com seus funcionários, fornecedores, clientes e outras partes interessadas.

Apesar da crescente abordagem de sustentabilidade no ambiente empresarial, o fator financeiro ainda é o aspecto chave na tomada de decisões, o que não é diferente em indústrias automotivas, que em sua maioria seguem o fluxo da economia linear, mas experimentam agora uma pressão de diversas partes interessadas para migrarem para uma economia circular.

Neste contexto, o presente trabalho analisou alternativas para promover a economia circular nos processos de manufatura de uma indústria automotiva localizada em Curitiba-PR. Para isso, utilizaram-se dados de geração e informações quanto à destinação de resíduos. A partir dos resultados das análises de tais dados, o estudo foi aprofundado, de forma a identificar os resíduos com maior potencial de contribuição para a economia circular e priorizá-los com base em quantidade gerada. Diversas alternativas foram analisadas para os resíduos identificados como prioritários, dando destaque àquelas de maior conexão com os critérios.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar alternativas para a promoção da economia circular nos processos de manufatura de uma indústria automotiva, com base na hierarquia de resíduos.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar resíduos com potencial de inserção ou de melhoria na economia circular;
- Avaliar alternativas que promovam a economia circular dos resíduos identificados como potenciais;
- Propor melhorias para a empresa em estudo, de acordo com as alternativas identificadas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nos últimos anos, a sustentabilidade vem se tornando cada vez mais relevante no contexto industrial e dentro dela, um tema que vem ganhando mais espaço é a Economia Circular (EC).

A EC vai além dos modelos de negócios atuais de fabricação, consumo e disposição final, visando desenvolver processos em ciclo fechado. Na EC os produtos e processos são projetados para substituir a perspectiva de fim de vida útil, enfatizando a longevidade das matérias-primas e produtos manufaturados.

2.1 ECONOMIA CIRCULAR

Para discorrer sobre economia circular, é necessário voltar ao conceito de economia linear, em que tradicionalmente os produtos são descartados ao final de seu uso.

Segundo Merli, Preziosi e Acampora (2018), no modelo linear de produção industrial, os insumos são extraídos, combinados e processados, consumidos e descartados. Neste modelo, quando se havia um olhar para os impactos ambientais, o foco era exclusivamente para a disposição final (aterro ou incineração) ou quando muito à reciclagem dos resíduos gerados.

Os últimos 150 anos de evolução industrial foram dominados por este modelo linear de produção e consumo, no qual os bens são fabricados a partir de matérias-primas, vendidos, usados e depois descartados ou incinerados como resíduos (WORLD ECONOMIC FORUM, 2014).

No entanto, o modelo tradicional de economia linear possui fatores que podem trazer prejuízos para a sociedade, tais como: perdas econômicas pelo desperdício de recursos; risco de indisponibilidade, já que recursos naturais não renováveis possuem depósitos em regiões específicas do planeta, como o petróleo que precisa ser importado em diversos locais; degradação dos sistemas naturais, que tem como desafio manter o desenvolvimento, sem comprometer o meio ambiente em longo prazo; e, por fim, requisitos legais, uma vez que já se vem buscando reduzir e estabelecer custos para as externalidades negativas, tendo como exemplo a precificação do carbono em diversas regiões do mundo (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021).

Geissdoerfer et al. (2017) também trazem a reflexão sobre o modelo linear, em que os recursos naturais são parte da economia, fornecendo insumos para produção e consumo, ou mesmo servindo como um sumidouro de produtos na forma de resíduos.

Em face aos fortes aumentos de volatilidade em toda a economia global e dos sinais de proliferação de esgotamento de recursos, a demanda por um novo modelo econômico foi ficando cada vez maior. A busca por uma melhoria substancial no desempenho de recursos em toda a economia levou as empresas a explorarem maneiras de reutilizar produtos ou seus componentes e restaurar mais de seus insumos de materiais, energia e trabalho. A economia circular aparece então como um sistema industrial restaurativo ou regenerativo. O benefício econômico da transição para esse novo modelo de negócios é estimado em mais de um trilhão de dólares em economia de material (WORLD ECONOMIC FORUM, 2014).

A EC substitui o conceito de fim de vida pela perspectiva de "berço ao berço", remetendo a um renascimento do produto, ao final de seu uso primário. Os modelos de negócios de EC podem eliminar os problemas de escassez de recursos e ajudar na criação de valor para a empresa (BAG et al., 2021).

O primeiro uso do termo “economia circular” como tal foi encontrado em 1990 utilizados por Pearce e Turner (1990) durante a tentativa de modelar uma economia aplicando um modelo de balanço de materiais que segue a primeira e segunda lei da termodinâmica.

Com o avanço das pesquisas e a consolidação da importância do tema para a sustentabilidade, outros conceitos foram sendo elaborados, fruto não apenas do avanço da ciência, mas também por parte de outros setores, com objetivo de harmonizar a abordagem entre as mais diversas partes interessadas.

Um dos conceitos bem citados é o de Ghisellini, Ripa e Ulgiati (2018): “A economia circular como um novo modelo de desenvolvimento econômico promove a máxima reutilização/ reciclagem de materiais, bens e componentes de forma a diminuir ao máximo a geração de resíduos. Tem como objetivo inovar toda a cadeia de produção, consumo, distribuição e recuperação de materiais e energia de acordo com a visão berço ao berço”.

Outra definição é a de Geissdoerfer et al. (2017): “um sistema regenerativo no qual a entrada e o desperdício de recursos, a emissão e o desperdício de energia são minimizados pela desaceleração, fechamento e estreitamento dos ciclos de materiais

e de energia. Isso pode ser alcançado por meio de *design* de longa duração, manutenção, reparo, reutilização, remanufatura, recondicionamento e reciclagem”.

Kirchherr, Reike e Hekkert (2017) trazem um terceiro e importante conceito, correlacionando-o com o 12º objetivo de desenvolvimento sustentável da ONU, o de ‘Consumo e Produção Sustentável’. Definem a EC como um sistema econômico que substitui o conceito de ‘fim de vida’ por reduzir, reutilizar, reciclar e recuperar materiais nos processos de produção, distribuição e consumo. Atua no nível micro (produtos, empresas, consumidores), nível meso (parques eco industriais) e nível macro (cidade, região, nação e além), com o objetivo de alcançar o desenvolvimento sustentável, criando assim simultaneamente qualidade ambiental, econômica, prosperidade e equidade social, em benefício das gerações atuais e futuras. É possibilitado por novos modelos de negócios e consumidores responsáveis.

Bocken et al. (2017) reforçam a definição de Geissdoerfer et al. (2017) quando descrevem que a economia circular tem como objetivo manter produtos, componentes e materiais em sua mais alta utilidade e valor em todos os momentos. O valor é mantido ou extraído através do prolongamento da vida útil do produto por meio de reutilização, renovação e remanufatura, bem como pela reciclagem e estratégias relacionadas. Uma estratégia alternativa para prolongar a vida útil dos produtos pode ser usar produtos de forma mais eficiente, compartilhando-os ou tornando-os multifuncionais.

A EC pode ser descrita como um processo que substitui o conceito de disposição linear e de extração e consumo, pela manutenção do valor de produtos, materiais e recursos na economia. Em outras palavras, a EC pode ser descrita como um sistema industrial que é restaurativo e regenerativo. Isto é considerado possível pelo uso de energia renovável, eliminação do uso de produtos químicos tóxicos e desenvolvimento de produtos bio-benignos, permitindo a reutilização e retorno à natureza e eliminação de resíduos (KISER, 2016).

Mais recentemente, em uma revisão sistemática dos conceitos existentes e com o objetivo de consolidar uma definição final para a economia circular, Nobre e Tavares (2021,p.45) propuseram o seguinte texto:

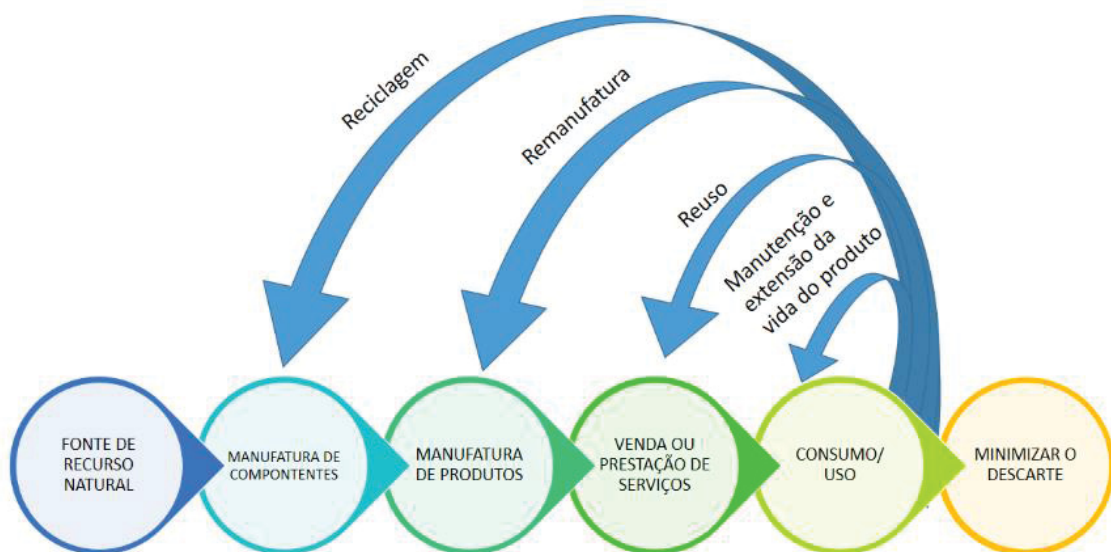
“A economia circular é um sistema econômico que visa zero desperdício e poluição em todo o ciclo de vida dos materiais, desde a extração do meio ambiente até a transformação industrial e aos consumidores finais, aplicando-se a todos os ecossistemas envolvidos. Ao término de sua vida útil, os materiais retornam a um processo industrial ou, no caso de um resíduo orgânico tratado, de volta ao meio ambiente com segurança, como em um ciclo natural de

regeneração. Ele opera criando valor nos níveis macro, meso e micro e explora ao máximo o conceito de sustentabilidade aninhado. As fontes de energia utilizadas são limpas e renováveis. O uso e consumo de recursos são eficientes. Agências governamentais e consumidores responsáveis desempenham um papel ativo garantindo a operação correta do sistema a longo prazo.”

Sob a perspectiva da economia circular, os recursos não são entendidos como custos, sendo preservados e, depois de utilizados, reinseridos contínua e indefinidamente no processo produtivo (FIEP, 2019a).

A FIGURA 1 ilustra de que forma os resíduos ou materiais podem ser recirculados, dando a base para a identificação de alternativas e correlação com os diferentes formatos de aplicação da economia circular. Portanto, na EC desperdício é transformado em ativo, rejeitos são capitalizados, recursos são tratados eficientemente e produtos são reciclados ou reconicionados (FIEP, 2019a).

Figura 1 - Formas de recirculação de materiais ou resíduos



Fonte: Adaptado de CNI, 2019

Nos últimos anos, a EC vem recebendo cada vez mais atenção em todo o mundo como uma maneira de superar o atual modelo de produção e consumo, baseado no crescimento contínuo e no aumento do fluxo de recursos. Segundo Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016), ao promover a adoção de padrões de produção em ciclo fechado dentro de um sistema econômico, a EC visa aumentar a eficiência do uso de recursos, para alcançar melhor equilíbrio e harmonia entre economia, meio ambiente e sociedade. E ampliando-se o ciclo de vida dos resíduos, eles passam a

ser entendidos como matéria-prima para outros processos deste ou de outros setores industriais.

A EC implica na adoção de padrões de produção mais limpa, aumento da responsabilidade e conscientização dos produtores e consumidores, o uso de tecnologias e materiais renováveis (sempre que possível), bem como a adoção de políticas e ferramentas adequadas, claras e estáveis. A lição aprendida com experiências bem-sucedidas é que a transição para a EC vem do envolvimento de todos os atores da sociedade e de sua capacidade de vincular e criar padrões adequados de colaboração e intercâmbio (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016).

Em uma economia circular, os materiais que podem ser reciclados são reinseridos na economia como novas matérias-primas, aumentando assim a segurança no abastecimento. Estas matérias-primas secundárias podem ser comercializadas e transferidas exatamente como as matérias-primas primárias provenientes de recursos tradicionais obtidos por meio de processos extrativos (EUROPEAN UNION COMMISSION, 2015).

Na economia circular, os materiais biológicos são os únicos que podem ser considerados consumíveis, enquanto os materiais sintéticos são utilizados. Não se pode afirmar que o consumo de máquinas de lavar, carros, dentre outros são da mesma forma que de alimentos. Essa é a distinção sutil, mas importante, na maneira como se vê o relacionamento entre os materiais. Levanta-se o questionamento sobre a necessidade de aquisição de um produto ou se o acesso ao serviço que um produto fornece que é importante, e não o produto em si. Compreender essa mudança de mentalidade lança as bases para aspectos práticos da mudança da economia de linear para a circular (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021).

Ao se determinar a possibilidade de criação de produtos de ciclos múltiplos de uso, reduz-se a dependência em recursos ao mesmo tempo em que elimina o desperdício. Assim, os produtos e serviços desse modelo são elaborados para circularem de modo eficiente, com materiais biológicos que retornam à cadeia de alimentos e agricultura, ao passo que materiais sintéticos ou manufaturados são recolocados na produção, sem perda da qualidade (AZEVEDO, 2015). Por sua vez, Zuin (2016) afirma que, com os atuais impulsionadores globais de sustentabilidade, a eficiência de materiais e energia, a redução da geração de resíduos e as emissões de gases de efeito estufa, a economia circular está ganhando força e tem sido cada vez mais vista além da perspectiva de pesquisas.

2.1.1 Barreiras para a economia circular

Apesar das muitas vantagens da economia circular, alguns autores fazem referência às diversas barreiras encontradas para a sua implementação.

Grafström e Aasma (2021) apresentam uma revisão bibliográfica sobre este tema, trazendo à discussão a proposta de quatro tipos de barreira: Tecnológica, Mercadológica, Institucional e Social e formulando uma proposta de como quebrá-las. Além disso, o mapeamento destas barreiras foi elaborado, para entender como elas são interdependentes e atreladas, tendo como suas conclusões que mesmo pequenas barreiras podem desacelerar ou mesmo interromper o avanço da economia circular.

Paletta et al. (2019) também apresentam uma proposta de categorias de barreiras que apesar de nomeadas diferentemente, não se distinguem em sua essência. Os autores usaram as categorias Técnico e Tecnológica, Legal, Econômica e Sociocultural, abordando-as especificamente para a circularidade do plástico em dois contextos: análise em microescala, com escopo da cadeia de suprimento regional e em meso-escala, considerando toda cadeia da indústria de plásticos no país de estudo, que foi a Itália.

Jesus e Mendonça (2018) estudaram as barreiras e alavancas para a economia circular. Eles diferem e classificam os tipos de barreiras e alavancas entre “Rígidos” ou “Difíceis” que são os fatores Técnico e Mercadológico e os “Suaves”, que são os Institucionais ou Regulatórios e os Socioculturais.

Já Kirchherr et al. (2018) usaram as barreiras Cultural, Regulatória, Mercadológica e Tecnológica para um estudo na União Europeia, subdividindo-as em 15 sub-barreiras. Para estes pesquisadores, a barreira Cultural é definida como a ausência de consciência ou vontade de engajar-se com a EC, seja ela por parte do consumidor final ou mesmo na cultura da empresa, tanto pelos investidores ou proprietários, quanto pelos próprios funcionários.

A segunda é barreira Regulatória, que trata da falta de políticas que suportem a transição para a EC, dando enfoque a legislações e outros regulamentos que obstruem o avanço da EC, mas também demonstrando que há necessidade de um consenso global entre países sobre este assunto, o que segundo Kirchherr et al. (2018) ainda está longe de acontecer.

A terceira é a barreira mercadológica, que aborda aquelas relacionadas à inviabilidade econômica de modelos de negócio circulares, como a diferença de preços entre materiais virgens e reciclados, a ausência de normatização relacionada ao tema e financiamentos limitados para modelos de negócios circulares.

Por fim, a quarta barreira é a Tecnológica, que envolve a falta de tecnologias comprovadamente eficazes para a implementação da EC, trazendo à tona questões como a habilidade de entregar produtos remanufaturados de alta qualidade, a falta de visão de circularidade em projetos de produto e a quantidade limitada de aplicação de modelos de negócios circulares em larga escala. A tudo isso, soma-se ainda a escassez de dados sobre o assunto.

Com base nas categorias de barreiras propostas por Kirchherr et al. (2018), fica evidente que há uma longa jornada rumo à economia circular, mas que já estão claros quais entraves estarão pela frente e em muitos casos já é sabido como construir o caminho para sobrepor estes obstáculos.

2.2 HIERARQUIA DE RESÍDUOS

O uso da hierarquia de resíduos é uma prática bastante disseminada na gestão de resíduos em indústrias. O conceito não é recente, datando de cerca de 40 anos atrás, segundo Pires e Martinho (2019), sendo proveniente da empresa privada 3M, nos Estados Unidos da América.

A importância da hierarquia de resíduos no contexto da economia circular é devido à ordem de priorização da gestão de resíduos por ela estabelecida, norteando a tomada de decisão dos gestores, com objetivo de prolongar a vida útil dos materiais e assim minimizar o impacto da destinação de resíduos.

Segundo Egüez (2021), a hierarquia de resíduos é a parte crucial do Plano de Ação da União Europeia para a economia circular, já que estabelece uma ordem de prioridades de como os resíduos devem ser tratados.

