

UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CHAPECÓ
CURSO DE ADMINISTRAÇÃO

LUCAS EDUARDO SGNAULIN

REUSO DE RESÍDUOS DE MADEIRA TRATADA:
ANÁLISE COM O USO DO CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE – TCO

CHAPECÓ

2023

LUCAS EDUARDO SGNAULIN

**REUSO DE RESÍDUOS DE MADEIRA TRATADA:
ANÁLISE COM O USO DO CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE – TCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Administração da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Administração.

Orientador: Prof. Dr. Moacir Francisco Deimling

CHAPECÓ

2023

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Sgnaulin, Lucas Eduardo

REUSO DE RESÍDUOS DE MADEIRA TRATADA: ANÁLISE COM O USO DO CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE ? TCO / Lucas Eduardo Sgnaulin. -- 2023.

61 f.

Orientador: Doutor Moacir Francisco Deimling

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Bacharelado em Administração, Chapecó, SC, 2023.

1. Custo total de propriedade. 2. Reuso de resíduos. 3. Resíduos de madeira tratada. 4. Economia circular. I. Deimling, Moacir Francisco, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.


LUCAS EDUARDO SGNAULIN

**REUSO DE RESÍDUOS DE MADEIRA TRATADA:
ANÁLISE COM O USO DO CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE – TCO**

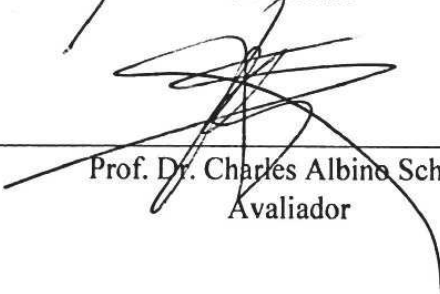
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Administração da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Administração.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 05/12/2023.

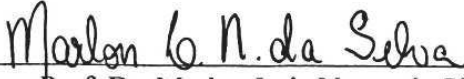
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Moacir Francisco Deimling – UFFS
Orientador



Prof. Dr. Charles Albino Schultz
Avaliador



Prof. Dr. Marlon Luiz Neves de Silva
Avaliador

RESUMO

A gestão dos resíduos de madeira tratada é um dos desafios do processo produtivo de uma indústria madeireira, que pode ser trabalhada sob a perspectiva da economia circular. Com o objetivo de analisar a viabilidade econômica de reutilização de resíduos de madeira tratada em novos produtos, este estudo foi desenvolvido com base na realidade de uma indústria madeireira catarinense, aplicando-se a metodologia do *Total Cost of Ownership* – TCO, o Custo Total de Propriedade. Para coleta de dados, foram realizadas uma pesquisa documental e uma entrevista com o gestor da indústria madeireira, aliada à observação por meio de visita técnica na empresa. O modelo TCO foi construído com base nos dados obtidos e foram analisados quatro cenários, a partir de três opções de reuso de resíduos, considerando a classificação dos resíduos de madeira tratada em três classes. Observou-se que diferentes alternativas têm retornos distintos, dependendo das características das classes de resíduos. O modelo TCO revelou que a comercialização de resíduos para terceiros e a transformação dos resíduos em novos produtos se apresentam viáveis em determinados casos, podendo ser fonte de receitas para a empresa. As alternativas mais sustentáveis do ponto de vista ambiental, são também as que se apresentaram mais viáveis economicamente, podendo representar ganhos de até 259%. Concluiu-se que a gestão de resíduos da indústria madeireira pode ser norteadas pelos princípios da economia circular, focada na recuperação de recursos e no uso do desperdício como recurso. A viabilidade econômica dos cenários propostos indica a possibilidade de a empresa planejar o incremento gradativo de ações circulares em seu sistema produtivo, tornando-a mais sustentável.

Palavras-chave: Custo Total de Propriedade. Reuso de Resíduos. Resíduos de Madeira Tratada. Economia Circular.

ABSTRACT

The management of treated wood waste is one of the challenges in the production process of a timber industry, which can be approached from the perspective of the circular economy. With the aim of analyzing the economic feasibility of reusing treated wood waste in new products, this study was developed based on the reality of a Santa Catarina timber industry, applying the Total Cost of Ownership (TCO) methodology. For data collection, documentary research and an interview with the timber industry manager were conducted, complemented by observations through a technical visit to the company. The TCO model was constructed based on the obtained data, and four scenarios were analyzed, considering three options for waste reuse and the classification of treated wood waste into three categories. It was observed that different alternatives yield distinct returns, depending on the characteristics of the waste classes. The TCO model revealed that the commercialization of waste to third parties and the transformation of waste into new products are viable in certain cases, potentially generating revenue for the company. The environmentally more sustainable alternatives also proved to be the most economically viable, representing gains of up to 259%. It was concluded that the waste management of the timber industry can be guided by the principles of the circular economy, focusing on resource recovery and the use of waste as a resource. The economic viability of the proposed scenarios indicates the possibility for the company to plan the gradual increase of circular actions in its production system, making it more sustainable.

Keywords: Total Cost of Ownership, Waste Reuse, Treated Wood Waste, Circular Economy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Cadeia produtiva da madeira.....	15
Figura 2 – Processo de tratamento da madeira em autoclave.....	18
Figura 3 – Ilustração dos sistemas linear e circular de produção	21
Figura 4 – Diagrama borboleta da economia circular	22
Figura 5 – Práticas de economia circular observadas na indústria brasileira	27
Figura 6 – Influência dos custos no ciclo de vida de um produto em seu custo final	32
Figura 7 – Custos considerados pelo modelo de TCO de Parkhi (2013)	33
Figura 8 – Resíduos da Classe A	39
Figura 9 – Resíduos da Classe B	39
Figura 10 – Resíduos da Classe C	39
Figura 11 – Cachapô produzido pela empresa.....	45
Figura 12 – Limitador de jardim produzido pela empresa	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Princípios e características da economia circular	21
Quadro 2 – Estrutura ReSOLVE para a economia circular	25
Quadro 3 – Modelo dos 10Rs	26
Quadro 4 – Objetivos proporcionados pelo TCO	32
Quadro 5 – Melhores cenários para cada classe de resíduos de Madeira Tratada.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantificação de resíduos por classe	40
Tabela 2 – Modelo de TCO proposto	41
Tabela 3 – TCO para os resíduos da Classe C.....	42
Tabela 4 – TCO para os resíduos da Classe B.....	44
Tabela 5 – TCO para os resíduos da Classe A	46
Tabela 6 – Despesas e receitas anuais para as classes e cenários analisados	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS	12
1.1.1	Objetivo geral	12
1.1.2	Objetivos específicos	12
1.2	JUSTIFICATIVA	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	PANORAMA DO SETOR MADEIREIRO BRASILEIRO	15
2.1.1	Indústria da madeira tratada	17
2.2	ECONOMIA CIRCULAR	18
2.2.1	Histórico da Economia Circular	19
2.2.2	Conceitos e Características da Economia Circular	20
2.2.3	Modelos de Negócio de Economia Circular e suas Aplicações	24
2.3	GESTÃO DE RESÍDUOS	28
2.3.1	Gestão de resíduos de madeira tratada	29
2.4	CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE – TCO	31
2.4.1	Conceitos e Características do TCO	31
2.4.2	Modelos de TCO e Aplicações	33
3	METODOLOGIA	35
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	35
3.2	OBJETO DE ESTUDO	35
3.3	PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS	36
3.4	PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DE DADOS	37
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	38
4.1	EMPRESA DO ESTUDO DE CASO	38
4.2	QUALIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS.....	38
4.3	QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS.....	40
4.4.1	Análise dos cenários	42
4.4.1.1	<i>TCO para a Classe C</i>	42
4.4.1.2	<i>TCO para a Classe B</i>	43
4.4.1.3	<i>TCO para a Classe A</i>	44
4.5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	48
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	52

REFERÊNCIAS	54
APÊNDICE A – Roteiro de entrevista.....	60

1 INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos é uma problemática enfrentada diariamente pelas empresas, principalmente no que se refere à destinação final. A partir da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), promulgada em 2010 pela Lei Federal Nº 12.305, se estabeleceu a responsabilidade compartilhada pelo gerenciamento de resíduos entre governo, empresas e sociedade (Brasil, 2010). São frequentes os estudos que buscam por alternativas de reciclagem e reutilização, sendo que muitos dos resíduos gerados pelas organizações necessitam de tratamento e destinação específica em função de suas características, a exemplo da madeira tratada.