Segundo Pires e Martinho (2019), na Europa o princípio da hierarquia de resíduos foi incluído na Diretiva-Quadro de Resíduos 2008/98/CE em 2008 e posteriormente foi transposto para a legislação nacional dos Estados-Membros da União Europeia em 2015. A citada Diretiva- Quadro define a hierarquia de resíduos como a ordem prioritária de operações a serem seguidas na gestão de resíduos: prevenção, preparação para reutilização, reciclagem, outras recuperações incluindo

recuperação energética e disposição (Figura 2). Também em 2015, a Estratégia de Economia Circular da UE COM/2015/0614 (EUROPEAN UNION COMMISSION, 2015) defendeu o papel do gerenciamento de resíduos com base na citada hierarquia como o caminho para obter o melhor resultado ambiental e trazer materiais valiosos de volta à economia.

Figura 2 - Hierarquia de Resíduos



Fonte: Adaptado de EGÜEZ, 2021

A Diretiva-Quadro de Resíduos da Comissão Europeia 2008/98 / CE buscam facilitar a implementação de uma gestão de resíduos de qualidade. Gharfalkar et al., 2015 ressaltam que a hierarquia de resíduos lá proposta contempla diversas medidas que podem ser aplicadas a substâncias, materiais e/ou objetos antes e/ou depois de se tornarem resíduos.

Pires e Martinho (2019) também descrevem que a hierarquia de resíduos foi incluída nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, adotada pelos 193 países das Nações Unidas denominada "Consumo e produção responsáveis", quando trás o objetivo de reduzir substancialmente a geração de resíduos através da prevenção, redução, reciclagem e reutilização, até 2030.

Segundo Castillo-Giménez, Montañés e Picazo-Tadeo (2019) as práticas de gestão ambiental nos países da União Europeia são fortemente influenciadas pela hierarquia de resíduos, priorizando a prevenção em detrimento das demais opções.

2.3 PANORAMA DA ECONOMIA CIRCULAR DE ALGUNS PAÍSES

A Comissão Europeia publicou, em março de 2020, novo Plano de Ação para a Economia Circular — um dos principais alicerces do denominado *European Green Deal*, o novo roteiro da Europa para o crescimento sustentável. Com base nos trabalhos realizados desde 2015, o novo Plano de Ação visa acelerar a transição da União Europeia para EC e reforçar a indústria na região, aumentando sua competitividade diante dos impactos das mudanças climáticas e concebendo novos formatos de consumo. O plano traz novas metas e ações concretas, estabelecendo diretrizes para garantir que a EC funcione para pessoas, regiões e cidades. Para salvaguardar este resultado, o plano e as iniciativas nele previstos serão desenvolvidos com a participação estreita da comunidade empresarial e das partes interessadas (EXCHANGE 4 CHANGE BRASIL, 2021).

A União Europeia considera que lá, a EC impulsionará a competitividade ao proteger as empresas contra a escassez dos recursos e a volatilidade dos preços, ajudando a criar oportunidades empresariais e formas inovadoras e mais eficientes de produzir e consumir. Criará emprego local em todos os níveis de competências, bem como oportunidades para integração e coesão social. Ao mesmo tempo, poupará energia e ajudará a evitar os danos irreversíveis causados pela utilização de recursos no ritmo que excede a capacidade da Terra para os renovar, em termos de clima, biodiversidade e poluição do ar, do solo e da água (EUROPEAN UNION COMMISSION, 2015).

O Banco Europeu de Investimentos (EIB) tem o objetivo de apoiar a transição para a EC, em particular na União Europeia, mas também em outras partes do mundo (EIB, 2019). Embora o EIB tenha um longo histórico de empréstimos para projetos focados na reciclagem e na recuperação de resíduos e subprodutos em vários setores, há espaço para expandir o volume de empréstimos para projetos inovadores de economia circular que visam projetar sistematicamente a eliminação dos resíduos, prolongar a vida útil de ativos e fechar ciclos de materiais. Neste cenário, o EIB lança um Guia de Economia Circular, com o objetivo de:

- Promover entendimento comum do conceito de economia circular e dos desafios e oportunidades relacionados entre nossos parceiros financeiros e de projetos;

- Aumentar a conscientização e promover soluções circulares entre os promotores do projeto e outras partes interessadas;
- Facilitar e harmonizar relatórios e *due diligence* dos projetos de economia circular pelos parceiros financeiros e de projetos;
- Comunicar a visão de como o EIB pode apoiar ainda mais a transição para uma economia circular.

Do ponto de vista da EC a Europa é considerada um tesouro de materiais recicláveis - aqueles que já foram descartados, além de milhões de toneladas a mais que estarão disponíveis à medida que prédios, veículos e produtos forem retirados de serviço no futuro. A produção de matéria secundária por meio da reciclagem resulta em emissões muito mais baixas por tonelada do que a produção de matéria-prima. Assim, cada pedaço de resíduo mantém a promessa de redução de emissões de CO₂. Atingir o potencial requer a criação de sistemas robustos de coleta, evitando a contaminação por aditivos ou a mistura de diferentes tipos de materiais e a produção de materiais de qualidade suficiente para servir como substitutos genuínos do material primário correspondente (MATERIAL ECONOMICS, 2018).

A principal conclusão do estudo realizado pela *Material Economics* (2018) é que a economia mais circular pode reduzir consideravelmente as emissões da indústria pesada: em um cenário ambicioso, até 296 milhões de toneladas de CO₂ por ano na UE até 2050, de 530 no total - e cerca de 3,6 bilhões de toneladas por ano em todo o mundo.

Ao estimular a atividade sustentável em setores-chave e novas oportunidades de negócios, o Plano Europeu ajudará a desbloquear o potencial de crescimento e aplicação da economia circular. Ele inclui compromissos abrangentes em *ecodesign*, o desenvolvimento de abordagens estratégicas em plásticos e produtos químicos, grandes iniciativas para financiar projetos inovadores e ações direcionadas em áreas como plásticos, resíduos alimentares, construção, matérias-primas essenciais, resíduos industriais e de mineração, consumo e contratos públicos. As ações propostas apoiam a EC em cada etapa da cadeia de valor, ou seja, da produção ao consumo, reparo e remanufatura, gestão de resíduos e matérias-primas secundárias que são realimentadas na economia (EUROPEAN UNION COMMISSION, 2015).

Alguns países têm estabelecido suas próprias políticas. A estratégia *Making Things Last* (Fazendo as coisas durarem) da Escócia define a visão e os objetivos do

governo escocês para a EC. A estratégia baseia-se nas agendas anteriores de escassez de resíduos e eficiência de recursos da Escócia e abrange quatro categorias principais: Comida, bebida e bioeconomia; Remanufatura; Construção e ambiente construído; Infraestrutura de energia (SCOTISH GOVERNMENT, 2016).

Já na França, com o objetivo de combater o desperdício de alimentos e a pobreza, o governo legislou sobre grandes supermercados, impedindo-os de descartar ou destruir alimentos não vendidos, forçando-os a doar alimentos excedentes para instituições de caridade. A lei também facilita doações de fábricas diretamente para 'bancos de alimentos'. Isso anteriormente era difícil devido aos regulamentos sobre resíduos. A Itália introduziu uma lei semelhante que incentiva, em vez de impedir, as empresas a doarem alimentos (ARUP, 2016). Este é um exemplo de política que poderia ser adotado aqui no Brasil, incentivando o compartilhamento de alimento com os mais necessitados e então beneficiando aqueles que carecem desse recurso e ao mesmo tempo combatendo o desperdício.

O governo dinamarquês também introduziu regulamentos de compras públicas para ajudar na transição para uma economia circular. A Parceria para Compras Públicas Verdes (GPP – *Green Public Purchasing*) compreende dez municípios dinamarqueses, duas regiões e o Ministério do Meio Ambiente e Alimentação. Com um volume combinado de compras de cerca de € 5 bilhões, os parceiros comprometeram-se a tornar verdes determinados grupos de compras, a fim de cumprir critérios que incluem reciclagem, uso de produtos químicos e vida útil do produto. Sob o programa, a cidade de Copenhague tem como meta que 90% dos alimentos servidos em cozinhas públicas, escolas, hospitais e casas de repouso sejam orgânicos e sazonais. A eco certificação de produtos, a aquisição de fornecedores locais, o treinamento, a educação e o envolvimento contínuo entre os participantes do esquema ajudaram a impulsionar o sucesso do programa (ARUP, 2016).

O governo holandês pretende ser totalmente circular até 2050 e já está implementando as “Agendas de Transição” para cinco segmentos do mercado. O sucesso, no entanto, depende de algumas mudanças essenciais no sistema: novas regulamentações e legislação, incentivos econômicos inteligentes, acesso a financiamento para os custos iniciais mais elevados e um sistema financeiro capaz de lidar com a transição (EXCHANGE 4 CHANGE BRASIL, 2021).

EC é um tópico emergente, que tem atraído cada vez mais interesse em pesquisas científicas. Apesar das raízes do tema serem europeias, pode-se afirmar

que essa recente onda foi impulsionada por autores chineses, após a implementação de controles regulatórios neste país. Pesquisadores chineses e europeus, em particular, vêm adotando esse tópico, promovendo crescimento exponencial nas publicações, o que pode refletir o aumento do interesse de empresas e formuladores de políticas nessas regiões (GEISSDOERFER et al., 2017).

Em resposta ao aumento da depleção de recursos, poluição e degradação do ecossistema, o Governo da República Popular da China lançou a Lei de Promoção da EC em 2009. Dentro dele estão os planos nacionais para tratamento seguro de resíduos sólidos urbanos, economia de energia e redução de emissões. O governo chinês está agora investindo e apoiando atividades, incluindo a Associação Chinesa de Economia Circular (CACE – *Chinese Association for Circular Economy*). Este é um grupo diretor encarregado de promover as melhores práticas em reciclagem, ciclos de desenvolvimento do berço ao berço e recuperação de resíduos de todos os setores industrial e de varejo da China (ARUP, 2016).

Para a América Latina, a transição para EC é particularmente importante pois é considerada uma região paradigmática. Segundo o Banco Mundial, a América Latina gera 160 milhões de toneladas de resíduos sólidos por ano - com média per capita de 1,1 kg/dia - dos quais menos de 3% é reutilizado ou reciclado. No entanto, espera-se que até 2030 a região aumente sua população em 17%, atingindo 705 milhões, aumentando sua geração de resíduos per capita em 45%, atingindo 1,6 kg por dia. Além disso, na América Latina, mais de 60% dos resíduos acabam em aterros mal controlados. A composição dos resíduos sólidos também mudou de orgânica para não biodegradável. Por outro lado, a América Latina é conhecida por sua abundância em recursos naturais, respondendo por 44% do cobre mundial, 49% da prata, 65% do lítio, 20% das reservas mundiais de petróleo, 33% das reservas de água doce e 20% das florestas nativas na Terra. A EC é a oportunidade para a América Latina saltar ao incorporar tecnologias e desenvolver a indústria 4.0, permitindo que a região participe ativamente da quarta revolução industrial (OSTOJIK, 2019).

Outro exemplo disso, foram as medalhas utilizadas nas Olimpíadas do Japão, que foram produzidas com o uso de metais reciclados de aparelhos eletrônicos. Computadores, celulares e câmeras digitais foram desmontados para reutilizar o ouro, prata e bronze. (De acordo com o Comitê Olímpico Do Brasil, para a fabricação de aproximadamente 5000 medalhas, foram mais de 6 milhões de celulares, 78 toneladas de computadores, tablets e aparelhos antigos quebrados (BRASIL, 2021).

2.4 PANORAMA DA ECONOMIA CIRCULAR NO BRASIL

A Confederação Nacional da Indústria (CNI) realizou uma pesquisa em 2019 e nela mostrou que 76,5% das indústrias desenvolvem alguma iniciativa de economia circular, embora a maior parte não saiba que as ações se enquadram nesse conceito. Entre as principais práticas estão a otimização de processos (56,5%), o uso de insumos circulares (37,1%) e a recuperação de recursos (24,1%). A pesquisa também mostrou que 88,2% dos entrevistados avaliaram a economia circular como importante ou muito importante para a indústria brasileira (CNI, 2021a).

Em meio ao cenário preocupante, percebeu-se que vários países vêm implementando, em suas políticas públicas, medidas para redução de geração de resíduos com incentivo à promoção da economia circular por meio de reuso e reciclagem – e, nos casos em que essas atividades não se viabilizam, pelo aproveitamento energético. Os países desenvolvidos ainda enfrentam desafios na gestão de resíduos, e esses desafios são ainda maiores em países em desenvolvimento, como o Brasil (BNDES, 2019).

A indústria brasileira defende a transição gradual para a EC, modelo que associa desenvolvimento econômico ao melhor uso de recursos naturais. Esse foi o ponto central das propostas que a CNI levou para as discussões em janeiro de 2021, junto ao comitê da norma de economia circular da Organização Internacional de Normalização (ISO, na sigla em inglês), formado por 70 países. A previsão é de que a norma entre em vigor em 2023 (CNI, 2021b).

Segundo CNI (2021a), a proposta da indústria brasileira é que a recuperação energética seja considerada como prática de economia circular, de forma que as práticas no Brasil possam ser enquadradas como sustentáveis. No entanto, a queima não é bem aceita como prática de EC, uma vez que o prolongamento da vida do produto ou material se dá por somente mais uma vez.

Em 2019 empresários brasileiros, com o apoio do Fundo de Financiamento de Estudos de Projetos e Programas (FINEP), organizaram-se no denominado Hub-Economia Circular (HUB-EC), com intuito de dar visibilidade à relevância do tema, demonstrar a aplicabilidade do conceito na prática e, desta forma, comprovar os benefícios do *mindset* circular aplicado à realidade brasileira. Três objetivos são

destacados no primeiro relatório de atividades do HUB-EC (EXCHANGE 4 CHANGE BRASIL, 2021). O primeiro é ser a referência para empresas que queiram fazer a transição para a EC no Brasil e/ou adaptar estratégias globais à realidade do país. O segundo é engajar todas as partes da cadeia produtiva, acelerando a implementação de projetos sistêmicos com ganho de escala e viabilidade econômica, criando cases de sucesso e lideranças de mercado. E por fim o terceiro é o de educar o mercado para este novo modelo de produtividade e torná-lo a nova cultura de negócios, visando o desenvolvimento sustentável e a geração de valor para todos.

A transição para a EC poderia gerar oportunidades de mais inovação e criação de valor no Brasil. Com características mercadológicas e sociais únicas e capital natural incomparável, o Brasil é um cenário atraente para a exploração de oportunidades que a economia circular poderia trazer para a construção do capital econômico, social e natural (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).

Como o nosso país possui grande parte de sua economia calcada na extração de recursos naturais (água, produtos minerais, silvícolas, agrícolas ou agropecuários), entende-se como de importância estratégica não apenas acompanhar esta discussão, mas também realizar desde cedo uma reflexão acadêmica sobre o alcance destas estratégias no país, já que ainda nos encontramos em pleno esforço de implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, promulgada desde 2010 (RIBEIRO; KRUGLIANSKAS, 2017).

A logística reversa tal como considerada na economia circular ganhou apenas uma pequena parte na Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabelecida pela Lei 12.305/2010, na medida em que a obrigatoriedade de implantação deste do sistema foi prevista somente para itens específicos, de forma taxativa (AZEVEDO, 2015).

No entanto, a logística reversa, nos modelos aplicados até o momento, tem sido capaz de ampliar os índices de reciclagem de alguns produtos e embalagens, mas tem falhado como indutores da melhoria dos projetos destes. Ou seja, o custo da logística reversa, por maior que seja, não tem sido instrumento eficiente para a eliminação da causa do problema, que está no início do ciclo de vida (RIBEIRO; KRUGLIANSKAS, 2017).

Certas oportunidades, assim como certos desafios, são comuns a todas as economias, como, por exemplo, a importância da alavancagem da tecnologia digital para o aproveitamento de oportunidades da economia circular. Contudo, em países como o Brasil, esse papel da tecnologia e das soluções digitais é especialmente

relevante, pois seus custos marginais podem exercer um impacto transformador sobre o caminho de desenvolvimento do país. Na pesquisa sobre o Brasil, houve destaque para uma série de práticas de economia circular com foco no fim da cadeia de produção. Expandir essas atividades e estendê-las até a cadeia de valor contribuirá para transformar a economia circular no modelo econômico predominante (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).

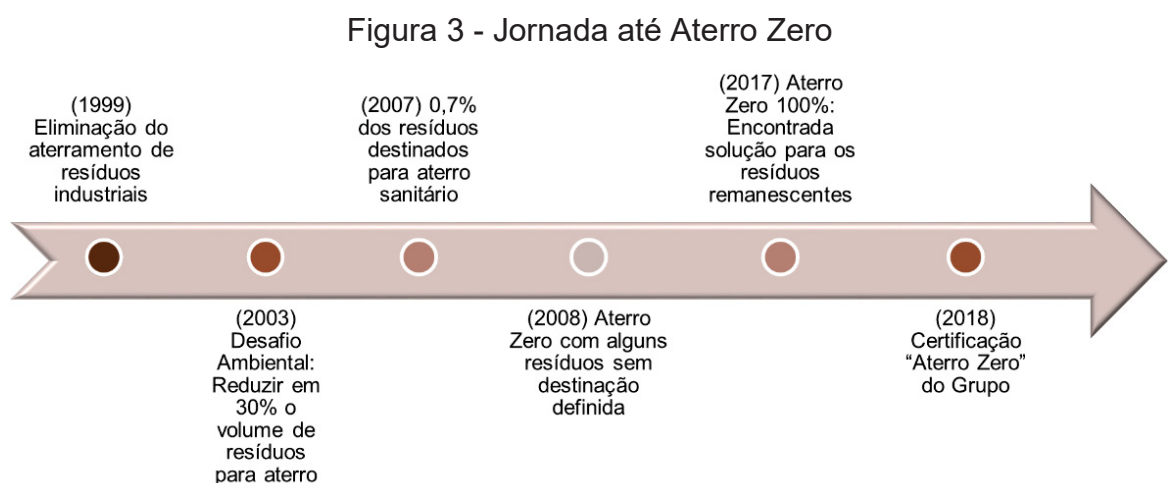
3 ESTUDO DE CASO - INDUSTRIA AUTOMOTIVA

A empresa em estudo foi a Volvo do Brasil, indústria automotiva localizada na cidade de Curitiba, Estado do Paraná.

Como outras indústrias automotivas, ainda tem um longo caminho a percorrer antes de aproveitar todo o potencial da economia circular, porém vem dando passos importantes em direção à eficiência no uso de recursos. Embora o resíduo possa ser tratado de várias maneiras diferentes, sabe-se que a reciclagem e a remanufatura de peças são essenciais à redução da pegada ecológica de empresas do setor. Cerca de um terço do peso de um veículo novo produzido nesta empresa é proveniente material reciclado. Aproximadamente metade do ferro forjado vem de metal reciclado e 97% do ferro fundido é feito de ferro reciclado. A escolha de materiais também considera o final da vida útil do produto, uma vez que são utilizados materiais que podem ser facilmente reciclados, recuperados e remanufaturados.

3.1 PRÁTICAS EXISTENTES DE ECONOMIA CIRCULAR NA EMPRESA

O histórico apresentado pela empresa demonstrou que a busca pela condição aterro zero iniciou no ano de 1999, ano em que o envio de resíduos para aterros industriais foi zerado. A FIGURA 3 ilustra a jornada em uma linha do tempo:



Fonte: o autor (2021)

Em 2007, a quantidade de resíduos destinados a aterro por esta empresa era inferior a 1%, de acordo com os relatórios internos (Sistema CRI – Controle de Resíduos Industriais) e relatórios externos para o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), denominado Relatório de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais (RAPP). Esse valor remanescente correspondia aos resíduos de pilhas, resíduo de vidro e resíduo de varrição, que na época, não tinham uma alternativa de destinação devidamente autorizada pelos órgãos ambientais competentes e homologada pela empresa em estudo. Com as restrições de envio ao aterro, a necessidade de buscar alternativas de destinação para esses tipos de resíduos tornou-se mais importante.

As ações para eliminar disposição em aterros foram realizadas com base no desenvolvimento de soluções para descarte de resíduos e isso foi possível devido à cooperação entre diferentes áreas e departamentos nessa empresa: Operação, Engenharias, Manutenção, Meio Ambiente e *Real Estate* (área responsável pela administração dos assuntos relacionados a infraestrutura e pelo gerenciamento de serviços como limpeza, segurança, manutenção predial e destinação de resíduos).

Uma ação adicional implementada para garantir que os requisitos para Aterro Zero estavam sendo cobertos foi a verificação do destino dos resíduos produzidos nas atividades do restaurante, cuja disposição final é de responsabilidade do fornecedor de serviços de alimentação.

Após a implementação dessa ação, realizou-se a verificação final sobre o descarte de todos os resíduos produzidos na Volvo do Brasil e na sequência foram solicitadas declarações de fornecedores, contendo explicitamente que nenhum resíduo proveniente das atividades fosse destinado a aterros.

Para garantir a continuidade desta condição, o processo de homologação de empresas que processam resíduos foi estabelecido, prevendo a verificação de documentos e de atividades, exigindo e auditando o processo para que nenhum resíduo proveniente das atividades fosse destinado a aterros.

A condição “Aterro Zero” foi assegurada pelos procedimentos de gerenciamento de resíduos e respectivos controles operacionais adotados pela empresa conforme apresentado no QUADRO 1. Estes dados foram cedidos pela empresa em estudo e coletados do “Sistema de Gestão Volvo”, sistema de computador em que é realizada a gestão dos requisitos da norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR ISO 14001: 2015 (ABNT, 2015) de

Sistemas de Gestão Ambiental. Neste sistema, constavam todos os procedimentos relativos à norma citada.

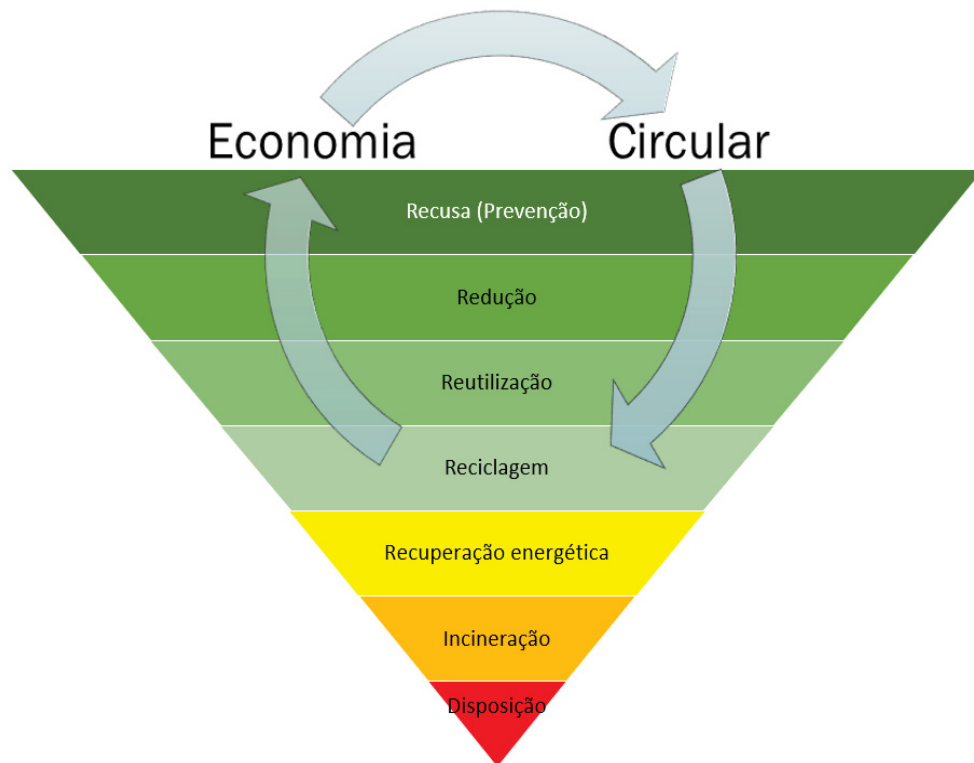
Quadro 1 - Controles Operacionais da gestão de resíduos na empresa

NOME DO DOCUMENTO	OBJETIVO DO DOCUMENTO
Descarte de Resíduos	Definir os critérios para o descarte seletivo dos resíduos gerados na empresa.
Descarte de Resíduos de Produtos Químicos	Definir rotina de descarte de produtos químicos e com ela garantir que eles recebam a destinação adequada.
Descarte de Resíduos de Ambulatório	Definir os critérios para descarte, acondicionamento e coleta de resíduos provenientes das atividades de ambulatório.
Descarte de Resíduos do Refeitório	Definir critério de descarte dos resíduos gerados no refeitório.
Coleta, Movimentação e Destinação de Resíduos	Definir os critérios para coleta e movimentação de resíduos gerados na empresa e destinação dos mesmos a terceiros.
Cadastro e Acompanhamento de Empresas para Processamento de Resíduos	Estabelecer e manter procedimento para desenvolvimento, cadastro e acompanhamento de empresas que realizam tratamento e destinação de resíduos
Resíduos gerados em manutenção e sucateamento de equipamentos	Definir as tratativas a serem dadas aos resíduos gerados em manutenção e os cuidados a serem tomados com o sucateamento de equipamentos.
Operação Terminal de Resíduos	Estabelecer e manter procedimento para a garantia e manutenção adequadas das operações do Terminal de Resíduos
Plano de atendimento a ocorrências ambientais	Definir a sistemática de atendimento a ocorrências ambientais na Volvo do Brasil de forma a prevenir ou mitigar os impactos ambientais adversos associados.

Fonte: o autor (2021)

A empresa descreveu em sua diretriz de Aterro Zero (VOLVO GROUP, 2021), a hierarquia de gestão de resíduos como uma abordagem de tomada de decisão para estabelecer a priorização na geração e gerenciamento de resíduos. Foi ilustrado em pirâmide invertida (FIGURA 4), onde a opção preferível é sempre a prevenção. Para minimizar custos e riscos, a tomada de decisões deveria começar com a recusa (prevenção) seguido de reduzir, reutilizar, reciclar, recuperar energeticamente, incinerar e somente depois que todas as outras opções estiverem esgotadas dispor em aterros.

Figura 4 - Hierarquia de Resíduos



Fonte: Adaptado de Volvo Group, 2021.

O conceito de EC adotado pela empresa abrangeu as práticas de Recusar, Reduzir, Reutilizar, Reciclar, em suas mais diversas formas, tais como remanufatura, compartilhamento, reaproveitamento, entre outros. Dessa forma, as seguintes práticas não foram consideradas como EC no presente trabalho:

- Reaproveitamento energético (a energia gerada na queima de resíduos é utilizada em outro processo);
- Incineração (queima de resíduos sem aproveitamento da energia); e
- Aterro (disposição dos resíduos em solo preparado para esta finalidade).

Além da aplicação dos aspectos da diretriz 'Aterro Zero', outra prática conectada à EC identificada na empresa é o sistema de embalagens retornáveis que suporta os processos de produção, sendo utilizado por fornecedores tanto de primeiro nível quanto de subníveis. É modular e inclui de caixas de plástico duráveis a paletes de madeira tradicionais, com o diferencial de terem sido planejados para serem reutilizados e para durar (FIGURA 5). Além de modulares são desmontáveis,

ocupando menos espaço de armazenamento e de transporte. O sistema permite acompanhar o consumo real de embalagens por local, garantindo o acompanhamento correto, possibilitando rastrear e manter o controle do uso de embalagens.

Figura 5 - Tipos de embalagem retornáveis



Fonte: Volvo (2021)

4 METODOLOGIA

O estudo foi realizado na indústria automotiva Volvo do Brasil, localizada em Curitiba, estado do Paraná.

Nesta unidade, são realizados os seguintes processos: fabricação de cabines (solda, pintura), fabricação de motores (usinagem de blocos, pintura, montagem e teste de motores), linhas de montagem de caminhões e chassis de ônibus. Também conta com área de desenvolvimento de produtos (engenharia) e garantia. E uma área de remanufatura, em que são recuperadas peças que são reinseridas no mercado após limpeza, recuperação e testes de qualidade.

Estes processos geram diversos tipos de resíduos, provenientes de embalagens, borras e lodos de processos e também peças descartadas por dano ou por problemas de qualidade.

Dados relacionados à geração de resíduos sólidos desses processos foram coletados, do período de janeiro a dezembro do ano de 2020. Também foram coletados dados confirmatórios, especificamente de geração de resíduos de madeira, de anos anteriores 2018 e 2019.

As informações foram cedidas pela empresa em estudo para a realização desta pesquisa e foram obtidas por meio de entrevistas, acesso a dados de sistemas e controles em planilhas *Microsoft® Excel® for Microsoft 365* versão 2102, tais como: dados de utilização de embalagens, geração de resíduos, além de documentos internos do sistema de gestão ambiental.

Na primeira etapa do trabalho, os resíduos gerados na empresa foram identificados. Para isso, coletou-se informações de relatórios em Excel extraídos do banco de dados denominado Controle de Resíduos Industriais (CRI), que contempla o registro dos resíduos destinados pela empresa, classificação de cada tipo de resíduo de acordo com norma NBR 10.004 (ABNT, 2004), controle quantitativo por data de destinação, controle de emissão de nota fiscal, empresa de destinação e tipo de destinação dada ao resíduo.

Com base nos dados coletados no CRI, foram identificados e quantificados os resíduos que estavam fora do conceito de EC da empresa, ou seja, as quantidades de resíduos, em quilogramas, que no período de estudo estavam sendo destinados à incineração ou à recuperação energética, uma vez que a terceira destinação seria aterro e a empresa não enviou resíduos a esta destinação no período de estudo.

Os resíduos destinados à reciclagem também foram quantificados, para possibilitar os cálculos e comparações.

Os dados quantitativos por resíduo, organizados por data de destinação, foram tabulados para o ano de 2020. A partir desses dados foram gerados gráficos tipo Pareto no Excel. A partir desses gráficos, foram identificados os resíduos com maior impacto negativo, ou seja, aqueles que deveriam ser priorizados por terem maior quantidade de geração e maior potencial de promover a EC.

Também foram gerados gráficos por destinação de resíduos, de forma a identificar os percentuais, por classe de resíduos, que a empresa em estudo teria como oportunidade para a EC.

Ainda, como forma de promover a priorização por meio da hierarquia de resíduos e de tornar as práticas mais aderentes à EC, foram gerados gráficos Pareto para os resíduos recicláveis, identificando resíduos prioritários que atualmente são reciclados, mas que poderiam ser reduzidos, reutilizados, remanufaturados ou reciclados.

A partir dos resultados obtidos, foram levantadas alternativas que pudessem aumentar o índice de EC. Os princípios de EC utilizados neste trabalho utilizaram hierarquia de resíduos como ponto de partida, ou seja, a prevenção (ou recusa) como o mais alto princípio de EC, seguidos de redução, reutilização e por fim de reciclagem dos resíduos.

As alternativas foram analisadas com base nos critérios Técnico, Mercadológico, Legal e Institucional, elencados com base em Grafström e Aasma (2021), Paletta et al. (2019), Kirchherr et al. (2018) e De Jesus e Mendonça (2018), em que estes aspectos são apontados como classes de barreiras para a EC. Para este estudo, as referidas barreiras foram utilizadas como os critérios de avaliação, apresentados no QUADRO 2.

Quadro 2 - Critérios de avaliação

Nº	Critério	Objetivo
I	Técnico	Verificar se existe tecnologia ou infraestrutura para a alternativa
II	Mercadológico	Verificar se existe demanda de mercado para o produto ou subproduto da alternativa.
III	Legal	Verificar se existe alguma barreira de legislação para a alternativa

IV	Institucional	Verificar se existe alguma barreira institucional para a alternativa
----	---------------	--

Fonte: o autor (2021)

Posteriormente, as alternativas foram sintetizadas, considerando como classificações os termos “atende”, “atende parcialmente” e “não atende”. De forma a facilitar a visualização e avaliação, utilizou-se um padrão de cores para as categorias, sendo verde para “atende”, amarelo para “atende parcialmente” e vermelho para “não atende”.

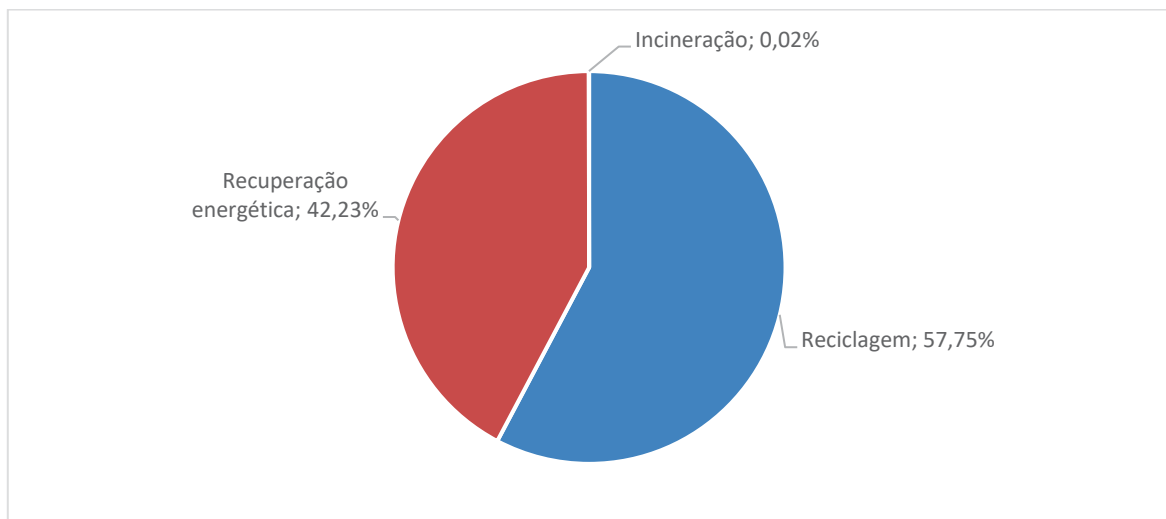
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 RESÍDUOS E DESTINAÇÃO

A partir dos dados de geração de resíduos disponibilizados pela empresa, foram elaborados gráficos para identificar e analisar os destinos dados a eles.

A primeira análise realizada foi por tipo de destinação dos resíduos. Gerou-se um gráfico pizza, agrupando os resíduos por destinação. Foram obtidos os resultados apresentados na FIGURA 6.