O uso da madeira tratada no Brasil teve início no final do século XIX para atender as demandas da construção de ferrovias. A partir de então, tecnologias foram sendo aprimoradas e a madeira tratada de pinus e eucalipto, resultante do processo de tratamento químico autoclave, passou a ser uma opção de material resistente a ataques de fungos e cupins, com durabilidade assegurada e maior vida útil (Vidal *et al.*, 2015).

Ao mesmo tempo em que traz benefícios, o tratamento aplicado à madeira restringe as alternativas de reciclagem e reutilização dos resíduos do seu processo produtivo, pois os mesmos são considerados perigosos pela NBR 10004 (ABNT, 2003). Por exemplo, ao contrário dos resíduos de madeira *in natura*, não é indicado utilizar resíduos de madeira tratada para queima (Romagnano; Brazolin, 2002). Desse modo, esse trabalho irá analisar possibilidades de valorização de resíduos de madeira tratada e sua viabilidade econômica, considerando como objeto de estudo uma indústria madeireira.

Se supõe que a valorização dos resíduos de madeira tratada é capaz de ser feita a partir da reutilização dos resíduos em novos produtos acabados, o que pode ser compreendido no contexto da economia circular. Para Hammerschmidt (2020), a economia circular é um sistema de produção caracterizado pelo fechamento de ciclos e circulação eficiente de materiais no processo produtivo, de modo que haja redução do desperdício e aumento da vida útil.

Apesar de a economia circular ir muito além da reciclagem (Weetman, 2019), esse sistema de produção tem potencial para contribuir com o desenvolvimento de alternativas para reutilizar e aumentar o ciclo de vida dos materiais. As premissas do sistema circular de produção tendem a contribuir com o desenvolvimento de negócios mais sustentáveis, e até mesmo com a inserção das empresas em novos mercados (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

Embora se reconheça a importância da gestão de resíduos e o impacto positivo que a adoção de práticas de economia circular possa gerar, é preciso considerar que as organizações buscam alcançar o lucro econômico. Nesse contexto, a gestão de custos de produção torna-se fundamental, e o *Total Cost of Ownership* (TCO), o Custo Total de Propriedade, é uma ferramenta útil, que fornece aos gestores informações relevantes de custo de aquisição, manutenção e uso de bens e serviços, contribuindo para o aperfeiçoamento dos processos de uma organização (Muslinger *et al.*, 2015).

O TCO analisa os custos envolvidos em toda a vida útil de um produto (Soutes, 2007), e considerando que a economia circular possui uma abordagem sistêmica do ciclo de vida dos produtos e também depende de aspectos econômicos (Foster; Roberto; Igari, 2016), busca-se utilizar o TCO como uma ferramenta auxiliar para análise de viabilidade econômica.

Diante do exposto, foi definida como questão norteadora do estudo a seguinte pergunta de pesquisa: **Qual a viabilidade de reutilizar resíduos de madeira tratada de forma a ter uma valorização econômica maior para uma indústria madeireira?**

1.1 OBJETIVOS

Para construção do estudo proposto, foram definidos os objetivos da pesquisa, subdivididos em geral e específicos.

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a viabilidade econômica de reutilização de resíduos de madeira tratada em novos produtos, considerando o contexto de uma indústria madeireira.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Qualificar os resíduos de madeira tratada gerados pela indústria madeireira por tipo de madeira tratada;
- b) Quantificar os resíduos de madeira tratada gerados pela indústria madeireira;
- c) Avaliar as possibilidades de reuso dos resíduos de madeira tratada em novos produtos;
- d) Apurar a viabilidade econômica das alternativas de reutilização dos resíduos de madeira tratada.

1.2 JUSTIFICATIVA

A madeira é um material de origem renovável, utilizado como matéria-prima em diversos setores econômicos. Muitas árvores nativas apresentam características de alta durabilidade, que lhes conferem maior resistência às intempéries, ataques de insetos e umidade, popularmente conhecidas como “madeiras de lei”. Tais características promoveram ao longo das décadas a extração desenfreada, levando algumas espécies próximas ao esgotamento (Chaves, 2020). Diante desse cenário, a aplicação de tratamento em madeira de origem de reflorestamento, sobretudo das espécies pinus e eucalipto, se apresenta como uma alternativa para suprir a demanda por madeira resistente e durável (Vidal *et al.*, 2015), contribuindo para a preservação das florestas nativas existentes.

A grande variedade de usos atribuídos à madeira potencializa o desenvolvimento do setor madeireiro do Brasil. Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI), em 2021, mesmo em meio a pandemia, o setor alcançou resultados positivos, e o produto brasileiro foi responsável por atender aos mercados dos Estados Unidos e de países da Ásia e Europa (ABIMCI, 2022a). A indústria madeireira é também responsável pela geração de empregos: em 2020 eram mais de 159 mil empregos. Ao considerar todo o setor de base florestal (indústrias madeireiras, moveleiras, silvicultura, papel e celulose), o número de empregos gerados sobe para mais de 612 mil (ABIMCI, 2022b).

Há uma década, a Associação Brasileira de Preservadores de Madeira já estimava um volume de 1,5 milhão de metros cúbicos de madeira tratada comercializada ao ano, e desse montante, 90% correspondia à madeira de eucalipto. O setor rural, elétrico, ferroviário e de construção civil são os principais consumidores de madeira tratada no Brasil (Franco, 2012), ou seja, além de o setor madeireiro por si só ter significativa relevância econômica, ele é base para outros importantes setores da economia. Desse modo, justifica-se a escolha do mesmo para realização do estudo, o que também está associado à familiaridade do pesquisador com a indústria madeireira.

Uma das problemáticas existentes no mercado de madeira tratada se relaciona com o descarte das sobras de material durante o beneficiamento ou aplicação em obras. Dependendo do tratamento químico utilizado, a madeira tratada pode vir a ser classificada pela NBR 10.004 (ABNT, 2004) como um resíduo perigoso, o que exige cuidados e destinação diferenciada. Para gerir os resíduos de madeira tratada, pode-se adotar o princípio da reutilização e também da transformação em novos produtos acabados.

Considerando essa problemática com potencial de danos ambientais, e levando em consideração que as sobras de madeira tratada representam perdas financeiras para a organização, uma vez que existem custos envolvidos até a geração das sobras e também para o descarte das mesmas, a busca por alternativas de valorização dos resíduos é entendida como relevante. A reutilização e a eliminação do desperdício de materiais são premissas da economia circular, que também busca promover a reintrodução dos materiais no ciclo produtivo sem que haja perda de qualidade (Hammerschmidt, 2020).

De acordo com Sehnem *et al.* (2019), práticas de economia circular já são observadas em empresas brasileiras de setores como serviços, moda, têxtil e vestuário. Contudo, para adotar práticas circulares é preciso planejamento, pois podem surgir necessidades de mudanças na produção, logística, habilidades dos colaboradores, entre outros (Jabbour *et al.*, 2019). Nesse contexto, a gestão estratégica de custos pode contribuir no gerenciamento de custos da implantação da economia circular, e o uso da ferramenta do Custo Total de Propriedade (TCO) se mostra assertivo para tal, como discutido por Amorim *et al.* (2016).