Figura 6 - Destinação de resíduos em 2020 (%)



Fonte: o autor (2021)

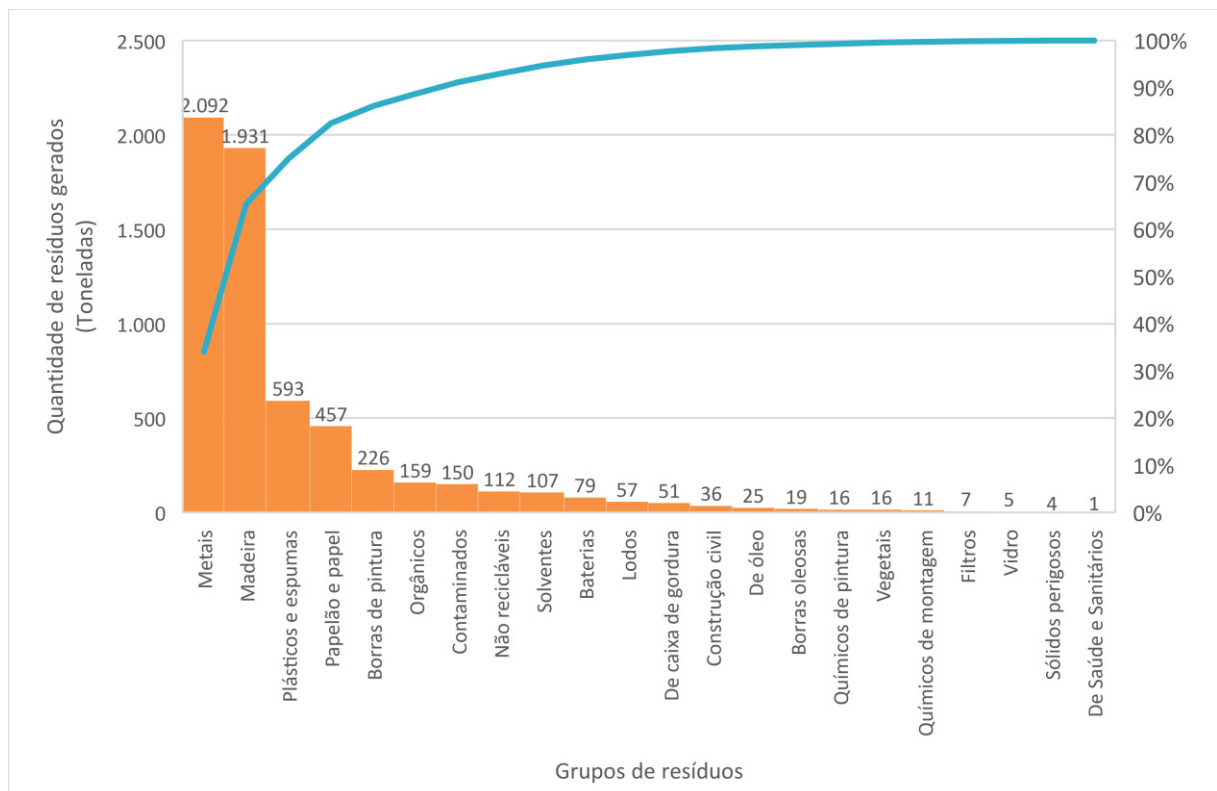
Conforme observado na FIGURA 6, do total de resíduos produzidos em 2020, 57,75% foram destinados à reciclagem, 42,23% à queima com recuperação energética e 0,02% à incineração, ou seja, queima sem recuperação energética.

Considerando que para a empresa o índice de EC consiste em todos os resíduos que estão nos níveis Reciclar, Reutilizar, Reduzir e Recusar da hierarquia de resíduos, foi possível afirmar que o índice de EC foi de 57,75%, uma vez que a empresa não controlava os valores de resíduos das demais categorias, de Reutilização, Redução e aqueles resíduos não gerados devido a projetos de melhorias em produtos e processos. Dessa forma, foi possível considerar que o índice de EC era composto apenas pelos resíduos reciclados, identificando-se com isso oportunidade de melhorar a qualidade deste indicador, com a inclusão de métricas relacionadas às demais categorias de EC na empresa.

Já os resíduos que estavam nos níveis recuperação energética e incineração, compunham 42,25% do total gerado, caracterizando-se como aqueles com o maior potencial de contribuir para a EC caso ocorresse a mudança da destinação para níveis superiores da hierarquia. Para identificar quais tipos de resíduos poderiam ser priorizados com esta finalidade, passou-se a aprofundar e detalhar informações sobre as quantidades geradas por tipo de resíduo e destinos dados a eles.

A análise subsequente foi das quantidades geradas de resíduos. Para tanto os dados foram apresentados em gráfico t Pareto, conforme a FIGURA 7.

Figura 7 - Gráfico Pareto de resíduos gerados - ano 2020



Fonte: o autor (2021)

Conforme FIGURA 7, a empresa gerou 22 tipos de resíduos diferentes, em quantidades variadas, tendo os Metais e a Madeira como destaque. Os metais foram provenientes de peças sucateadas, cavacos do processo de usinagem de bloco de motores, ferramentas e outros. Já a Madeira teve sua origem primordialmente em descarte de embalagens.

Também pode-se verificar na FIGURA 7, que 4 dos 22 grupos de resíduos gerados pela empresa representaram 82% do total. Esses grupos foram classificados como:

- Metais: ferrosos e não ferrosos;
- Madeira;
- Plásticos e espumas não contaminados com produtos químicos;
- Papel e papelão.

Destes 4 grupos, apenas a madeira foi destinada à recuperação energética, estando de fora do índice de economia circular. Os outros 3 grupos restantes foram destinados à reciclagem, compondo este índice.

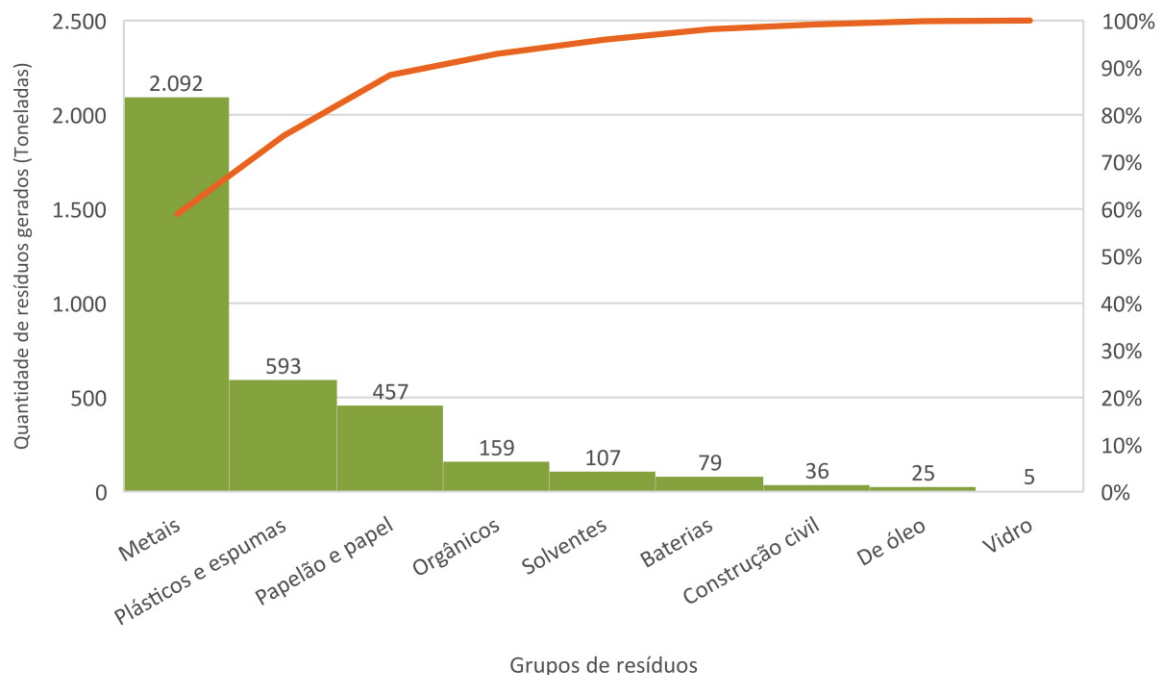
5.2 RESÍDUOS RECICLADOS

Em 2020, 57,75% dos resíduos gerados na empresa foram destinados à reciclagem, ou seja, 3.554 toneladas. A reciclagem consiste no processamento do material descartado para obtenção de um material de qualidade igual ou inferior. Normalmente materiais recicláveis são objeto de comercialização pelas empresas geradoras, caracterizando-os como fonte de recursos.

Os resíduos reciclados compõem o índice de EC da empresa, o que poderia ser considerado suficiente e não provocar a necessidade de atentar para este grupo. Porém, entendeu-se que dentre as categorias da hierarquia de resíduos, a reciclagem é o nível mais baixo, abrindo então oportunidade de passarem a níveis mais elevados. As quantidades de resíduos dos níveis superiores da hierarquia não foram consideradas no índice de EC, pois não existiam métricas para tal.

Considerando o acima exposto e seguindo a lógica da priorização de grupos de resíduo com maior geração, as análises subsequentes foram realizadas e para isso gerou-se um gráfico com os dados de resíduos reciclados, conforme FIGURA 8.

Figura 8 - Resíduos reciclados - ano 2020



Fonte: o autor (2021)

Conforme FIGURA 8, dentre os resíduos reciclados, destacaram-se os metais, seguidos de plásticos e espumas e então de papel e papelão.

Para os metais, uma possível alternativa para reduzir o volume gerado seria melhorar a qualidade nos fluxos logísticos de forma a reduzir a quantidade de peças que chegam à empresa danificadas, já que dessa forma precisam ser sucateadas. Outra alternativa seria a implementação de logística reversa de metais ferrosos para o fornecedor de blocos de motores, para reutilização em seu processo.

Da mesma forma que para os metais, para os plásticos e espumas também existem alternativas para subir ainda mais na hierarquia de resíduos e por conseguinte na EC. Os plásticos são muito utilizados em embalagens e na maioria das vezes de forma descartável. Algumas vezes não são nem mesmo utilizados como embalagem da peça em si, mas sim como preenchimento de espaços vazios, para garantir a qualidade das peças.

Entende-se a necessidade desta garantia e como visto ela é importante não apenas para o fluxo produtivo ser mantido, mas adicionalmente contribui para o não sucateamento de peças. Todavia, os plásticos descartáveis usados como preenchimento em embalagens poderiam ser substituídos por materiais reutilizáveis, retornando ao fornecedor ou mesmo podendo ser utilizado em outros processos na

própria empresa. Adicionado a isso, os plásticos trazem consigo um agravante de serem fabricados a partir de petróleo, recurso não renovável (OECD, 1997). Como alternativa, a existente tecnologia para a produção de bioplásticos, que podem ou não ser biodegradáveis, poderia ser considerada pela empresa.

Papel e papelão apareceram como o grupo de resíduo de 3ª maior geração dentre os reciclados. Estes materiais são fabricados a partir de recursos renováveis e na maioria das empresas são destinados à reciclagem após único uso. Por isso, normalmente não recebem muita atenção. Porém ressalta-se aqui uma oportunidade de reuso desse material, como preenchimento de embalagens, após triturados. Existem equipamentos industriais que poderiam ser alocados na própria empresa com esta finalidade, possibilitando com isso a reutilização e reduzindo o descarte final.

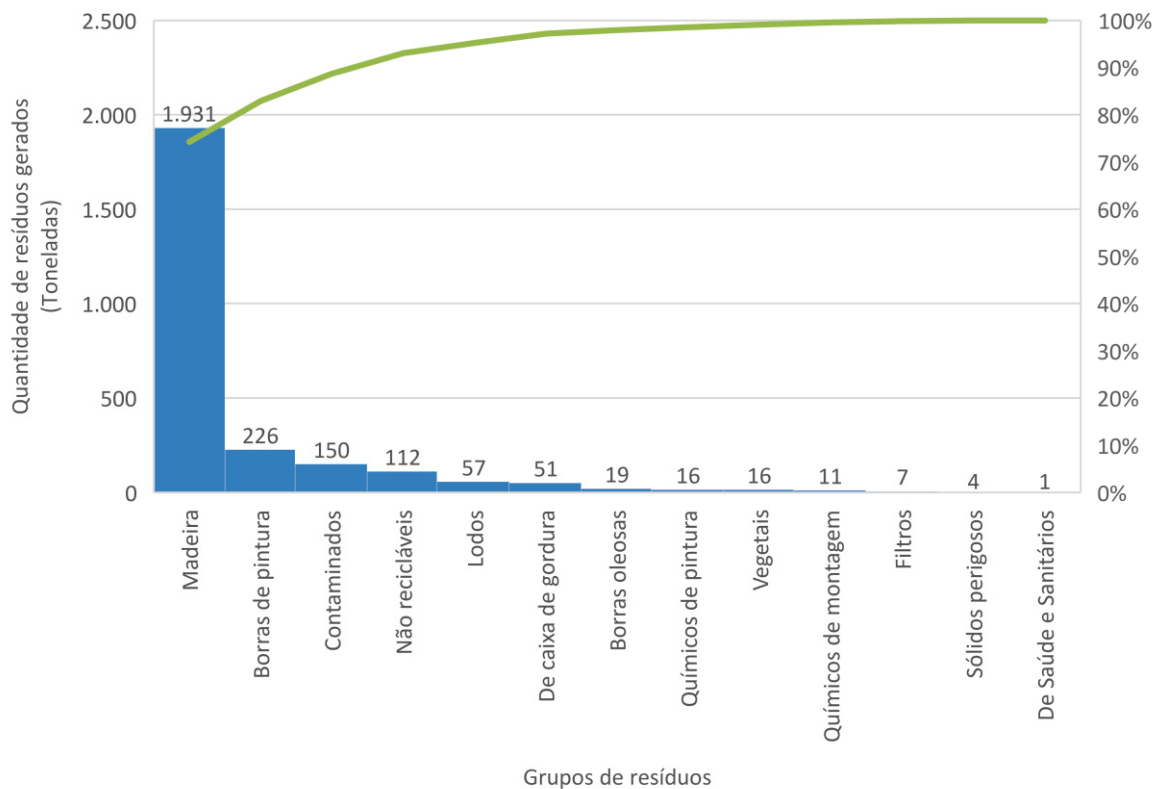
5.3 RESÍDUOS NÃO RECICLADOS

Os resíduos não reciclados foram destinados à recuperação energética ou à incineração e, portanto, não compõe o índice de EC da empresa. Sendo assim, optou-se por dar continuidade ao estudo a partir deles. Em 2020, conforme mostrado na FIGURA 6, eles corresponderam a 42,25% do total de resíduos gerados na empresa, o que correspondeu a um volume de 2.600 toneladas.

Sabe-se que o ideal para a EC é que haja a total eliminação desses resíduos, ou mesmo que todos passem a ser reutilizados ou reciclados. Porém este cenário deve acontecer não em curto prazo, mas em médio ou até mesmo a longo prazo. A curto prazo, dentro do contexto empresarial, faz-se necessário priorizar as ações, para testá-las, aprimorá-las e ter a possibilidade de expandi-las na sequência. Sendo assim, este trabalho buscou priorizar os resíduos e ações voltadas para a EC.

A quantidade de resíduos não reciclados por tipo pode ser observada no gráfico tipo Pareto, na FIGURA 9.

Figura 9 - Quantidade de resíduos não reciclados



Fonte: o autor (2021)

A partir da FIGURA 9 foi possível observar que a madeira, de forma isolada, representou 74% dos resíduos não reciclados, confirmando-se como o grupo de resíduo a ser priorizado na busca por oportunidades de melhoria no índice de EC na empresa.

O resíduo de madeira é em sua maioria proveniente de embalagens e em menor parte do sucateamento de móveis e de resíduos de construção civil. Ajwani-Ramchandani et al. (2021) ressaltam que os resíduos de embalagens são problemas ambientais críticos e um dos focos dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, o que reforça a identificação desse resíduo como prioritário.

As peças são recebidas em parte dentro de embalagens de madeira descartável e em parte em embalagens retornáveis. Observou-se que mesmo para as embalagens retornáveis, que seguem um fluxo logístico próprio e dedicado ao grupo empresarial, o volume descartado foi alto, correspondendo a 778 toneladas no ano de 2020, ou 40% do total de madeira descartada naquele ano. Estas embalagens poderiam ser descartadas apenas quando irreversivelmente danificadas e não foi este o cenário observado. Com esta constatação, foi possível identificar a oportunidade de

incremento no índice de EC da empresa, por meio do estabelecimento de padronização para o descarte, evitando-se enviar para recuperação energética aquelas embalagens com possibilidade de recuperação física e retorno ao fluxo logístico.

Com relação às embalagens descartáveis, identificou-se grande potencial de contribuição à EC, pois após o recebimento das peças, elas são desmontadas e enviadas para recuperação energética, tendo sido utilizadas apenas uma vez. Em outras unidades do mundo desta mesma empresa, a madeira é triturada e em alguns casos é prensada antes do envio à destinação. Iniciativas de reutilização estão presentes em várias dessas unidades, porém de forma isolada.

Na unidade de Ghent, na Bélgica, é utilizado um equipamento denominado *Roll Packer*, que permite compactar materiais como *pallets* e caixas de madeira. Segundo o fornecedor do equipamento, além de ser um equipamento de simples instalação, fácil operação e baixa manutenção, contribui para a redução da emissão de gás carbônico e melhora os indicadores de meio ambiente. Isto porque a movimentação de caminhões para transportar esse material diminui após a compactação feita pela máquina. O material que antes seria coletado em três caçambas, pode ser reduzido a apenas uma (KWM, 2019).

Na montadora CNH Industrial em Curitiba, o *Roll Packer* foi implantado e com isso, o número de viagens necessárias para levar o resíduo do gerador à empresa de destinação final diminuiu de 108 para 46 viagens por mês, contribuindo significativamente para a redução de emissões de CO₂ desse processo (KWM, 2020).

Em outras montadoras, como na Renault, foram identificadas práticas de uso da madeira para geração de energia na própria planta industrial (INSTITUTO RENAULT, 2021). Segundo o Relatório, em 2020 esta empresa consolidou o processo de geração de energia a partir da queima de biomassa para aquecimento de água, elevando a parte de energia renovável de sua matriz energética para 60%. Além de migrar de uma fonte de energia fóssil para fonte renovável, o novo processo reutiliza sobras de madeira originadas da atividade industrial eliminando o transporte para outras destinações e reduz em 55% o custo de geração de energia térmica. Além deste fato, quando em bom estado, os paletes de madeira usados são reaproveitados dentro da empresa ou revendidos para o mesmo uso.

Na montadora General Motors (GM), as embalagens de madeira também são feitas de acordo com especificações particulares. Na planta de Gravataí – RS, no lugar

de enviar esses materiais para aterro, esta empresa trabalhou com área de projetos de embalagem e com fornecedores para fazer a transição para paletes reutilizáveis, eliminando a necessidade de descarte após um único uso. O esforço resultou na redução de 205 toneladas de madeira em 2020, de acordo com o Relatório de Sustentabilidade da empresa (GM, 2021).

Na unidade do México, a GM já atua com embalagens retornáveis de madeira. Para as plantas produtivas, foi estabelecida a meta de tornar as embalagens 100% retornáveis ou feitas de conteúdo predominantemente sustentável e que gere zero resíduo até 2030.

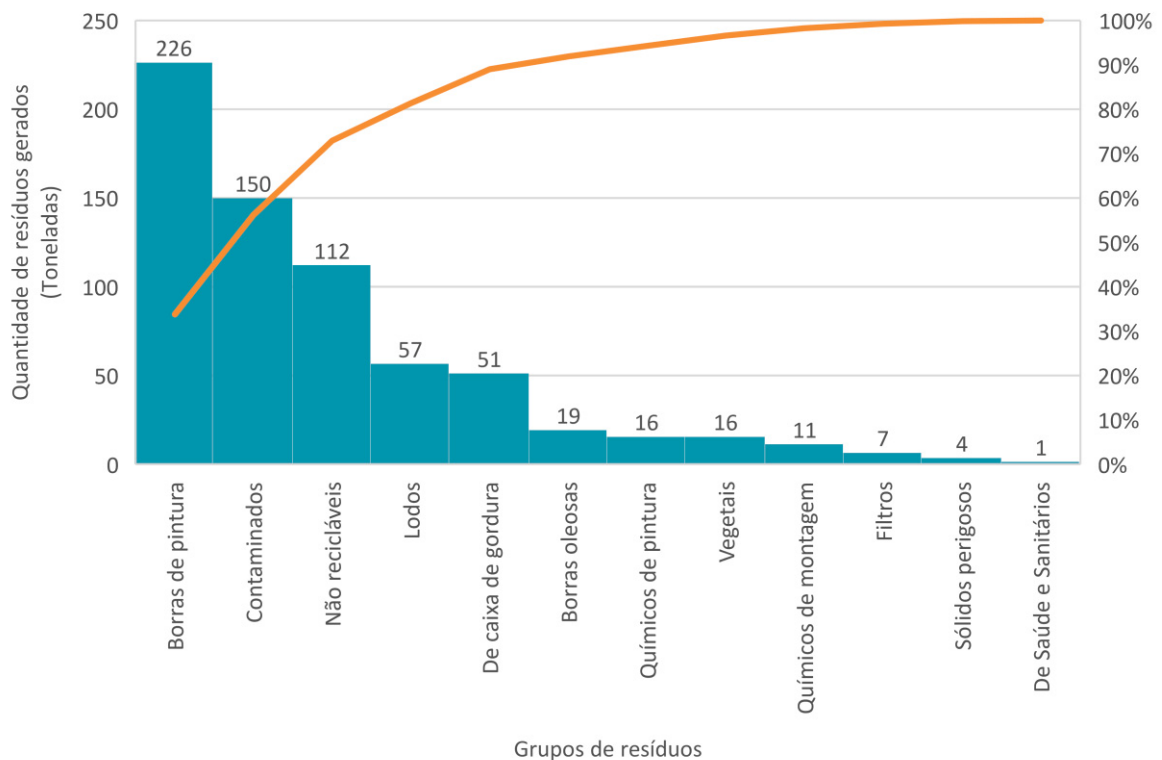
Já a montadora Scania vem buscando a substituição da madeira por embalagens recicláveis como de papelão. Foi o caso das janelas do caminhão, que eram transportadas em pallets de madeira e poliestireno expandido e ao buscar otimizar e passaram a utilizar embalagem em favo de mel, usando papel sustentável. Desta forma, passou-se de uma solução formada por múltiplos materiais para outra fabricada com um único material, o que ainda reduziu o espaço de armazenamento em 50%, representando também redução de custos de transporte da Scania (IMAM, 2018).

Em visita técnica realizada na empresa BMW em 2020, verificou-se que a empresa recebia as peças primordialmente em embalagens recicláveis de papelão, mesmo as peças importadas e as enviava para reciclagem, não utilizando embalagens de madeira para este fim.

Neste ponto do presente estudo, o resíduo de madeira já mereceria destaque, devido ao grande volume gerado e o potencial de contribuição à EC. Porém entendeu-se que o estudo ainda demandava de aprofundamento e então prosseguiu-se com a investigação.

Devido à grande diferença observada entre os resultados da madeira e os demais resíduos, optou-se pela construção de um outro gráfico excluindo-se a madeira (FIGURA 10), para observar outros resíduos teriam potencial para melhorar a EC da empresa.

Figura 10 - Quantidade de resíduos não reciclados, excluindo a madeira



Fonte: o autor (2021)

Os 4 grupos principais são compostos pelos seguintes resíduos:

- Borra de pintura: borras de tintas, borras do processo de fosfatização e borra de decapagem;
- Contaminados: resíduos contendo restos de tintas, solventes, óleos, graxas ou outros produtos químicos;
- Não recicláveis: resíduos que na coleta seletiva não se enquadram nas classes de recicláveis ou classes específicas;
- Lodos: resultantes do tratamento de efluentes e do processo de fosfatização.

Com base nestes resultados foi possível identificar que os resíduos denominados de borras de pintura, seguidos de contaminados, não recicláveis e de lodos seriam os próximos a serem priorizados para a promoção da EC, em seguida à madeira.

Apesar de não serem os resíduos de maior representatividade numérica, os resíduos aqui apontados em parte apresentaram-se como resíduos classe I, de acordo com a norma NBR 10004 (ABNT, 2004). Ou seja, são resíduos perigosos e deveriam

receber especial atenção por esta característica. São eles as borras de pintura, os resíduos contaminados e os lodos.

As borras de processos de pintura são geradas devido às perdas no processo, ou seja, pigmentos ou restos de produtos químicos que não aderiram à superfície do produto e que então tornaram-se material residual. Para reduzir a geração deste resíduo, empresa poderia direcionar esforços para aumentar a eficiência do processo, minimizando essa perda.

Resíduos contaminados com produtos químicos são materiais que poderiam ser reciclados ou reutilizados, mas por terem tido contato com produtos químicos são classificados como contaminados, inviabilizando sua reciclagem. Em determinados casos, este contato é inevitável, por tratar-se de embalagens primárias dos próprios produtos químicos. Porém, em outros casos de contato com produto químico, ocasionados pelo próprio processo ou por acidentes, a contaminação poderia ser evitada e por conseguinte, a geração seria de resíduo reciclável e não de contaminado.

Os lodos são gerados em processos de tratamento de efluentes industriais da empresa, bem como no processo de fosfatização, que faz parte do tratamento de superfície dado às chapas metálicas estampadas, antes de receberem a pintura. A minimização deste tipo de resíduo depende da alteração ou minimização de produtos químicos nos processos, o que está fortemente ligado ao projeto do produto. Este é um exemplo de resíduo que poderia ser eliminado ou minimizado por meio do conceito da EC de projetar produtos que não gerem resíduos, ou seja, que a concepção do produto já aconteça com a premissa de não gerar resíduos.

5.4 O RESÍDUO DE MADEIRA

A partir da observação que a madeira foi o resíduo não reciclado gerado em maior quantidade na empresa no ano de 2020 e de sua grande representatividade, quando comparada aos demais tipos de resíduos, o presente trabalho foi aprofundado para este grupo.

Visitas às unidades fabris e entrevistas foram realizadas, verificando-se que o resíduo de madeira foi originado do descarte de embalagens de peças nacionais ou importadas. Após o recebimento das embalagens, as peças eram retiradas das embalagens e poderiam ter dois destinos, conforme o tipo e condição da embalagem.

Os resíduos de madeira gerados em maior quantidade foram classificados em dois tipos conforme a cor da embalagem, apresentados no QUADRO 3.

Quadro 3 - Informações sobre resíduo de madeira

Tipos de resíduos	Uso da embalagem	Tipos de embalagem	Geração do resíduo	Destino após o descarte
Azul	Retornável	Paletes de madeira, laterais desmontáveis e tampas.	Ao final da vida útil, após diversas utilizações	Recuperação energética
Branco	Descartável	Caixas e paletes de madeira	Após um único uso	Recuperação energética

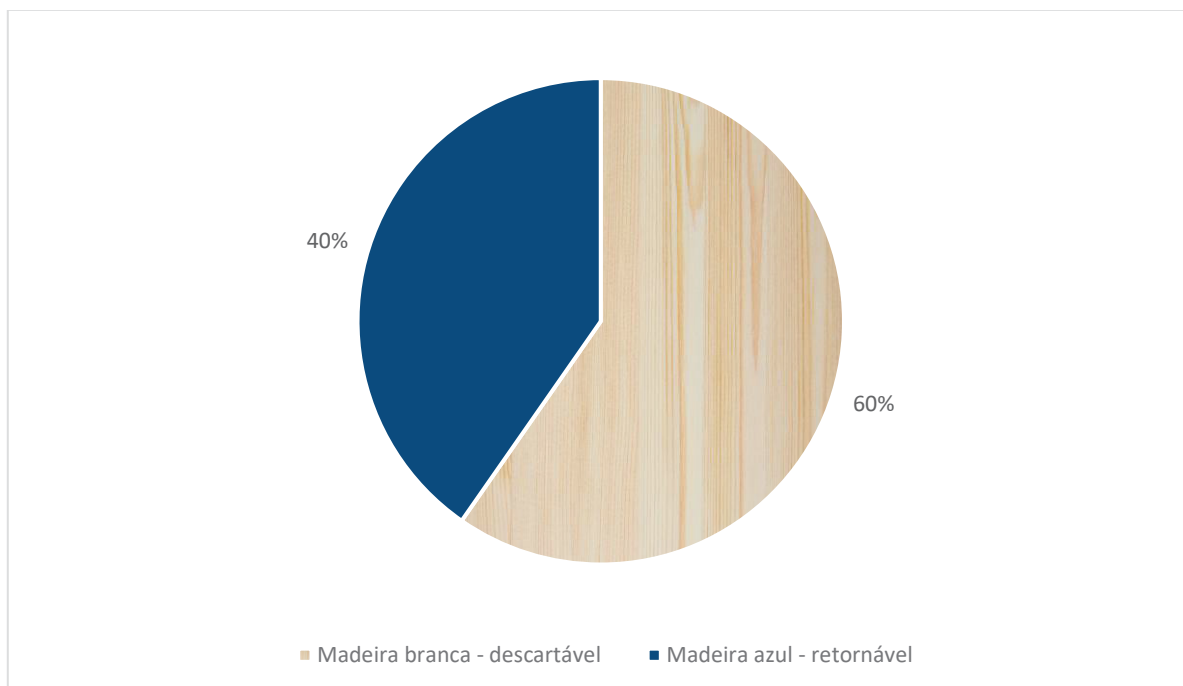
Fonte: o autor (2021)

O resíduo de embalagem descartável (madeira branca) é desmontado por uma empresa terceirizada na unidade fabril. Posteriormente é armazenado em uma caçamba até que ela esteja com volume completo. A caçamba é coletada e transportada à empresa destinadora do resíduo. Lá o material é processado e triturado alcançando diversos tamanhos de cavacos e serragem. Posteriormente é comercializado com empresas de calcário, olarias, ou que possuam fornos e caldeiras, para utilização como biomassa, na geração de energia.

Já as embalagens retornáveis (madeira azul), após a retirada das peças, são enviadas a um fornecedor externo à unidade fabril, que as desmonta e separa por tipo e tamanho. Neste processo, são realizadas análises do estado das embalagens e no caso de serem consideradas em final de vida útil ocorre o descarte. Tal descarte, apesar de ser realizado externamente, seguem a partir de lá o mesmo fluxo que as embalagens descartáveis. As demais embalagens azuis retornam ao fluxo de reutilização.

Relativo aos resíduos gerados no ano de 2020, as quantidades dos tipos madeira azul e madeira branca se apresentaram conforme a FIGURA 11.

Figura 11 - Geração de resíduo de madeira, por tipo, em 2020 (%)



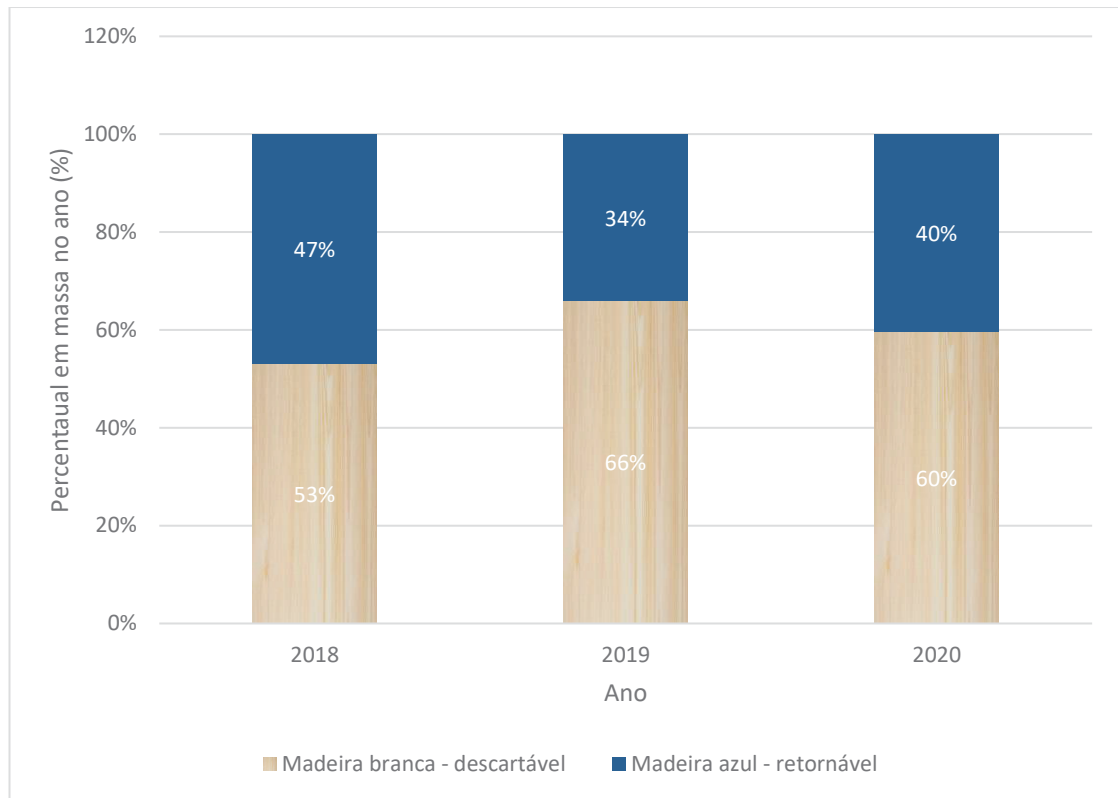
Fonte: o autor (2021)

Dados dos anos anteriores foram levantados para efeito de comparação e confirmação da priorização dada à madeira branca.

Ao comparar os dados de 2018, 2019 e 2020 na FIGURA 12, pode-se verificar um maior percentual de madeira branca gerado em todos os anos, quando comparado à azul. No ano de 2019 este percentual foi 6% a mais que em 2020 e em 2018 foi 7% a menos, mas ainda assim confirmou-se a importância dessa priorização.

Segundo relatado em entrevistas, nos anos de 2018 houve aumento na quantidade de resíduos de madeira azul gerado devido à norma internacional para medidas fitossanitárias nº 15 (MAPA, 2010) de controle de pragas, provocando a necessidade de descarte de embalagens que não estavam em final de vida útil, mas que não atendiam às normativas internacionais.

Figura 12 - Tipos de resíduos de madeira - anos 2018, 2019 e 2020



Fonte: o autor (2021)

A madeira branca proveniente de caixas e paletes de uso único foi a de maior representatividade no processo. A partir desta informação os dados de origem dessas embalagens foram destacados e aprofundados neste estudo.

Inicialmente as peças recebidas do principal fornecedor estrangeiro foram identificadas. As peças embaladas em madeira por este fornecedor eram as chapas metálicas estampadas para a montagem da cabine do caminhão, portanto são peças grandes e que possuem requisitos de qualidade específicos.