Sendo assim, se entende que o estudo proposto poderá gerar impactos positivos para a organização estudada, principalmente em termos de melhoria de aspectos de sustentabilidade. O estudo da viabilidade econômica da reutilização dos resíduos de madeira tratada contribui com a tomada de decisão dos gestores da empresa, que poderão obter retorno financeiro com a adoção de práticas circulares focadas na valorização de resíduos.

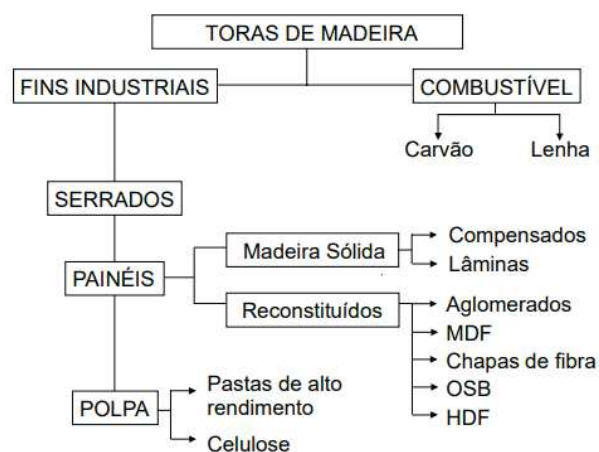
2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo busca reunir conceitos e autores que discutem os temas abordados pela pesquisa. Primeiramente será apresentado um panorama do setor madeireiro do Brasil, com destaque para a indústria da madeira tratada. Em seguida, são abordados aspectos sobre a economia circular, tais como seus princípios, características e aplicabilidade. A gestão de resíduos, com ênfase na gestão de resíduos de madeira tratada, é o tema da seção seguinte. O capítulo é finalizado com uma seção sobre a ferramenta TCO, com descrição dos seus objetivos e aplicabilidade.

2.1 PANORAMA DO SETOR MADEIREIRO BRASILEIRO

A indústria da madeira “Compreende, a fabricação de madeira serrada, laminada, compensada, prensada e aglomerada e de produtos de madeira para construção, para embalagem, para uso industrial, comercial e doméstico” (CNI, 2023, p. 1). Esse setor da economia se encontra aquecido nos últimos anos principalmente em função do crescimento do setor de painéis e de pisos laminados (Silva et al., 2023), que juntamente com outras atividades de fins industriais e de produção de energia formam a cadeia produtiva da madeira (Figura 1).

Figura 1 – Cadeia produtiva da madeira



Fonte: Juvenal e Mattos (2002, p. 6).

A história da indústria madeireira brasileira tem início no século XX. Até a década de 1950, a indústria concentrava esforços em pesquisa e desenvolvimento para conhecer melhor as propriedades técnicas da madeira, permitindo um melhor aproveitamento da matéria-prima

que era composta principalmente pela madeira de Araucária. Na década de 1960, as florestas da região Norte do país passaram a ser a principal fonte de matéria-prima, e com a demanda crescente foram estabelecidas políticas de incentivo ao florestamento e reflorestamento. Essas políticas promoveram o plantio de diversas espécies, incluindo o pinus e o eucalipto, que ajudaram a suprir a demanda de segmentos como o de celulose e o de carvão vegetal (ABIMCI, 2022c).

Mesmo após o fim dos programas de incentivo ao reflorestamento, foi possível observar um crescimento da área de florestas plantadas no território nacional (ABIMCI, 2022c). Em 2020 o Brasil possuía cerca de 9,55 milhões de hectares de florestas plantadas, equivalente a aproximadamente 1,2% do território nacional. Eucalipto e pinus são as espécies predominantes, e a região Sul concentra as maiores áreas de plantio de pinus, sendo que somente Santa Catarina abriga cerca de 24% da área total plantada dessa espécie (Silva et al., 2023).

Em 2021 o cenário seguiu semelhante, com um total de 9,93 milhões de hectares de florestas plantadas. Desse total, 75,8% são de florestas de eucalipto e 19,4% de florestas de pinus. Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul e os três estados da região sul seguem como os principais produtores de florestas plantadas do Brasil (IBÁ, 2022).

A representatividade econômica e social do setor de base florestal e em especial da indústria de madeira processada é também evidenciada pelos indicadores apresentados pela Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente – ABIMCI. Dados do ano de 2020 identificam 20.321 empresas da indústria madeireira no país, sendo 49% delas localizadas na região Sul. No mesmo ano, dos 612.527 empregos gerados pelo setor de base florestal, 26% deles foram gerados especificamente pela indústria madeireira (ABIMCI, 2022c).

O setor florestal está em constante evolução. O avanço da tecnologia para o manejo e controle de pragas, a capacitação profissional e o manejo sustentável das florestas plantadas têm permitido a evolução da produtividade das áreas plantadas. Em 1970, a média de produtividade no plantio de eucalipto era de 10m³ por hectare ao ano, enquanto no ano de 2021, foi possível atingir 38,9m³ por hectare ao ano. O consumo de madeira de florestas plantadas para uso industrial atingiu o volume de 227,3 milhões de m³ em 2021 (crescimento de 4,8% em relação a 2020) (IBÁ, 2022).

Historicamente o volume de madeira de florestas plantadas consumido cresce a cada ano indicando o potencial de expansão do segmento. Para além dos usos na indústria de papel e celulose, as florestas de pinus e eucalipto tem grande demanda na construção civil e na agricultura, onde são utilizados principalmente após o tratamento químico para preservação. O

tratamento é feito em Usinas de Preservação de Madeira (UPM), cujo objetivo é proporcionar maior durabilidade para o produto a partir do tratamento químico (Cunha, 2014). A seguir, maiores detalhes sobre a história do tratamento de madeira e aspectos técnicos são abordados.

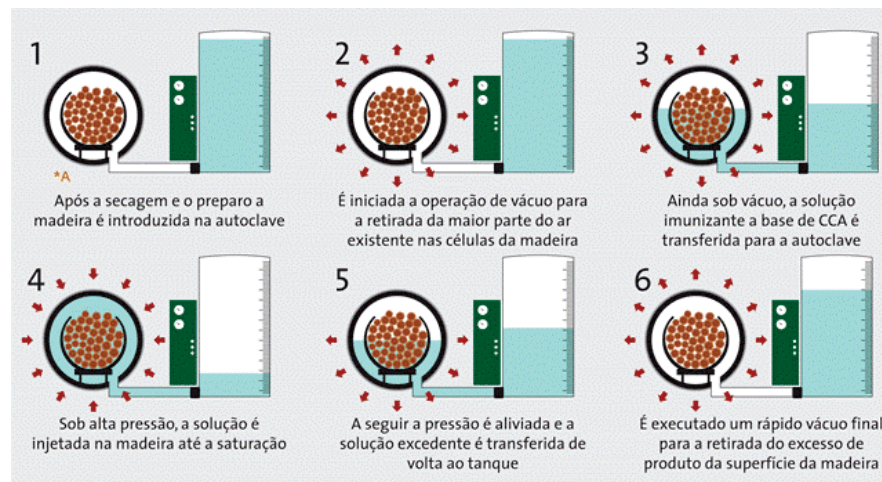
2.1.1 Indústria da madeira tratada

A preservação da madeira foi uma necessidade percebida já no início do século XV com o aumento das viagens de navio pelo mundo, onde produtos químicos eram utilizados para prolongar a vida útil dos cascos das embarcações. Com a revolução industrial no século XVIII e a expansão das ferrovias, foi observado o aumento da demanda por dormentes de madeira, que precisavam ser duráveis. Da mesma forma, a chegada da energia elétrica e dos telégrafos trouxe a demanda por postes de madeira, que também precisavam ser preservados para não necessitar de trocas frequentes em razão da exposição ao tempo (Moraes, 1996).