Os dados foram organizados por tipo de peça e embalagem em que são recebidos, por quantidade de peças, embalagem e peso. Desta forma foi possível calcular o peso de madeira recebido por tipo de peça, apresentados na TABELA

Tabela 1 - Embalagens de madeira branca contendo peças metálicas - Ano 2020

PEÇA	Embalagem (modelo)	Peças embalagem (unidade)	Peças no ano (unidade)	Embalagens/ ano (unidade)	Peso embalagem (kg)	Peso (tonelada)	Peso total
CHAPA DO TETO A	J	20	1594	80	150	12,0	
CHAPA DO TETO B	J	20	554	28	150	4,2	
CHAPA DO TETO-C/ABERTURA	K	20	302	15	150	2,3	
COBERTURA MOTOR	M	25	16928	677	150	101,6	
ESTRUTURA DA PORTA LD	D	60	17025	284	150	42,6	
ESTRUTURA DA PORTA LE	D	60	17030	284	150	42,6	
LATERAL CAB. EXT-DIR	B	40	903	23	40	0,9	
LATERAL CAB. EXT LE	B	40	891	22	40	0,9	
PAINEL DE PORTA EXT. - LD	A	68	17004	250	30	7,5	
PAINEL DE PORTA EXT. - LE	A	68	17004	250	30	7,5	
PAINEL DE PORTA INT. - LD	L	68	16924	249	150	37,3	
PAINEL DE PORTA INT. - LE	E	68	16924	249	130	32,4	
PAINEL DO TETO	A	80	1531	19	30	0,6	
PAINEL DO TETO H2 CABPTR1	A	80	15375	192	30	5,8	
PAINEL LATERAL INT. H2 LD	C	45	15638	348	100	34,8	
PAINEL LATERAL INT. H2 LE	C	45	15646	348	100	34,8	
PAINEL LATERAL TRAS. LD	B	60	17439	291	40	11,6	
PAINEL LATERAL TRAS. LE	B	60	17444	291	40	11,6	
PAINEL PORTA LD	D	60	2440	41	150	6,1	
PAINEL PORTA LE	D	60	2435	41	150	6,1	

PEÇA	Embalagem (modelo)	Peças embalagem (unidade)	por	Peças no ano (unidade)	Embalagens/ ano (unidade)	Peso embalagem (kg)	Peso total (tonelada)
PAINEL TRAS.CABINE	I	50		1603	32	150	4,8
PAINEL TRAS-CAB.L2H1	G	50		302	6	150	0,9
PAINEL TRASEIRO CABINE	F	50		504	10	150	1,5
PAINEL TRASEIRO INF. L1E	F	50		647	13	150	1,9
PAINEL TRASEIRO INFERIOR	F	50		17999	360	150	54,0
PAINEL TRASEIRO INFERIOR	F	50		379	8	150	1,1
TRAVESSA TETO CENTRAL	E	50		15599	312	130	40,6
TRAVESSA TETO CENTRAL	H	25		2399	96	150	14,4
TRAVESSA TETO TRASEIRA	E	35		1710	49	130	6,4
TOTAL							528,5

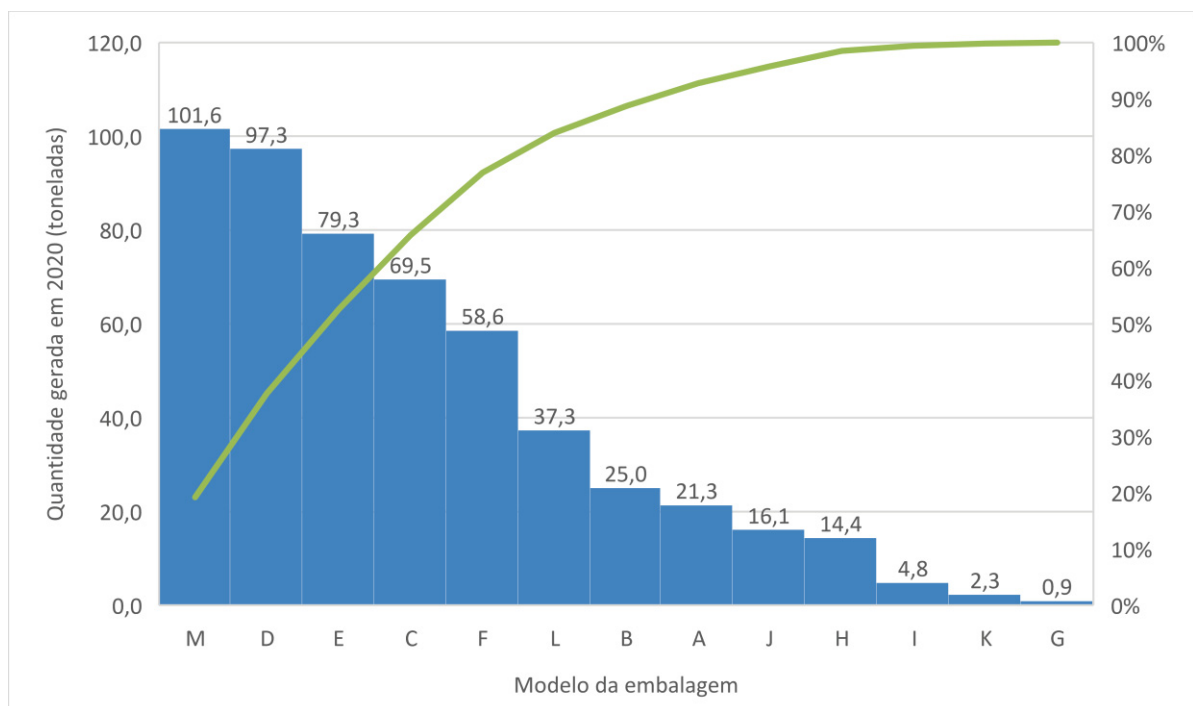
Fonte: o autor (2021)

O total de resíduos de madeira branca importada (528,5 toneladas) representou 46% do total de resíduos de madeira branca gerados em 2020 (1.158 toneladas).

Como forma de priorizar as ações e identificar as embalagens com maior potencial de impacto positivo na EC optou-se por agrupar as embalagens não apenas por tipo de peça, mas por modelo, já que, identificada uma possível solução, esta poderia ser aplicada independentemente do tipo de peça que a embalagem armazena.

Como pode ser observado na FIGURA 13, as cinco primeiras colunas correspondem aos modelos de embalagens descartáveis de madeira branca M, D, E, C e F e representaram 77% do total de embalagens de peças importadas do fornecedor estrangeiro, o que significa 21% do total de resíduo de madeira, conforme demonstrado na TABELA 2.

Figura 13 - Resíduo de madeira por tipo de embalagem



Fonte: o autor (2021)

Tabela 2 - Embalagens com maior potencial de contribuição à economia circular

Embalagem (modelo)	Imagem da embalagem	Peso (tonelada/ano)	Percentual sobre o total de resíduos de madeira
M (EF056)		101,6	5,3%
D (EF031)		97,3	5,0%
E (EF033)		79,3	4,1%
C (EF026)		69,5	3,6%
F (EF043)		58,6	3,0%
TOTAL		406,3	21,0%

Fonte: o autor (2021)

A partir dos resultados obtidos, constatou-se que os modelos M, D, C, E e F de embalagens são os de maior representatividade e merecem destaque no presente trabalho por seu potencial de incremento na EC.

Caso estes 5 modelos de embalagem passem a ser reutilizados ou reciclados, resultaria em aumento de 6,6% no índice de EC da empresa, de 57,75% para 64,35%.

5.5 DESCRIÇÃO DE ALTERNATIVAS

A partir dos resultados até então apresentados e discutidos, identificou-se uma série de alternativas, com intuito de melhorar o índice de EC na empresa.

No Brasil, os resíduos de madeira representam cerca de 70% da madeira processada, segundo Silva et al. (2021). Os autores afirmam que o processo de transformação de toras de madeira em produtos acabados e de alto valor agregado pode resultar em uma quantidade significativa de descarte de cavacos, aparas, cascas e galhos. Silva et al. (2021) ressaltam ainda que possíveis aplicações dos resíduos de madeira poderiam ser: combustíveis para fornos, matérias-primas para a indústria de celulose, geração de energia térmica ou elétrica e para a produção de painéis aglomerados.

Destas aplicações, considerando o conceito de EC da empresa, foram selecionadas: matéria-prima para indústria de celulose e produção de painéis aglomerados. As demais alternativas foram identificadas com base em práticas existentes na empresa, aplicadas em outros processos.

A maior parte das soluções encontradas tiveram foco no final da vida útil da embalagem, voltadas à reciclagem. Este foco também foi verificado no estudo realizado por Ajwani-Ramchandani et al. (2021) para resíduos de embalagens de grandes multinacionais em países emergentes, o que da perspectiva de economia circular é benéfico, mas não contempla os níveis prioritários da hierarquia

De acordo com Rahimi e García (2017), para se estabelecer uma economia circular para embalagens, precisa-se de uma visão sistêmica da gestão de resíduos, ou seja, melhorias nas fases de projetos de embalagem e avanços tecnológicos nas fases de classificação e reciclagem dos materiais.

As alternativas levantadas foram listadas no QUADRO 4 e todas têm a capacidade de aumentar a EC, uma vez que substituiriam a destinação final de recuperação energética por alternativas de EC, como reutilização, redução ou reciclagem.

Quadro 4 - Alternativas analisadas

Nº	Alternativa	Descrição
1	Embalagens Retornáveis	Substituição das atuais embalagens de madeira descartáveis por retornáveis.
2	Comercialização	Venda das embalagens ou suas partes, com demanda de mercado.
3	Embalagens de Papelão	Substituição das atuais embalagens descartáveis por recicláveis de papelão.
4	Painéis de madeira	Destinação para empresas que fabricam painéis de madeira
5	Celulose	Destinação para empresas que fabricam celulose
6	Pasta Termomecânica	Destinação para empresas que fabricam pasta termomecânica
7	Moagem e venda	Transformação da madeira em serragem e comercialização

Fonte: o autor (2021)

5.5.1 ALTERNATIVA 1 – EMBALAGENS RETORNÁVEIS

A empresa em estudo possui sistema interno de embalagens retornáveis, que podem ser de madeira, plástico ou materiais compostos com espumas, papelão e metal, definidas conforme as demandas para cada peça. Estas embalagens seguem fluxos nacionais e internacionais embalando peças desde seus fabricantes até o uso final em uma montadora ou em um de seus distribuidores de peças de reposição, como as concessionárias. Após o uso elas são higienizadas e reutilizadas. Este modelo é importante na EC, pois está em um de seus princípios mais altos, promovendo a reutilização das embalagens, prolongando sua vida útil e assim evitando a geração do resíduo.

Nesta alternativa, as peças que atualmente são importadas em embalagens de madeira descartáveis passariam a usar um dos modelos de embalagem retornável existentes na empresa. A principal vantagem desta alternativa é que se deixaria de gerar o resíduo de madeira branca, passando a gerar o referente apenas às embalagens retornáveis quando danificadas.

Na hierarquia de resíduos esta alternativa está nos níveis redução e reutilização.

Como desvantagem principal, está a necessidade de transporte das embalagens desmontadas até o fornecedor e consequentemente os custos e emissões atmosféricas inerentes ao transporte.

5.5.2 ALTERNATIVA 2 – COMERCIALIZAÇÃO

A comercialização de embalagens de madeira, na exata condição em que são descartadas é uma opção de reuso que foi analisada com o objetivo de prolongar a vida útil de embalagens descartáveis. As embalagens chegam à empresa em condições de reuso. No entanto, ao serem abertas para a retirada da peça, podem ser danificadas e inviabilizar esta alternativa. Outro ponto a ser considerado é que são embalagens projetadas para as peças da empresa, restringindo possíveis interessados na aquisição para reuso. Porém, caso a desmontagem seja realizada de forma cuidadosa e preserve as embalagens, resultaria em placas de madeira que poderiam ser utilizadas para diversos fins, até mesmo em construções.

Esta alternativa estaria alinhada a Ohde (2018) quando ressalta que cria-se valor na economia quando produtos que antes eram descartados ou deixados de lado passam a ter importância por manterem utilidade na cadeia produtiva, seja por seu conteúdo de matéria-prima, peças ou por suas características funcionais.

Apesar dos resíduos de madeira poderem ser reutilizados como material de construção, a presença de contaminantes utilizados no tratamento da madeira para uso como embalagens limita consideravelmente a reciclagem ou reaproveitamento dos resíduos para este fim (FARACA; TONINI; ASTRUP, 2019).

Na hierarquia de resíduos esta alternativa está no nível reutilização.

5.5.3 ALTERNATIVA 3 – EMBALAGENS DE PAPELÃO

A embalagem em papelão apresenta-se como uma das alternativas às atuais embalagens de madeira. Elas também são descartáveis assim como as embalagens de madeira modelos M, D, C, E e F. Todavia, possuem como principal vantagem ambiental o fato de serem recicláveis e poderem ser utilizadas como insumo na fabricação de papelão novamente, após seu uso. Também apresenta a vantagem de pesarem menos e assim contribuir para a redução das emissões de CO₂ no transporte, nos modais terrestre e marítimo em que passam regularmente e no aéreo em que

passam esporadicamente, uma vez que o peso transportado é um dos fatores de cálculo dessas emissões.

Na hierarquia de resíduos esta alternativa está no nível reciclagem.

Figura 14 - Modelos de embalagem de papelão



Fonte: Volvo (2021)

5.5.4 Alternativa 4- painéis de madeira

Em estudo realizado por Silva et al. (2021), painéis de madeira mostraram-se uma aplicação promissora para resíduos de madeira. Comparando a forma convencional de painéis aglomerados no Brasil, todos os cenários alternativos de produção de aglomerado por eles avaliados foram considerados opções ambientalmente melhores. Além de alcançarem propriedades mecânicas aceitáveis para aplicações de engenharia, o material foi considerado sustentável, pois evita o lançamento de CO₂ no meio ambiente devido à queima do resíduo quando enviado para aproveitamento energético.

Esta alternativa partiu da caracterização do resíduo de madeira gerado e análise técnica dos possíveis usos. Foram realizadas caracterizações química e física dos dois tipos de madeira (branca e azul) e posteriormente foram analisadas as viabilidades de uso para painéis de madeira.

Além da aplicação em painéis de madeira, os resíduos em questão também poderiam ser utilizados em painéis de cimento de lã de madeira, descritos por Berger, Gauvin e Brouwers (2020).

A economia circular apresenta benefícios claros em termos de redução dos impactos por unidade de aglomerado fabricado, e pode contribuir claramente com a

produção sustentável, pois agrega valor com menos impactos ambientais (SILVA et al. 2021).

Na hierarquia de resíduos esta alternativa está no nível “reciclagem”.

5.5.5 Alternativa 5- Celulose

Para esta alternativa, o material passou por cozimento Kraft e então, testes do material para uso na produção de celulose foram realizados. Para tanto, a madeira foi triturada e utilizaram-se pedaços de tamanho compreendido entre 63 e 16 mm, obtidos por meio de peneiramento.

Na hierarquia de resíduos esta alternativa está no nível reciclagem.

5.5.6 Alternativa 6- Pastas

Pasta Termomecânica é a pasta de alto rendimento produzida em desfibrador de disco que pressionam cavacos ou serragem de madeira previamente aquecidos à vapor, acarretando a diminuição do tamanho das fibras. Para a avaliação desta alternativa, utilizaram-se pedaços de madeira de tamanho compreendidos entre 100 e 63 mm, obtidos da trituração e posterior peneiramento.

Na hierarquia de resíduos esta alternativa está no nível reciclagem.

5.5.7 Alternativa 7- Moagem

Esta alternativa consiste em reduzir o tamanho da madeira a tamanhos bem pequenos, como de cavaco e serragem, para posterior comercialização.

Nesta alternativa, os subprodutos (cavaco e serragem) não poderiam ser utilizados como biomassa para queima, pois assim estariam se mantendo no atual nível da hierarquia de resíduos, o de “recuperação energética”.

Na hierarquia de resíduos esta alternativa elevaria a destinação para os níveis reutilização e reciclagem.

5.6 AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS

As sete alternativas identificadas possuem capacidade para promover a EC. No entanto, com o intuito de embasar as propostas e facilitar a escolha para a empresa, foram avaliadas de acordo com critérios Técnico, Mercadológico, Legal e Institucional, demonstrados no QUADRO 5.

Quadro 5 - Avaliação de alternativas

Critérios					
#	Alternativa	Técnico	Mercadológico	Legal	Institucional
1	Embalagens retornáveis	Esta alternativa apresenta tecnologia e infraestrutura pronta para ser implementada.	Esta alternativa não gera subprodutos, uma vez que é utilizada dentro do fluxo internacional da própria empresa. Fazendo um paralelo dentro de seu contexto, existe demanda para a ampliação deste fluxo.	Foi avaliada a convenção da Basileia, porém a embalagem a ser exportada não se caracteriza como resíduo. Portanto, não foi identificada restrição de legislação para este item.	Existe restrição da empresa devido ao custo de retorno das embalagens ainda ser alto. Esta alternativa também conflita com os objetivos ambientais da empresa de redução de emissões.
2	Comercialização	Podem ser reutilizadas em outros processos, sob o ponto de vista de condição da embalagem. Na empresa em estudo existe uma área para depósito e desmontagem de embalagens de madeira descartável (madeira branca). Portanto a segregação das referidas embalagens e desmontagem para comercialização por inteiro ou em suas partes poderia ser realizado neste local.	Existe demanda de mercado apenas para as bases das embalagens, ou seja, para os paletes. Porém para melhor aproveitamento, a desmontagem da embalagem em chapas e outras partes menores também poderia ser avaliada. O remanescente poderia ser doado a empresa que fazem artesanato com peças menores.	Não foi identificada restrição legal para esta alternativa.	Existe restrição de reuso de embalagens ou partes que contenham o logotipo da empresa.
3	Embalagens de papelão	Atualmente existem peças importadas recebidas em embalagens de papelão. Dentre os fornecedores identificados, estão 3 empresas europeias, que possuem áreas de desenvolvimento e análise de sustentabilidade, podendo desenvolver soluções para substituir as embalagens de madeira dos modelos priorizados por embalagens de papelão.	Por serem embalagens descartáveis, o resíduo de papelão seria destinado à reciclagem seguindo o fluxo já existente na empresa.	Não foram identificadas restrições legais para a reciclagem de papelão	A empresa apresentou preocupações com a garantia da qualidade das peças, uma vez que são transportadas da Europa para o Brasil. Se esse aspecto for garantido por embalagens de papelão, não há restrição.