Ao longo das décadas, pesquisas foram feitas para aprimorar a forma de tratamento da madeira, até que em 1831 o francês Jean Bréant descobriu a aplicação de produtos preservativos sob pressão, utilizado até os dias atuais (Moraes, 1996). A primeira usina de preservação de madeira sob pressão da América Latina foi importada da Inglaterra e instalada no Brasil em 1900. Com operação iniciada em 1902, a usina tinha por objetivo produzir dormentes para a estrada de Ferro Central do Brasil de Juiz de Fora – MG, usando o creosoto como preservativo químico (Moraes; Bacha, 1995).

Atualmente, o arseniato de cobre cromatado (CCA) é o composto químico mais utilizado pelas indústrias de madeira tratada no Brasil (Candaten, 2021), que geralmente possuem um equipamento chamado autoclave para realizar o tratamento. A autoclave é composta por um vaso de pressão, onde a madeira seca é submetida a um vácuo inicial para retirada do ar das células da madeira. A pressão é novamente usada para introduzir o CCA ou outro composto químico nas camadas permeáveis da madeira, e um vácuo final é aplicado para retirar o excesso de produto das peças, conforme ilustrado na Figura 2 (ST Wood, 2021).

Figura 2 – Processo de tratamento da madeira em autoclave



Fonte: ST Wood (2021).

As espécies mais comuns utilizadas para o tratamento são o pinus e o eucalipto. Cruzetas e postes para linhas de transmissão, dormentes para ferrovias, e peças para a construção civil e rural são algumas das aplicações da madeira tratada (Costa et al., 2019). O setor agropecuário em especial é um dos que mais consome produtos de madeira tratada, utilizando o material para construção de cercas, mourões e estruturas de construções. Há também um grande uso na construção civil e arquitetura para construção de *decks* e *playgrounds* (Candaten, 2021) além de uso estrutural.

Conforme Costa et al. (2019, p. 2) “Os produtos de madeira tratada têm sido e devem continuar sendo cada vez mais demandados”. Assim como toda atividade humana, na indústria de madeira tratada há a geração de resíduos, que precisam ser tratados com atenção. Na seção a seguir discute-se a gestão de resíduos e as particularidades dos resíduos de madeira tratada.

2.2 ECONOMIA CIRCULAR

Especialmente após a pandemia do Covid-19 se tem observado na sociedade e nas empresas mudanças de comportamento, em que o modo de consumo está sendo modificado para um viés mais sustentável (Pego, 2020). Dentre essas mudanças, surge com mais força o conceito de economia circular. Nesta seção se apresenta um breve histórico da economia circular, onde busca-se traçar uma linha do tempo com acontecimentos relevantes relacionados ao tema, bem como conceitos, características e Modelos de Negócio de Economia Circular (MNEC). Destaca-se também as possibilidades de aplicações práticas desse conceito em setores econômicos variados.

2.2.1 Histórico da Economia Circular

A preocupação com questões ambientais e de escassez de recursos pode ser vista como algo relativamente recente. Na década de 1960 é que visão ambiental passou a ser considerada de forma global, e no ano de 1972 ocorreu a conferência sobre o meio ambiente das Nações Unidas, um evento no qual foi construído um manifesto ambiental com 19 princípios voltados para a preservação e melhoria do ambiente para as nações (Organização das Nações Unidas, 2020).

Em 1987, também a partir da ação da Organização das Nações Unidas (ONU) e da então criada comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento, foi criado o conceito de desenvolvimento sustentável, publicado no Relatório Brundtland, chamado “Nosso Futuro Comum”. Esse conceito consiste em satisfazer as necessidades das atuais gerações, garantindo que as gerações futuras possam atender suas próprias demandas. Nos anos seguintes, outro marco importante foi a elaboração da Agenda 21, que traz os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (Organização das Nações Unidas, 2020).

Em paralelo às evoluções da agenda ambiental mencionadas, a comunidade científica também desenvolvia novos conceitos, motivados principalmente pelas mudanças geradas pela terceira revolução industrial a partir da década de 1960, marcada pelo avanço da tecnologia e pela inovação. Um desses conceitos foi o de economia circular, cuja criação remete ao ano de 1966 e é atribuída ao economista americano Kenneth Boulding (Gureva; Deviatkova, 2020)

Na literatura, o estudo mais antigo publicado que menciona o termo “economia circular” é do ano de 1976 (Gureva; Deviatkova, 2020), porém, conforme Oliveira, Silva e Moreira (2019), o termo está em diferentes áreas do conhecimento, e em cada área o conceito é atribuído a um pesquisador diferente. Assim, não é possível precisar apenas um responsável pela construção do conceito.

Apesar de ter origem há mais de 50 anos, é nas últimas duas décadas que o termo se popularizou. No ano de 2010 foi criada a Fundação Ellen MacArthur, uma entidade idealizada pela velejadora Ellen MacArthur após uma viagem de volta ao mundo de 71 dias. A experiência de Ellen nos oceanos trouxe reflexões sobre a finitude do planeta e de nossos recursos, motivando a criação da fundação. Desde então a entidade atua fortemente na divulgação da economia circular e é considerada uma líder mundial nesse tema, trabalhando junto a empresas, governos e pesquisadores com o objetivo de construir propostas e estruturas para acelerar a transição para a circularidade (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Gureva e Deviatkova (2020) realizaram um levantamento da literatura sobre economia circular e estabeleceram três fases da evolução do conceito de economia circular. Na primeira fase, compreendida entre os anos de 1970 e 1990, havia uma atenção por parte da mídia para as mudanças ambientais e se observava um foco na reutilização e gestão de resíduos, sendo que muitos estudos sobre reciclagem foram realizados nesse período. Entre 1990 e 2010 é que se encontra a fase voltada em estratégias de ecoeficiência, em que a comunidade acadêmica foca na busca pela produção com lixo zero, ou seja, na redução do desperdício, mas apenas em nível industrial.

É a partir de 2010 que a visão da redução do desperdício e da otimização do uso dos recursos ganha força e uma visão mais ampla, para além das paredes das indústrias e empresas. As ideias e princípios de economia circular propostos pela Fundação Ellen MacArthur começam a ser difundidas e adotadas (Gureva; Deviatkova, 2020). A construção do conceito de economia circular sofreu influência de outros conceitos já estabelecidos e de escolas de pensamento como design regenerativo, ecologia de performance, ecologia industrial, biomimética (que trata da reprodução de comportamentos da natureza para solução de problemas humanos), e da visão *cradle-to-cradle* (do berço ao berço) (Oliveira; Silva; Moreira, 2019).

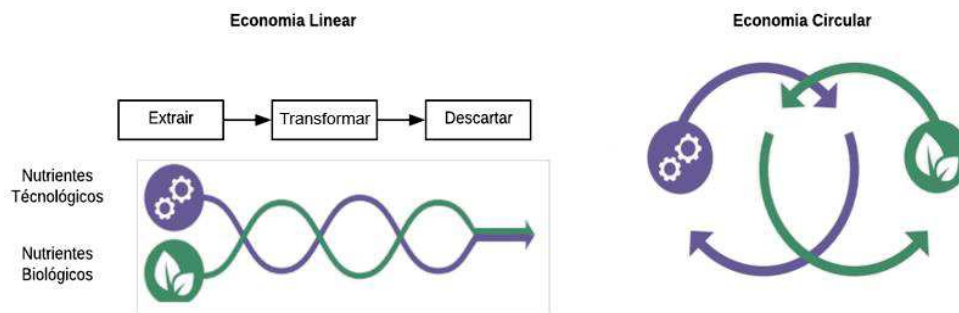
A escola *cradle-to-cradle* pode ser considerada a mais influente no conceito de economia circular, pois traz justamente a questão da circulação dos recursos em ciclos. Essa perspectiva, criada pelo químico alemão Michael Braungart e pelo arquiteto americano Bill McDonough, considera que o fim de um ciclo representa o início de outro, ampliando a vida útil e a reutilização, eliminando a geração de resíduos (Atec, 2021).

De modo geral, ao longo dos anos o conceito de economia circular foi sendo construído por diversos pesquisadores, com influências variadas. Por isso, é possível observar que ainda não há um conceito estabelecido pela literatura, e algumas das proposições de pesquisadores são apresentadas a seguir.

2.2.2 Conceitos e Características da Economia Circular

A economia circular é um sistema de produção que busca substituir o sistema linear adotado pela maioria das empresas, que é baseado em extrair, transformar e descartar. O sistema linear exige grandes quantidades de materiais e energia, enquanto que o sistema circular busca manter produtos e materiais em uso pelo maior tempo possível (Ellen MacArthur Foundation, 2015). A Figura 3 ilustra as diferenças entre os dois sistemas.

Figura 3 – Ilustração dos sistemas linear e circular de produção



Fonte: Adaptado de Ellen MacArthur Foundation (2015).

A economia circular tem como uma de suas características o planejamento para que os materiais circulem no processo produtivo de forma eficiente. Esses materiais podem ser reintroduzidos na produção para reduzir o desperdício e aumentar a vida útil (Hammerschmidt, 2020). Vier *et al.* (2021, p. 28) complementam que “O conceito de Economia Circular visa fechar o ciclo de vida dos produtos, para que, ao final de sua vida útil, os mesmos possam ser reaproveitados, reutilizados ou reciclados, gerando assim, benefícios econômicos, sociais e ambientais”.

A Fundação Ellen MacArthur (2015) apresenta três princípios básicos que descrevem a economia circular, assim como algumas características, que são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1– Princípios e características da economia circular

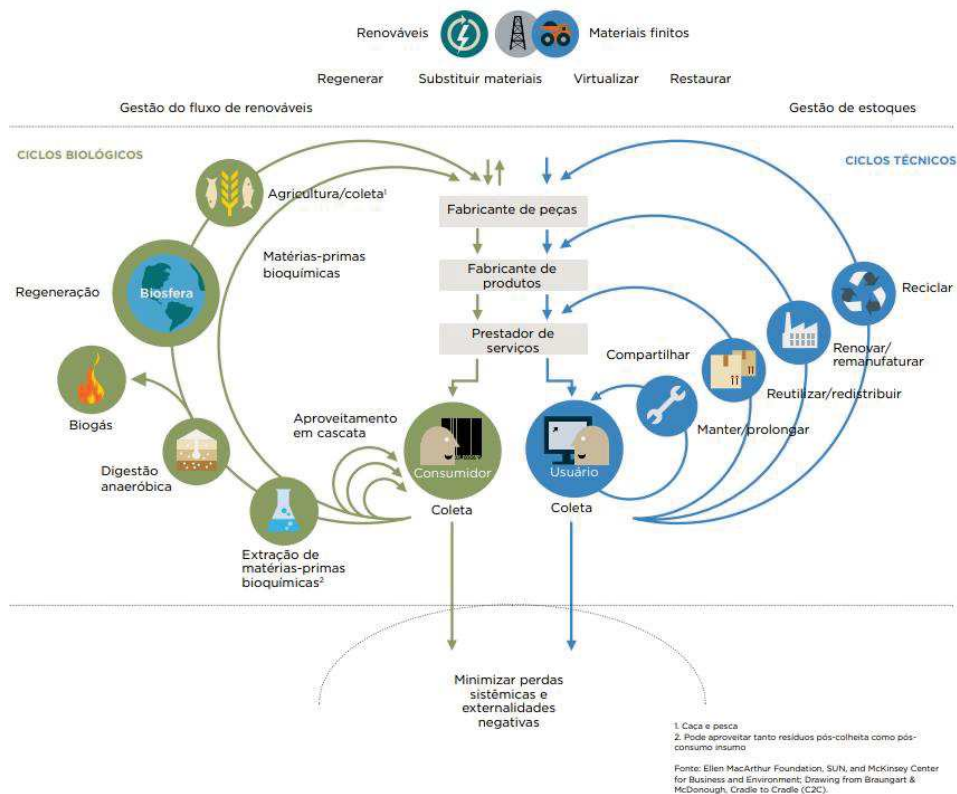
Princípios	
Princípio	Descrição
Preservar e aprimorar o capital natural.	Busca pela escolha sensata de materiais naturais, priorizando tecnologias e processos que usem recursos naturais da forma mais eficiente possível. A desmaterialização ou virtualização sempre que possível também compreende esse princípio.
Otimizar o rendimento de recursos.	Promover a circulação de produtos, componentes e materiais em uso no mais alto nível de utilidade o tempo todo. Isso inclui o design de materiais e a escolha de matéria-prima que possibilite a manutenção, reciclagem, reaproveitamento e remanufatura por exemplo.
Estimular a efetividade do sistema.	Busca reduzir e excluir os impactos negativos que possam afetar o meio ambiente e as pessoas desde o princípio por meio de um sistema de produção efetivo.
Características	
Característica	Descrição
Perdas excluídas desde o princípio.	Os produtos são projetados para que não haja geração de resíduos, então desde o projeto se busca otimizar os recursos utilizados.

A diversidade faz a força.	A diversidade fortalece a economia circular, e isso inclui a participação e interação entre empresas de portes pequeno, médio e grande.
Fontes de energias renováveis movem a economia.	A energia que move a economia circular deve ser renovável.
Pensamento sistêmico.	Para adotar a economia circular é necessária uma visão do todo. Tanto a sociedade como os ecossistemas são complexos que precisam ser olhados de forma sistêmica.
Preços ou outros mecanismos de feedback devem refletir os custos reais.	Na economia circular os preços são como mensagens e precisam refletir os custos a serem efetivados, inclusive os impactos negativos. Essa característica se relaciona com a transparência.

Fonte: Adaptado de Ellen MacArthur Foundation (2015).

Os princípios da economia circular buscam a eliminação de resíduos e da poluição por meio de ciclos de materiais e energia e da regeneração da natureza. Juntos, os três princípios do Quadro 1 explicam o “diagrama borboleta” (Figura 4), que representa graficamente como seriam os fluxos de materiais em uma economia circular. Segundo Sehnem e Pereira (2019), o termo “circular” remete a ideia de ciclo, que seria dividido em ciclo biológico ou bioquímico, e ciclos técnicos.

Figura 4 – Diagrama borboleta da economia circular



Fonte: Ellen MacArthur Foundation (2015, p. 6).

O diagrama é construído a partir de dois ciclos de materiais: o ciclo técnico (à direita da imagem) e o ciclo biológico (à esquerda). O ciclo técnico envolve a gestão de materiais finitos, que são mantidos em uso pelo maior tempo possível a partir do reuso, reparo, remanufatura e reciclagem. Também há a premissa do compartilhamento, onde o uso substitui o consumo. No ciclo biológico temos a gestão dos materiais renováveis, em que os nutrientes são devolvidos para a regeneração da natureza (Ellen MacArthur Foundation, 2015), e há um aproveitamento em cascata dos materiais – o que é considerado resíduo para um pode se tornar o insumo para outro e manter o material circulando numa cadeia produtiva (Ecycle, 2023).

Os princípios da economia circular refletem também em características marcantes. A exclusão das perdas, o uso de energias e materiais renováveis, a minimização da extração de recursos, a maximização da reutilização e o pensamento sistêmico são algumas delas. A economia circular vai além de ações de gestão de resíduos e reciclagem, pois tem uma perspectiva sistêmica de olhar para o processo como um todo. Assim, os produtos são pensados desde o design para que possam ser reutilizados, remanufaturados ou reciclados pelo maior tempo possível (Portal da Indústria, 2023).