Critérios					
#	Alternativa	Técnico	Mercadológico	Legal	Institucional
4	Placas de MDF	De acordo com o relatório, os valores médios de todas as propriedades de flexão estática estão um pouco abaixo quando comparados à norma, que estipula um valor mínimo de 29 MPa para o módulo de ruptura paralelo à orientação e 12,4 MPa para o módulo de ruptura no sentido perpendicular. Porém é possível melhorar as propriedades mecânicas com o ajuste da resina utilizada. Portanto há viabilidade técnica para utilização em forma de painéis de madeira.	Painéis de madeira são usados na produção de móveis e a demanda por este tipo de material já existe no mercado há muitos anos. Existem 88 empresas cadastradas no CNAE 16.21-8-00 – Fabricação de madeira laminada e de chapas de madeira compensada, prensada e aglomerada no Paraná. Dessas, 23 encontram-se na cidade de Curitiba.	Restrição legal relativa à rastreabilidade da madeira, o DOF – Documento de Origem Florestal. Como a embalagem é fabricada na Suécia, com recursos florestas locais, apresentou-se uma dificuldade em cumprir com os requisitos legais relacionados a este tema.	A empresa não possui restrição para esta alternativa.
5	Celulose	De acordo com as análises e testes realizados, possuem viabilidade técnica para ser utilizada na produção de celulose através do cozimento Kraft, pois as propriedades resultantes foram satisfatórias. A propriedade de resistência da celulose produzida dependerá do grau de designificação e refino da fibra.	No Paraná existem 4 empresas cadastradas no CNAE 1710900 – Fabricação de Celulose, que seriam potenciais compradores do resíduo de madeira para esta finalidade.	Restrição legal relativa à rastreabilidade da madeira, o DOF ¹ – Documento de Origem Florestal. Como a embalagem é fabricada na Suécia, com recursos florestas locais, apresentou-se uma dificuldade em cumprir com os requisitos legais relacionados a este tema.	A empresa não possui restrição para esta alternativa.

¹ O sistema DOF funciona como uma ferramenta contábil que registra o fluxo dos créditos concedidos em autorizações de exploração florestal, em sistema de contracorrente, desde o lançamento do volume inicial, no local de extração do produto florestal ou de entrada no país via importação, até o ponto de saída do fluxo, onde o material encontra seu consumo final ou deixa de ser objeto de controle florestal (IBAMA, 2020)

Critérios					
#	Alternativa	Técnico	Mercadológico	Legal	Institucional
6	Pastas	A pasta termomecânica resultante dos testes apresentaram volume específico, índice de tração e alvura com bom desempenho, quando comparada às versões comerciais. Por isso considerou-se que apresentam boas propriedades para produção de pasta de alto rendimento. Com relação às propriedades de resistência, é relevante considerar que podem ser melhoradas com menor grau de refino e/ou impregnação com produto químico antes do desfibramento, produzindo a pasta chamada de quimotermomecânica. Também é possível ampliar as propriedades de alvura pelo branqueamento com peróxido de hidrogênio.	No Paraná existem 11 empresas cadastradas no CNAE 1710900 – Pastas para a fabricação de papel, que seriam potenciais compradores do resíduo de madeira para este fim.	Restrição legal relativa à rastreabilidade da madeira, o DOF – Documento de Origem Florestal. Como a embalagem é fabricada na Suécia, com recursos florestas locais, apresentou-se uma dificuldade em cumprir com os requisitos legais relacionados a este tema.	A empresa não possui restrição para esta alternativa.
7	Moagem e venda	A empresa de destinação de resíduos de madeira realiza a moagem da madeira, portanto o processo já está implementado, sendo necessário então garantir que a comercialização seja com empresas de reciclagem ou reutilização, pois atualmente é vendida a empresas que a utilizam como biomassa. Há necessidade de eliminar 100% de metais.	Cavacos de madeira e serragem normalmente são utilizados em diversas aplicações, como paisagismo, jardinagem, criação de animais e para artesanatos. Também existem aplicações em que a serragem pode ser utilizada junto a algum polímero, podendo ser moldados em diversos formatos, por prensagem. Sendo portanto bastante amplas as possibilidades.	Não foi identificada restrição legal para esta alternativa, porém há uma ressalva com relação ao uso em abrigos de animais, uma vez que a madeira pode ter sido submetida a tratamento químicos, o que seria de risco para saúde de animais.	Não há restrição quanto a esta alternativa.

Fonte: o autor (2021)

De forma a facilitar a discussão das propostas, as alternativas foram sintetizadas no QUADRO 6.

Quadro 6 - Resumo das alternativas

#	Alternativa	Técnico	Mercadológico	Legal	Institucional
1	Embalagens retornáveis	Atende	Atende	Atende	Atende parcialmente
2	Comercialização	Atende	Atende parcialmente	Atende	Atende parcialmente
3	Embalagens de papelão	Atende	Atende	Atende	Atende parcialmente
4	Placas de MDF	Atende	Atende	Não Atende	Atende
5	Celulose	Atende	Atende	Não Atende	Atende
6	Pastas	Atende	Atende	Não Atende	Atende
7	Moagem e venda	Atende parcialmente	Atende	Atende parcialmente	Atende

Fonte: o autor (2021)

De acordo com o critério Técnico no QUADRO 6 foi possível verificar que as alternativas de 1 a 6 atendem aos aspectos técnicos, ou seja, existe tecnologia ou infraestrutura para implementação destas alternativas e que apenas a alternativa 7 atendeu parcialmente aos critérios técnicos.

Para o critério Mercadológico, apenas a alternativa 2 atendeu parcialmente e para as demais alternativas verificou-se que existem demandas de mercado para seus produtos ou subprodutos.

Ao verificar se existiam barreiras de legislação para as alternativas, verificou-se restrição legal para os itens 4, 5 e 6, uma vez que a madeira é proveniente de embalagens importadas e, portanto, as empresas potenciais compradoras não teriam como comprovar a rastreabilidade, realizada por meio do DOF – Documento de Origem Florestal controlado pelo IBAMA. Para a alternativa 7, também foi identificada como atendimento parcial, devido à preocupação no uso em criadouros de animais.

Sendo assim, para o Critério 3 – Legal, apenas os itens 1, 2 e 3 foram classificados como “atendem” por não terem sido identificadas restrições legais para tais alternativas.

O quarto aspecto analisado resultou que não existem barreiras institucionais para as alternativas 4 a 7. E que as alternativas 1 a 3 atendem parcialmente, pois as restrições existentes podem ser contornadas com medidas de controle.

5.7 PROPOSTAS

Para identificar alternativas para a promoção da EC na empresa, partiu-se de dados de resíduos, ou seja, do final do fluxo dos materiais utilizados na empresa, tendo como propósito identificar de que forma a transição para uma EC poderia ser iniciada e depois expandida para os demais resíduos gerados, bem como para outras atividades, de forma a reduzir o impacto ambiental de suas atividades operacionais.

Para tanto, a alternativa inicialmente proposta foi a substituição das embalagens descartáveis por embalagens retornáveis de madeira, descritos como Alternativa 1. Esta proposta deveria ser priorizada por possibilitar o prolongamento da vida útil do material, que passaria a ser utilizado em diversas viagens, no lugar de em apenas uma. Além disso, este é um processo existente na empresa para outras peças, não demandando que novos fluxos ou processos sejam implementados.

Ela está alinhada com Coelho et al. (2020), quando afirmam que reutilizar produtos e materiais pelo maior tempo possível reduz a necessidade de materiais virgens ou primários e diminui a pegada ambiental por uso de materiais, fechando os ciclos da EC de forma sustentável. Os autores comentam ainda que na indústria automotiva, os sistemas de embalagens reutilizáveis são parte integrante de uma das cadeias de suprimentos *just-in-time*² mais sofisticadas do mundo. Outros setores, como varejistas de supermercados, também usam sistemas semelhantes para partes de suas cadeias de abastecimento internas.

Segundo Ohde (2018), desenvolvimentos científico e tecnológico são pressupostos para a implantação da EC, para que os produtos sejam projetados de forma a se manterem dentro desse novo ciclo. E isso caracteriza-se como uma oportunidade de negócio, afinal desde o princípio os produtos precisam ser concebidos para serem reutilizados.

Esta alternativa traria ganho de 6,6% no índice de EC da empresa e não haveria necessidade de incorporar um novo fluxo ou processo já que a empresa já opera com um *pool* de embalagens retornáveis para outros tipos de peças.

Como desvantagem dessa alternativa estão os aumentos do custo e das emissões atmosféricas. O aumento de custo está relacionado ao transporte para retorno das embalagens de madeira desmontadas até os fornecedores de peças. No entanto, seria necessário realizar um estudo de viabilidade econômica, de forma a incluir demais fatores dessa alternativa, tais como: a redução custo das embalagens descartáveis novas, a eliminação do custo de destinação do resíduo, bem como outros fatores envolvidos.

Já o aumento das emissões atmosféricas é principalmente relacionado ao dióxido de carbono proveniente da queima de combustíveis do transporte. Este é um fator crítico para a empresa agora que passou a ter metas de redução de emissões aprovadas pelo SBTi (*Science Based Target Initiative*), iniciativa criada para que organizações possam estabelecer metas alinhadas ao Acordo de Paris (SBTi, 2021). Para este cálculo, também teriam que ser considerados não apenas o aumento das emissões de fontes fósseis do transporte, mas também a redução das emissões provenientes da queima da biomassa resultante da moagem do resíduo de madeira.

² *Just-in-time* é uma estratégia de gerenciamento que minimiza o estoque com maior eficiência da cadeia de suprimentos, diminuindo os custos de armazenamento e material excedente (COELHO et al., 2020).

Uma possível barreira para esta alternativa estaria no fato de sua aplicação estar nas mãos de um fornecedor localizado na Suécia. A decisão de mudar as embalagens não cabe à empresa em estudo e sim ao fornecedor das peças. Esta barreira pode ser encarada como tal ou pode ser vista como uma oportunidade para exercer o papel de consumidor responsável, provocando na cadeia de suprimentos alta demanda e uma movimentação em direção à EC, exigindo a alteração para uma solução mais sustentável.

A transição para uma EC é um caminho que depende de decisões estratégicas, vontade política, pressão de investidores e engajamento não apenas das empresas, mas também de consumidores, assumindo seu papel de cobrar que as empresas evoluam em direção à sustentabilidade.

O papel do consumidor é essencial como catalisador da EC. Mattar (2018) ressalta que a escolha do consumidor é uma peça-chave para o estabelecimento da EC, mas que o raciocínio de se pagar mais por um bem mais durável não é entendido de imediato, necessitando-se identificar como mudar o comportamento dos consumidores, para que se tornem de fato impulsionadores da EC.

Na empresa, este papel seria exercido de forma direta pela área de engenharia logística e de compras, que teriam o papel de demandar esta solução do fornecedor das peças metálicas, exigindo uma solução de EC para tais embalagens. De forma indireta, a diretoria da empresa teria a responsabilidade de suportar estas ações de forma estratégica, provisionando recursos e trazendo conhecimento para a empresa realizar esta transformação.

A proposta seguinte foi a de substituir as atuais embalagens de madeira descartáveis por embalagens de papelão. Esta proposta, descrita como Alternativa 3, também aumentaria o índice de EC da empresa em 6,6%, uma vez que todo resíduo hoje destinado à queima com recuperação energética passaria a ser reciclado. Além do benefício ambiental almejado pela empresa, esta alternativa propiciaria uma redução de custos com a destinação de resíduos, uma vez que o resíduo de papelão é vendido para ser reciclado e o de madeira tem custo para ser destinado.

O papelão apresentou outras vantagens do ponto de vista ambiental. Além de reciclável, tem origem renovável ou pode ser fabricado a partir de material reciclado. Considerando a aplicação da hierarquia de resíduos, apresentou o ponto negativo de que dificilmente seria reutilizado para a mesma finalidade, podendo, no entanto, ser reprocessado para outros fins, ou reciclado novamente.

Apesar dos materiais reciclados não poderem substituir completamente os materiais virgens devido a vários fatores, como qualidade e valor econômico e da qualidade de cada material reciclado depender do nível de contaminação na cadeia de resíduos, bem como da deterioração inerente às propriedades dos materiais submetidos ao processo (TALLENTIRE; STEUBING, 2020), a reciclagem demonstra-se como uma alternativa vantajosa quando comparada a aterros, incineração ou recuperação energética.

Também há de ser considerado que a madeira utilizada como biomassa é tratada como fonte renovável de energia. Mesmo tendo sido apontada como prioritária por este estudo em termos quantitativos, caso o critério fosse de risco ambiental, possivelmente outros resíduos seriam apontados como prioritários. É o caso de resíduos eletrônicos, que se apresentaram em pequena quantidade quando comparados aos de embalagens de madeira, mas que por conterem metais pesados em seus componentes internos, caracterizariam maior risco de impactar o meio ambiente, caso dispostos incorretamente, ou mesmo risco de escassez de matéria prima, caso os componentes não fossem adequadamente segregados e reciclados.

As embalagens fazem parte de uma cadeia de suprimentos internacional complexa e isso, segundo Ajwani-Ramchandani et al. (2021), demanda grandes investimentos iniciais e vem impedindo as empresas de fazer a transição de um sistema linear para uma EC.

No entanto, a urgência e a velocidade da transição para EC devem ganhar força com as demandas de consumidores e de investidores por informações ESG e pela escassez de matéria-prima para embalagens acentuada durante a pandemia.

Também deve ganhar celeridade por questões de infraestrutura pois o espaço destinado aos resíduos de madeira na empresa era compatível com 1 (um) turno de produção e caso houvesse aumento dos volumes de produção como vinha sendo sinalizado pelo mercado, o descarte de madeira poderia apresentar-se como um gargalo para o processo produtivo. Não apenas pela disponibilidade de espaço, mas também pela garantia da segurança das pessoas que trabalham no local. Isso reforça a necessidade de tomar decisões preventivas, ou seja, que reduzam a geração desse resíduo.

Ainda assim, poderia ser avaliado pela empresa, enquanto a solução final não é adotada, o uso de equipamentos que reduzem o volume de madeira, quebrando as

embalagens na própria empresa. O que também contribuiria para reduzir as emissões de CO₂ do transporte interno e externo desses resíduos.

A substituição das embalagens de madeira por retornáveis ou por embalagens de papel apresentou-se neste estudo como um dos passos para a transição para uma EC, de muitos outros que estão por vir caso a empresa esteja determinada a seguir esta trajetória. Mesmo atingindo o percentual de 66% no índice de EC, para se atingir o índice de 100% de EC ainda levaria um tempo, o que depende não apenas da execução das ações, mas também das decisões estratégicas nesta direção.

A transição para EC na empresa apresentou-se mais como uma vontade, pois ainda não foram identificadas estratégias claras ou metas objetivas com esta finalidade. Para se chegar a uma EC, o engajamento de todos os níveis hierárquicos seria essencial, bem como a participação da cadeia de valor. No entanto, um dos entraves identificados foi o pouco conhecimento do conceito pelos funcionários da empresa com quem o presente estudo teve interface, e consequentemente dificuldades no entendimento de como aplicá-lo.

Outro ponto foi a ausência de métricas apropriadas. As métricas de redução e de reutilização precisariam ser implementadas e as existentes aprimoradas para se ter uma maior clareza dos passos necessários para a transição para uma EC.

Uma ferramenta que pode ser utilizada para o mapeamento do caminho para a EC é o denominado *Roadmap*, ou Rota Estratégica, em que são definidos os objetivos, metas, indicadores e principais etapas do processo, organizadas no intervalo de tempo disponível. Esta foi a ferramenta utilizada pela Federação das Indústrias do Estado do Paraná para mapear os caminhos a serem trilhados até 2031 pelos diferentes atores interessados no desenvolvimento da EC no Estado, com o objetivo de se alcançar o denominado futuro desejado (FIEP, 2019b). Também é uma ferramenta de comum aplicação para outros temas dentro do sistema de manufatura enxuta da empresa e poderia ser replicado para EC.

A empresa precisaria assumir a sua parte e traçar a sua rota estratégica para a EC, considerando não apenas os itens elencados como prioritários neste trabalho, mas também considerar a priorização de aquisição de fornecedores locais, usar materiais de alta durabilidade, componentes recicláveis e partes desmontáveis e modulares para produtos e processos.

Acredita-se também que a empresa tenha ainda papel fundamental em fomentar a disseminação do conceito e de práticas de economia circular tanto na

cadeia de valor, demandando de seus fornecedores que apresentem planos nessa direção, bem como como fornecedor de soluções que alavanquem a EC em sua área de atuação.

Com a transição para EC, a empresa ganharia em eficiência no uso de recursos, redução de riscos ambientais, redução da dependência de disponibilidade de matéria-prima, colaborando com o aumento da disponibilidade de materiais e ainda poderia aproveitar oportunidades de redução de custos. Além disso, poderia aproveitar para alavancar sua imagem perante partes interessadas como investidores, clientes e sociedade.

6 CONCLUSÃO

Como conclusão da primeira etapa do trabalho, obteve-se que a madeira proveniente de embalagens foi o resíduo de maior potencial de contribuição à EC e, portanto, entendeu-se como o resíduo a ser priorizado, dentre os 22 tipos de resíduos gerados na empresa.

A priorização dos 5 modelos de embalagens de madeira M, D, C, E F para a economia circular teria potencial de eliminar 406,5 toneladas por ano de resíduos de madeira, atualmente destinados à queima com recuperação energética. Adicionalmente, se as práticas de EC forem expandidas aos demais modelos de embalagens de madeira descartáveis importadas, o valor chegaria um total de 528,8 toneladas de resíduo de madeira por ano.