Para a Fundação Ellen MacArthur (2017):

Uma economia circular é restaurativa e regenerativa por princípio. Seu objetivo é manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor o tempo todo, distinguindo entre ciclos de materiais técnicos e biológicos. Essa abordagem busca, em última instância, dissociar o desenvolvimento econômico do consumo de recursos finitos e eliminar externalidades negativas da economia. (Ellen MacArthur Foundation, 2017, p. 10).

Como já mencionado, a Fundação Ellen MacArthur possui uma atuação mundial, com esforços para apresentar, divulgar e incentivar empresas e governos a adotarem práticas de economia circular. Em função disso, a sua definição de economia circular proposta e descrita anteriormente é bastante considerada nos estudos da área, mas ainda há algumas confusões e dificuldades para definição de um conceito para a economia circular (Sehnem; Pereira, 2019).

Na obra de Weetman (2019) por exemplo, encontra-se um conceito de economia circular construído de forma colaborativa pela organização *Open Source Circular Economy Days*, que diz que a economia circular é um sistema sustentável que poupa recursos, atua em sinergia com o ambiente e que não gera resíduos pois transforma os resíduos em matéria-prima para novos ciclos produtivos.

Nobre e Tavares (2021) pesquisaram com 44 especialistas o entendimento da definição da economia circular e construíram um conceito, descrito a seguir:

A Economia Circular é um sistema econômico que visa zero desperdício e poluição ao longo dos ciclos de vida dos materiais, desde a extração do meio ambiente até a transformação industrial e os consumidores finais, aplicando-se a todos os

ecossistemas envolvidos. Ao final 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. Atua criando valor nos níveis macro, meso e micro e explora ao máximo o conceito aninhado de sustentabilidade. As fontes de energia utilizadas são limpas e renováveis. O uso e o consumo de recursos são eficientes. As agências governamentais e os consumidores responsáveis desempenham um papel ativo, garantindo a operação correta do sistema a longo prazo (Nobre; Tavares, 2021, p. 10).

Além dos benefícios ecológicos já visualizados, gerados principalmente pela otimização do uso de recursos naturais e redução do desperdício e geração de resíduos, a economia circular é capaz de proporcionar desenvolvimento social e econômico com a criação de empregos, novos negócios e incentivo à inovação e novas tecnologias (Ellen MacArthur Foundation, 2015). Piazza (2019) indica que o conceito de economia circular pode ser adaptado em escalas diferentes, ou seja, em países, cidades, em empresas de pequeno, médio e grande porte, órgãos públicos, e até mesmo de forma global.

Sehnen e Pereira (2019) também comentam a possibilidade de a implementação ocorrer em nível micro nas empresas, no nível interempresarial (parcerias entre indústrias), e também no nível territorial (município, estado, país). Para Weetman (2019), a adoção da economia circular tem ocorrido principalmente nas organizações, que tem revisto seus modelos de negócio para aproveitar oportunidades geradas pela circularidade. Assim surgem os Modelos de Negócios de Economia Circular (MNEC), que reúnem estratégias e estruturas para promover uma transição do sistema linear para o sistema circular, e que são abordados a seguir.

2.2.3 Modelos de Negócio de Economia Circular e suas Aplicações

Se entende por modelo de negócio a forma como uma organização cria e entrega valor para seus clientes, ou seja, o modelo de negócio engloba uma visão ampla e sistêmica de todas as ações da empresa (IEBT Innovation, 2022). Teece (2010 apud Lazzerini, 2020) indica que os modelos de negócio compreendem hipóteses sobre o que os consumidores querem e como querem (criação de valor), sobre como a empresa irá atender essas necessidades (entrega de valor), e como a empresa irá obter lucros a partir disso (captura de valor). Novos modelos de negócio representariam assim soluções por parte de empresas e empreendedores para as necessidades dos consumidores e do mercado (Teece, 2010 apud Lazzerini, 2020).

Com a transformação dos negócios para uma visão mais sustentável e circular, os Modelos de Negócio de Economia Circular (MNEC) surgem para criar, entregar e capturar valor a partir das premissas circulares. Na literatura, se encontram diversos MNEC que podem

ser adotados. Lacy, Long e Spindler (2020) citam cinco modelos, que podem ser adotados individualmente ou combinados:

- Insumos circulares ou fornecimento circular: uso de energia renovável, materiais biológicos ou recicláveis;
- Plataformas de compartilhamento: modelos colaborativos de uso, acesso ou propriedade;
- Produto como serviço: oferecer acesso ao produto mantendo a propriedade;
- Extensão do uso do produto ou segunda vida: prolongamento da vida útil do produto por meio de reparos, remanufatura, atualização ou revenda;
- Recuperação de recursos ou desperdício como recurso: recuperação de recursos ou a partir de resíduos ou subprodutos.

Outro MNEC bastante citado pelos estudos de economia circular é a estrutura ReSOLVE, criado pela Ellen MacArthur Foundation. No Quadro 2 se visualiza o modelo, que é composto por seis ações que também podem ser adotadas de forma individual ou conjunta.

Quadro 2 – Estrutura ReSOLVE para a economia circular

Ação	Descrição
Re – <i>Regenerate</i> Regenerar	<ul style="list-style-type: none"> • Mudar para energia e materiais renováveis. • Recuperar, reter e restaurar a saúde dos ecossistemas. • Devolver recursos biológicos recuperados à biosfera.
S – <i>Share</i> Compartilhar	<ul style="list-style-type: none"> • Compartilhar ativos (automóveis, salas, eletrodomésticos). • Reutilizar/usar produtos de segunda mão. • Prolongar a vida dos produtos por meio de manutenção, projetar visando à durabilidade, possibilidade de atualização, etc.
O – <i>Optimize</i> Otimizar	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar o desempenho/eficiência do produto. • Remover resíduos na produção e na cadeia de suprimentos. • Alavancar big data, automação, sensoriamento e direção remotos.
L – <i>Loop</i> Ciclar	<ul style="list-style-type: none"> • Remanufaturar produtos ou componentes. • Reciclar materiais. • Usar digestão anaeróbia. • Extrair substâncias bioquímicas dos resíduos orgânicos.
V – <i>Virtualise</i> Virtualizar	<ul style="list-style-type: none"> • Desmaterializar diretamente (livros, CDs, DVDs, documentos digitais). • Desmaterializar indiretamente (compras online).
E – <i>Exchange</i> Trocar	<ul style="list-style-type: none"> • Substituir materiais não renováveis antigos por outros mais avançados. • Aplicar novas tecnologias, como impressão 3D. • Optar por novos produtos/serviços (ex: transporte multimodal).

Fonte: Adaptado de Ellen MacArthur Foundation (2015, p. 10).

Lazzerini (2020) menciona o estudo de Bocken et al. (2016), que descreveu MNEC a partir da característica da proposta do modelo: desacelerar o ciclo ou fechar o ciclo. Desacelerar o ciclo consiste na criação de produtos com vida útil estendida, possíveis de reutilização, onde há um papel importante do design para criação de produtos duráveis e com características que prolonguem o seu uso. Os modelos que buscam fechar o ciclo focam na criação de valor a partir de resíduos que seriam descartados, transformando o resíduo em recursos de valor. Uma forma de fechamento de ciclo conhecida é a simbiose industrial, onde um resíduo de uma indústria se torna um recurso para outra (Bocken et al., 2016 apud Lazzerini, 2020).

Além dos MNEC já mencionados, a revisão de literatura realizada por Julkovski e Sehnem (2021) menciona a popularidade do modelo dos 3Rs – reduzir, reciclar e reutilizar. A perspectiva dos 3Rs evoluiu para os 6Rs – reduzir, reutilizar, reciclar, recuperar, reprojeter e remanufaturar. Nesse mesmo contexto, há o modelo dos 10Rs: recusar, repensar, reduzir, reutilizar, reparar, reformar, remanufaturar, redefinir/redirecionar, reciclar e recuperar. Kirrhherr, Reike e Hekkert (2017) classificam os 10Rs em uma figura que indica que o uso dessas dez ações pode contribuir para a aplicação útil de materiais, prolongamento da vida útil do produto e dos materiais que o compõe, além de promover o uso e fabricação mais inteligentes. No Quadro 3 são descritas as ações dos 10Rs mencionados e suas descrições.