Da segunda etapa do trabalho, concluiu-se que as sete alternativas identificadas teriam condições de aumentar o índice de economia circular da empresa e que qualquer uma delas, se devidamente aplicadas para os 5 modelos de embalagens de madeira prioritários, acarretariam o aumento de 6,6% no referido índice, que iria de 57,75% para 64,35%.

Das sete opções listadas, concluiu-se que a alternativa 1, que propõe que as embalagens descartáveis sejam substituídas por embalagens retornáveis, seja priorizada para implementação, pois apresentou-se como a de maior potencial de contribuição à EC, de acordo com os critérios analisados e com o nível na hierarquia de resíduos.

Concluiu-se ainda que a alternativa 3, que prevê a substituição de embalagens descartáveis de madeira por embalagens de papelão também seja priorizada, em sequência à alternativa 1, pois apesar de estar no nível “reciclagem” da hierarquia de resíduos, esta opção traria outros ganhos ambientais relacionados às emissões atmosféricas de gases de efeito estufa, como o CO₂ proveniente do transporte de embalagens retornáveis vazias.

Cabe ressaltar que o direcionamento do presente estudo foi para madeira branca, porém outros resíduos mereceriam atenção da empresa, pois também apareceram na sequência de priorização. Um deles foi a madeira azul, que mesmo sendo parte do fluxo de embalagens reutilizáveis, gerou 779 toneladas de resíduo em 2020, compondo 40% do total de resíduo de madeira. Com isso, foi possível identificar uma oportunidade recomendando-se à empresa que estabeleça critérios e padrões

para o correto descarte dessas embalagens, de forma a evitar que se torne resíduo, quando ainda em condições de uso.

Também dentre os resíduos não reciclados, as borras de pintura, seguidos de resíduos contaminados, não recicláveis e de lodos seriam os próximos a serem priorizados para a promoção da EC em seguida à madeira, tendo estes grupos sido objeto de levantamentos preliminares de alternativas neste estudo. Foram eles: melhoria da eficiência e/ou da tecnologia do processo de tratamento de superfícies, de forma a reduzir perdas de pigmentos e outros produtos químicos que não aderem à superfície do produto (cabine do caminhão), formando borras e lodos; aplicação do conceito de EC, que prevê que produtos sejam projetados desde sua concepção para não gerar resíduos; estabelecer procedimentos e critérios para evitar que materiais recicláveis fiquem em contato com fontes de contaminação, evitando dessa forma que sejam descartados como “resíduos contaminados” e por consequência destinados à recuperação energética.

Quanto aos recicláveis, apesar deste estudo não ter se aprofundado para esta classe de resíduos, foi possível identificar oportunidades que se recomendou à empresa avaliar. Foram elas: reutilização de papel e papelão como preenchimento de embalagens de peças de pós-vendas, expedidas no centro de distribuição da empresa; solicitação aos fornecedores que substituam o uso de plásticos descartáveis com a finalidade de preenchimento de espaços vazios de embalagens por materiais reutilizáveis ou recicláveis de fontes renováveis; avaliação de formas de reduzir o número de peças metálicas sucateadas por terem sido danificadas durante armazenamento e transporte até a fábrica.

Concluiu-se também que pode haver oportunidades de EC não identificadas, devido à ausência de métricas em todos os níveis da hierarquia de resíduos, ficando, portanto, uma recomendação adicional que a empresa estabeleça mecanismos para quantificar os resíduos em todos os níveis da hierarquia e dessa forma ampliar sua visão sobre as oportunidades que a suportem na transição para uma EC.

Verificou-se ainda que a aplicação da hierarquia de resíduos demonstrou-se um caminho exequível para se identificar oportunidades e com isso realizar a transição para EC gradualmente, podendo ser utilizada para os demais resíduos da empresa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AJWANI-RAMCHANDANI, R.; FIGUEIRA, S.; DE OLIVEIRA, R.T.; JHA, S.; RAMCHANDANI, A.; SCHURICHT, L. Towards a circular economy for packaging waste by using new technologies: The case of large multinationals in emerging economies. **Journal of Cleaner Production**. v 281, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3sCccK9>. Acesso em 11 ago. 2021.

ARUP. **Circular Economy in the Built Environment**. Londres: ARUP, 2016. E-book. Disponível em: <http://bit.ly/33HgYlf>. Acesso em: 30 nov. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004**. Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14001**. Sistemas de gestão ambiental - Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2015.

AZEVEDO, J.L. A economia circular aplicada no Brasil: uma análise a partir dos instrumentos legais existentes para a logística reversa. In: Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 11., 2015. Rio de Janeiro, **Anais...** Rio de Janeiro: LATEC/UFF, 2015. Disponível em: <http://bit.ly/2RgZ6RZ>. Acesso em: 30 nov. 2019.

BAG, S.; YADAV, G.; DHAMIJA, P.; KATARIA, K. K. Key resources for industry 4.0 adoption and its effect on sustainable production and circular economy: An empirical study. **Journal of Cleaner Production**. v 281, 2021. Disponível em <https://bit.ly/3y8kQ4q>. Acesso em 07 ago. 2021.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). **Políticas públicas na gestão de resíduos sólidos: experiências comparadas e desafios para o Brasil**. Rio de Janeiro, v. 25, n. 50, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3D7WmMf>. Acesso em 08 ago. 2021.

BERGER, F.; GAUVIN, F.; BROUWERS, H.J.H. The recycling potential of wood waste into wood-wool/cement composite. **Construction and Building Materials**. v 260, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3j91Crb>. Acesso em 09 ago. 2021.

BOCKEN, N. M.; OLIVETTI, E. A.; CULLEN, J. M.; POTTING, J. e LIFSET, R. Taking the Circularity to the Next Level: A Special Issue on the Circular Economy. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, p. 476-482, 2017. Disponível em: <http://bit.ly/2rLWwZq>. Acesso em 06 out. 2019.

CASTILLO-GIMÉNEZ, J.; MONTAÑÉS, A.; PICAZO-TADEO, A. J. Performance and convergence in municipal waste treatment in the European Union. **Waste Management**. Volume 85, p 222-231, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3sChYvg>. Acesso em 07 ago 2021.

COELHO, P. M.; CORONA, B.; TEN KLOOSTER, R.; WORRELL, E. Sustainability of reusable packaging – Current situation and trends. **Resources, Conservation &**

Recycling: X. v 6, artigo 100037, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3zbhYVY>. Acesso em 07 ago. 2021.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Economia circular:** Caminho estratégico para a indústria brasileira. Brasília: CNI, 2019. E-book. Disponível em <http://bit.ly/2NOLd6y>. Acesso em 20 out. 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). Economia circular contribui para inovação na indústria. Por: Maria José Rodrigues. Agência CNI de Notícias, 2021a. Disponível em: <https://bit.ly/3ziRCk5>. Acesso em 07 ago. 2021.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). Economia circular contribui para inovação na indústria. Por: Maria José Rodrigues. Agência CNI de Notícias, 2021b. Disponível em: <https://bit.ly/2WdNbJC>. Acesso em 07 ago. 2021.

DE JESUS, A.; MENDONÇA, S. Lost in Transition? Drivers and Barriers in the Eco-innovation Road to the Circular Economy. **Ecological Economics**. Volume 145, p. 75-89, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/3sFTiSW>. Acesso em 06 ago. 2021.

EGÜEZ, A. Compliance with the EU waste hierarchy: A matter of stringency, enforcement, and time. **Journal of Environmental Management**. Volume 280, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/2W8UvX4>. Acesso em 07 ago. 2021.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **The circular economy in detail**. Learning Path. Disponível em <http://bit.ly/37SMnLa> Acesso em 07 Ago 2021.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Uma economia circular no Brasil:** Uma abordagem exploratória inicial. 2017. Disponível em: <http://bit.ly/2q8ZSVZ>. Acesso em 03 ago. 2019.

EUROPEAN INVESTMENT BANK (EIB). **The EIB Circular Economy Guide:** Supporting the circular transition. 2019. Disponível em <http://bit.ly/2Ra86bl>. Acesso em 30 nov. 2019.

EUROPEAN UNION COMISSION. **Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy:** Communication from the commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the regions. Bruxelas, 2015. Disponível em: <http://bit.ly/2R8NccW>. Acesso em 25 ago, 2019.

EXCHANGE 4 CHANGE BRASIL. **Hub de Economia Circular no Brasil:** Relatório de atividades 2020. Exchange 4 Change Brasil. 2021. Disponível em <https://bit.ly/2Wgg3kd>. Acesso em 07 ago. 2021.

FARACA, G.; TONINI, D.; ASTRUP, T. F. Dynamic accounting of greenhouse gas emissions from cascading utilization of wood waste. **Science of The Total Environment**. v 651, part 2, p 2689-2700, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/2UARBJE>. Acesso em 09 ago. 2021.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO PARANÁ (FIEP). **Elementos de Economia Circular**. Curitiba: FIEP. 100p, 2019a. E-book. Disponível em: <http://bit.ly/2RdWMLK>. Acesso em 20 nov. 2019.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO PARANÁ (FIEP). **Rotas Estratégicas para o Futuro da Indústria Paranaense 2031**. Curitiba: FIEP. 64 p, 2019b. E-book. Disponível em: <https://bit.ly/3gmDrUe>. Acesso em 20 ago. 2021.

GEISSDOERFER, M.; SAVAGET, P.; BOCKEN, N.M.P.; HULTINK, E.J. The Circular Economy: A new sustainability paradigm? **Journal of Cleaner Production**, v 143, p 757-768, 2017. Disponível em: <http://bit.ly/2srOUf0>. Acesso em: 01 dez. 2019.

GENERAL MOTORS (GM). GM 2020 Sustainability Report: Driving Sustainable Value. GM Sustainability. 2021. Disponível em: <https://bit.ly/382t4jP>. Acesso em 12 ago 2021.

GHARFALKAR, M.; COURT, R.; CAMPBELL, C.; ALI, Z.; HILLIER, G. Analysis of waste hierarchy in the European waste directive 2008/98/EC. **Waste Management**, v 39, p 305–313, 2015. Disponível em: <http://bit.ly/2OFcbmq>. Acesso em: 05 out. 2019.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. 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. Disponível em: <http://bit.ly/2VNCE3g>. Acesso em 06 out. 2019.

GHISELLINI, P.; RIPA, M.; ULGIATI, S. Exploring environmental and economic costs and benefits of a circular economy approach to the construction and demolition sector. A literature review. **Journal of Cleaner Production**, v 178, p 618-643, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/2XNKij9>. Acesso em 07 ago. 2021.

GRAFSTRÖM, J.; AASMA, S. Breaking circular economy barriers. **Journal of Cleaner Production**, v 292, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3sB42Sp>. Acesso em 06 Ago. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Documento de Origem Florestal (DOF)**. IBAMA. 2020. Disponível em <https://bit.ly/3kb8XG0>. Acesso em 11 ago. 2021.

INSTITUTO DE MOVIMENTAÇÃO E ARMAZENAGEM DE MATERIAIS (IMAM). Scania adota solução de embalagem sustentável. **Logística e Supply Chain**. 12 set. 2018. Disponível em: <https://bit.ly/2UGuJIW>. Acesso em 12 ago. 2021.

INSTITUTO RENAULT. **Relatório de Sustentabilidade 2020**. Renault do Brasil. 2021. Disponível em <https://bit.ly/383vUFu>. Acesso em 12 ago 2021.

KAPERSUL WASTE MANAGEMENT (KWM). KWM traz para o Brasil máquina inovadora para a coleta de resíduos. 2019. Disponível em <https://bit.ly/2XLYY2h>. Acesso em 20 ago. 2021.

KAPERSUL WASTE MANAGEMENT (KWM). Solução da KWM na CNH Industrial reduz pela metade emissões de CO₂. 2020. Disponível em <https://bit.ly/3D313qR>. Acesso em 20 ago. 2021.

KIRCHHERR, J.; PISCICELLI, L.; BOUR, R.; KOSTENSE-SMIT, E.; MULLER, J.; HUIBRECHTSE-TRUIJENS, A.; HEKKERT, M. Barriers to the Circular Economy: Evidence from the European Union (EU). **Ecological Economics**. v 150, p. 264-272, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/3j5blJm>. Acesso em 06 ago 2021.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation and Recycling**. Volume 127, p 221-232, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/3sDwAuH>. Acesso em 06 ago 2021.

KISER, B. Circular economy: getting the circulation going. **Nature**, v. 531, p. 443–446, 2016. Disponível em: <https://rdcu.be/bUEf6>. Acesso em 06 out. 2019.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Regulamentação de material de embalagem de madeira no comércio internacional**. MAPA. 2010. Disponível em <https://bit.ly/3IX3IF8>. Acesso em 12 dez. 2021

MATERIAL ECONOMICS. **The Circular Economy a Powerful Force for Climate Mitigation**: Transformative innovation for prosperous and low-carbon industry. 2018. Disponível em <https://bit.ly/39YB1ZN>. Acesso em 05 dez. 2020.

MATTAR, H. Envolvendo os consumidores na Economia Circular. In: OHDE, C. (Org.). **Economia circular**: um modelo que dá impulso à economia, gera empregos e protege o meio ambiente. São Paulo: Netpress Books, 2018. P145-165.

MERLI, R.; PREZIOSI, M.; ACAMPORA, A. How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**. v 178, p 703-722, 2018. Disponível em <https://bit.ly/387K1Jy>. Acesso em 07 Ago. 2021.

NOBRE, G.N.; TAVARES, E. The quest for a circular economy final definition: A scientific perspective. **Journal of Cleaner Production**. v 314, artigo 127973, 2021. Disponível em <https://bit.ly/3khhWVW>. Acesso em 07 Ago. 2021.

OECD. **Glossary of Environment Statistics, Studies in Methods**. Series F, n 67, NY: 1997. Disponível em : <http://stats.oecd.org/glossary>

OHDE, C. (Org.). **Economia circular**: um modelo que dá impulso à economia, gera empregos e protege o meio ambiente. Colab. Helio Mattar, João Redondo, Tereza Cristina M. B. Carvalho, Marcia Costa, Mariana Vieiria, Roberto Matsubayashi. São Paulo: Netpress Books, 2018.

OSTOJIK, P. Making it circular: on the way to a circular economy in Latin America. 2019. **Making it Magazine**. Disponível em: <http://bit.ly/2OKhj8V>. Acesso em 28 Ago. 2019.

PALETTA, A.; LEAL FILHO, W.; BALOGUN, A.L.; FOSCHI, E.; BONOLI, A. Barriers and challenges to plastics valorization in the context of a circular economy: Case studies from Italy. **Journal of Cleaner Production**. Volume 241, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3kb8IL6>. Acesso em 06 ago 2021.

PEARCE, D.W.; TURNER, R.K. Economics of Natural Resources and the Environment. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1990.

PIRES, A.; MARTINHO, G. Waste hierarchy index for circular economy in waste management. **Waste Management**. v 95, p 298–305, 2019. Disponível em <http://bit.ly/2Y7EJlv>. Acesso em 05 out. 2019.

RAHIMI, A.; GARCÍA, J. Chemical recycling of waste plastics for new materials production. **Nature Reviews Chemistry**. v 1, 2017. Disponível em <https://go.nature.com/3kcQbOf>. Acesso em 06 ago. 2021.

RIBEIRO, F. M.; KRUGLIANSKAS, I. A Economia Circular no Contexto Europeu: conceito e potenciais de contribuição na modernização das políticas de resíduos sólidos. In: Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 16, 2017, São Paulo. **Anais...** São Paulo: FEA/USP. Disponível em: <http://bit.ly/2OHjJAR>. Acesso em 30 nov. 2019.

SCIENCE BASED TARGETS INITIATIVE (SBTI). Companies taking action. 2021. Disponível em <https://bit.ly/3k9E3h4>. Acesso em 22 ago. 2021.

SCOTISH GOVERNMENT. **Making Things Last**: a circular economy strategy for Scotland. 2016. Disponível em <http://bit.ly/384nPiy> Acesso em 30 nov. 2019

SILVA, V. U.; NASCIMENTO, M. F.; OLIVEIRA, P.R.; PANZERA, T.H.; REZENDE, M.O.; SILVA, D. A. L.; AQUINO, V. B. M.; LAHR, F. A. R.; CHRISTOFORO, A. L. Circular vs. linear economy of building materials: A case study for particleboards made of recycled wood and biopolymer vs. conventional particleboards. **Construction and Building Materials**. v 285, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/380iZE4>. Acesso em 12 ago. 2021.

TALLENTIRE, C.W.; STEUBING, B. The environmental benefits of improving packaging waste collection in Europe. **Waste Management**. v 103, p 426-436, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3D6nETh>. Acesso em 06 ago 2021.

UNITED NATIONS. **Sustainable development goals** – 17 Goals to transform our world. 2016. Disponível em: <http://bit.ly/35VehnZ>. Acesso em: 06 out. 2019.

VOLVO. **Modelos de embalagens**. 2021. Sharepoint de Engenharia Logística. 16 fotografias, color., várias dimensões.

VOLVO GROUP. **Landfill Free**: Operational Waste Directive. 2021. Volvo directives (interno).

WEBSTER, K. The circular economy: a wealth of flows. Ellen macarthur Foundation publishing, 2015.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Towards the circular economy**: accelerating the scale-up across global supply chains. World Economic Forum. Geneva, Switzerland, 2014. Disponível em: <http://bit.ly/2qYhxQT>. Acesso em 03 ago. 2019.

ZUIN, V.G. Circularity in green chemical products, processes and services: Innovative routes based on integrated eco-design and solution systems. **Current Opinion on Green and Sustainable Chemistry**. v 2, p 40-44, 2016. Disponível em: <http://bit.ly/37XkgdO>. Acesso em: 11 jul. 2019.