Quadro 3 – Modelo dos 10Rs

Estratégia	Descrição
Recusar	Tornar o produto redundante, abandonando sua função ou oferecendo a mesma função com um produto radicalmente diferente.
Repensar	Tornar o uso do produto mais intensivo (por exemplo, compartilhando o produto).
Reduzir	Aumentar a eficiência na fabricação ou uso de produtos, consumindo menos recursos naturais e materiais.
Reutilizar	Reutilizar produto descartado que ainda esteja em bom estado e cumpra sua função original.
Reparar	Reparar e efetuar a manutenção de produto defeituoso para que possa ser utilizado com a sua função original.
Reformar	Restaurar produtos antigos.
Remanufaturar	Utilizar partes do produto descartado em um novo produto com a mesma função.
Redirecionar	Utilizar um produto descartado ou suas partes em um novo produto com função diferente.
Reciclar	Processar materiais para obter a mesma qualidade (alto grau) ou inferior (baixo grau) por meio da reciclagem.
Recuperar	Incineração de material com recuperação de energia.

Fonte: Adaptado de Kirrhherr, Reike e Hekkert (2017), tradução própria.

A aplicação dos MNEC já é encontrada em diversos setores da economia. No Brasil, a pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) no ano de 2021 mostrou que mais de 76% das indústrias brasileiras adotam alguma prática de economia circular, mas a maioria nunca ouviu falar do tema e não sabe que estão praticando. A otimização de processos, o uso de insumos reciclados, renováveis, recondicionados ou remanufaturados, e a recuperação de resíduos com troca entre empresas, são as três práticas mais presentes, como mostra a Figura 5 (Portal da Indústria, 2021).

Figura 5 – Práticas de economia circular observadas na indústria brasileira



Fonte: Portal da Indústria (2021).

A pesquisa da CNI ainda destaca práticas de economia circular bem sucedidas no setor de cimento, que utiliza resíduos em substituição ao coque (subproduto do refino do petróleo), e também do setor de produtos de limpeza, que se destaca na logística reversa de embalagens (Portal da Indústria, 2021). A Unidade de Cogeração Lages da Engie Brasil é outro exemplo de adoção da economia circular: resíduos de indústria da madeira local são usados para gerar energia elétrica e vapor. As cinzas formadas pelo processo de queima, que são resíduos para a unidade, são repassadas para uso na agricultura e em composteiras (Magri; Cusatis, 2020).

No setor de base florestal de árvores plantadas também são encontradas práticas alinhadas a economia circular. O estudo de Tedesco (2021) mostra que algumas empresas aderem à economia circular de forma completa, enquanto que outras apenas de forma superficial. Apesar da cadeia da indústria florestal possuir atividades bastante distintas (papel e celulose, fabricação de painéis de madeira, pisos laminados, etc.), a pesquisa observou que as práticas circulares mais utilizadas nas empresas analisadas se relacionam com a ação de regenerar da estrutura ReSOLVE.

A partir dos estudo e pesquisa mencionados, se entende ser possível adaptar práticas circulares em realidades variadas. Considerando que este estudo tem como foco a indústria madeireira, na próxima seção se inicia a apresentação do contexto do setor madeireiro do Brasil.

2.3 GESTÃO DE RESÍDUOS

Apesar da economia circular ir muito além da reciclagem de resíduos, como afirma Weetman (2019), esse sistema contribui para minimizar os impactos causados pela geração de resíduos. “A gestão de resíduos sólidos encontra desafios que se intensificam na medida que o modelo linear de produção e o consumo de bens e serviços acelera o ritmo de descarte de materiais” (Foster; Roberto; Igari, 2016, p. 3).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS define resíduos sólidos como “material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido” (Brasil, 2010, p. 1). A Associação Brasileira de Normas Técnicas define resíduos sólidos na NBR 1004 (ABNT, 2004, p. 1) como:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Garcia *et al.* (2015) comentam que a geração de resíduos, chamados popularmente de lixo, é algo que sempre existiu na história da humanidade. Se considera lixo tudo que é inútil ou está em desuso, e a partir da revolução industrial, o volume de resíduos gerados aumentou consideravelmente. Para Foster, Roberto e Igari (2016) esse aumento ocorre principalmente em função do modelo linear de produção adotado pela maioria das empresas, em que se extrai a matéria-prima, se produz um bem que é consumido e então descartado. Associado a isso, muitos bens de consumo possuem curta vida útil e são descartados precocemente.

Os resíduos sólidos podem ter definições e classificações diferentes, que dependem do contexto em que estão inseridos (Foster; Roberto; Igari, 2016). O processo ou atividade que deu origem aos resíduos, as suas características de composição e os potenciais danos a saúde ou ao meio ambiente também são aspectos considerados para definição de critérios para destinação e disposição final (ABNT, 2004).

A variedade de características dos resíduos é um grande desafio para a sua gestão. Por gestão de resíduos sólidos se entende o conjunto de ações diretas ou indiretas envolvidas na coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação ou disposição final ambientalmente correta dos materiais considerados sem utilidade. A partir da PNRS, essas ações passaram a ser consideradas de responsabilidade compartilhada por fabricantes, distribuidores, consumidores, governo, entre outros, ou seja, todos se tornam responsáveis por contribuir e garantir a execução de soluções adequadas para situações de gestão de resíduos (Brasil, 2010).

Os esforços para melhorar a gestão de resíduos no Brasil avançaram, mas ainda não o suficiente para resolver os problemas. Foster, Roberto e Igari (2016) relatam que muitas alternativas usadas para disposição de resíduos como o aterro sanitário, ainda trazem impactos ambientais. O aterro especialmente é uma prática que enfrenta a limitação de espaços para sua construção. A incineração é outra opção, que além de gerar emissão de gases poluente, segue tendo algum tipo de resíduo ao final do processo de queima que também exigem destinação (cinzas). Os autores também comentam que as destinações atuais não são capazes de solucionar o problema da disposição de resíduos de forma satisfatória, o que traz a necessidade de novas alternativas de gestão, e uma dessas alternativas é a economia circular.

Dependendo das características de um resíduo, ele precisa de um tratamento ou forma de disposição específica para minimizar os impactos. Um desses resíduos é o originado pelo processo de tratamento de madeira de reflorestamento feito pelas indústrias madeireiras, como exposto a seguir.

2.3.1 Gestão de resíduos de madeira tratada

O tratamento químico é aplicado na madeira para aumentar sua durabilidade, protegendo a madeira do ataque de fungos e insetos e também da umidade. De acordo com Ferrarini (2012), um dos preservantes mais utilizados na indústria madeireira é o arseniato de cobre cromatado – CCA, que combina os elementos arsênio, cobre e cromo.

Um dos maiores problemas da atividade de tratamento da madeira se relaciona com a gestão dos resíduos, tanto aqueles que compõe as sobras no processo produtivo, quanto aqueles

gerados após o uso, como por exemplo postes de cerca e de energia que são substituídos. Em função da alta toxicidade dos produtos utilizados, há sérios riscos de contaminação no momento do descarte final (De Castro *et al.*, 2021), e os resíduos são considerados perigosos pela NBR 10004 (ABNT, 2003).

O descarte dos resíduos de madeira tratada em aterro licenciado pode ser uma opção segura, porém o grande volume a ser disposto nesses aterros pode ser uma barreira, assim como no caso dos aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, que já enfrentam falta de espaço. Se destaca que para a madeira tratada a incineração não é recomendada e pode causar sérios prejuízos à saúde e ao ambiente, pois os metais pesados inseridos pelo tratamento ficam nas cinzas e também são emitidos para a atmosfera. Até há possibilidade de queima em incineradores industriais, mas a problemática das cinzas permanece e os equipamentos de controle de poluição são indispensáveis para evitar o lançamento dos gases poluente no ambiente (Romagnano; Brazolin, 2002).

No Brasil a NBR 8456 determina as diretrizes para o tratamento da madeira com CCA, e há estudos como os desenvolvidos por Ferrarini (2012) e De Castro *et al.* (2021) que buscam por alternativas de remoção dos elementos dos resíduos para permitir uma disposição final mais segura e de menor impacto para o meio ambiente. Entretanto, os estudos não analisam a viabilidade econômica dessas alternativas, mas pode-se supor que há um custo considerável para esse tratamento de remoção.

Nesse contexto, Romagnano e Brazolin (2002) afirmam que a melhor solução para minimizar os riscos de contaminação do ambiente com resíduos de madeira tratada é a recuperação e reutilização. O uso em projetos paisagísticos e a fabricação de produtos menores como paletes, cachepôs, dormentes de jardim, prateleiras e estacas de estacionamento são algumas alternativas para reuso de resíduo de madeira tratada. A depender do tamanho e condições do resíduo, é possível reutilizá-los na construção civil, como no caso de postes e mourões (Romagnano; Brazolin, 2002; Ecotrat, 2020).

Como já mencionado no presente referencial teórico, a reutilização de materiais está inserida no contexto do sistema de produção da economia circular. Foster, Roberto e Igari (2016) consideram que a economia circular é um modelo aplicável para a gestão de resíduos, e com o potencial de aproveitamento da madeira, se entende que é possível buscar alternativas de gerenciamento de resíduos de madeira tratada por meio dos princípios circulares.

Considerando que a adoção da economia circular na gestão de resíduos depende de aspectos de eficiência ambiental e também econômica (Foster; Roberto; Igari, 2016), apresenta-

se na seção seguinte sobre o custo total de propriedade – TCO, uma metodologia que pode contribuir na mensuração da viabilidade econômica da gestão de resíduos de madeira tratada.

2.4 CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE – TCO

O Custo Total de Propriedade, tradução do inglês *Total Cost of Ownership* – TCO, surgiu em meados dos anos 1980 e foi desenvolvido pela Garter Group, uma empresa de consultoria em tecnologia que buscava avaliar os custos de aquisição de computadores. Com o desenvolvimento da tecnologia e dos computadores, as empresas passaram a perceber que era necessário estimar não só os custos de compra como também os relacionados ao uso e a manutenção dos equipamentos. Assim, o TCO se tornou um método de cálculo do custo do ciclo de vida de um produto ou serviço (Silva; Ferreira Filho; Ignácio, 2007; Santos, 2011).

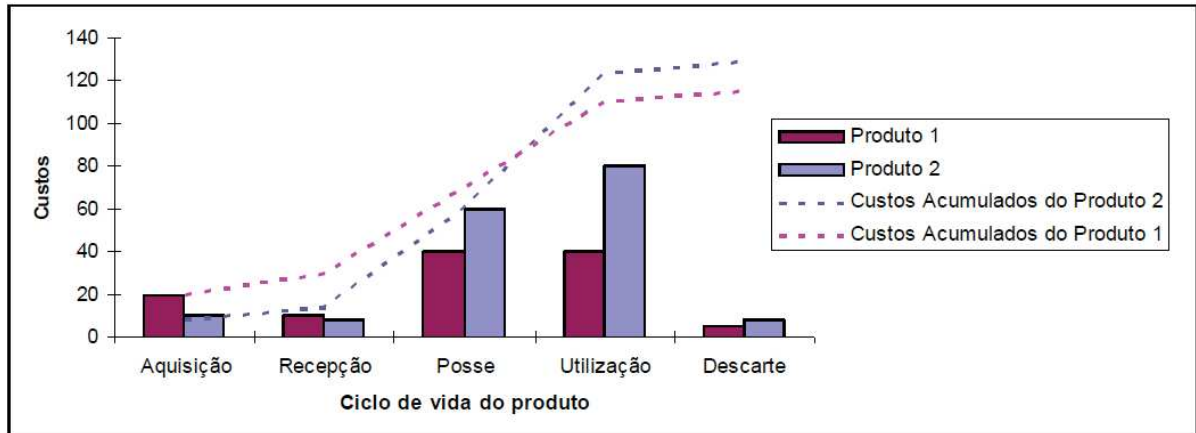
“O custo total de propriedade parte da necessidade de se conhecer os custos que incorrerão no produto em toda sua vida útil, inclusive no momento do descarte” (Soutes, 2007, p. 91). Assim, nas seções a seguir, são apresentados conceitos e características do TCO, além de modelos e exemplos de sua aplicação prática.

2.4.1 Conceitos e Características do TCO

Para Ellram (1995), o TCO é uma abordagem em que se considera os custos mais importantes em termos de aquisição, posse, uso e venda de uma mercadoria ou de um serviço. Onkham, Karwowski e Ahram (2012) complementam que o TCO também considera investimentos de contratação e treinamento de pessoas, quando há necessidade de operação de equipamentos, por exemplo, podendo incluir também custos com erros de produção que em outros métodos podem passar despercebidos. Desse modo, o TCO se torna uma ferramenta importante para o suporte de decisões estratégicas das empresas, como afirma Soutes (2007).

O TCO é de grande importância também para a determinação do custo real de um produto. Normalmente há uma diferença significativa entre o preço de um dado material, produto ou equipamento no momento da compra e o custo efetivo do mesmo ao longo de sua vida útil, e até mesmo após isso se o descarte for considerado. Essa diferença é uma informação que pode ser relevante para tomadas de decisão estratégica (Radziwill; Duplainb, 2010). Silva, Ferreira Filho e Ignácio (2007) trazem o exemplo exposto na Figura 6, onde o custo inicial de aquisição de um produto pode ser menor do que de outro, mas tornar-se mais caro a partir dos custos envolvidos ao longo do seu ciclo de vida.

Figura 6 – Influência dos custos no ciclo de vida de um produto em seu custo final



Fonte: Silva, Ferreira Filho e Ignácio (2007).

Ellram e Siferd (1998 *apud* Souza; Voese, 2013) comentam que o TCO pode auxiliar tanto em decisões de rotina como o volume de um material a ser comprado, quanto decisões estratégicas, como definir um ramo de atuação do negócio. No Quadro 4 se apresenta uma relação de objetivos que podem ser alcançados pelo método do TCO segundo Santos (2011).

Quadro 4 – Objetivos proporcionados pelo TCO

Objetivo	Descrição
Avaliação de desempenho	Por meio do TCO é possível analisar o desempenho de fornecedores e gerenciar os custos a longo prazo.
Qualidade na decisão	O TCO oferece informações estruturadas e sistemáticas que podem ser usadas na tomada de decisão dos gestores.
Comunicação	O TCO contribui para melhoria da comunicação principalmente no setor de compras, visto que fornece dados sólidos sobre custos com os fornecedores. Também se relaciona com a obtenção de informações relevantes sobre os custos da empresa, que podem ser comunicados de forma mais compreensível para os gestores.
Visão e compreensão	A abordagem do TCO permite uma visão e compreensão de custos a longo prazo e, portanto, mais robusta.
Melhoria contínua	A partir da compreensão e visão proporcionado pelo TCO, é possível identificar aspectos ajustáveis e adotar ações visando a melhoria contínua, principalmente no que diz respeito aos processos de compra.

Fonte: adaptado de Santos (2011).

O conceito do TCO pode ser utilizado por empresas de diversos segmentos. Em cada caso, a empresa pode adaptar os processos de acordo com as suas características e necessidades (Souza; Voese, 2013). A partir de modelos de TCO propostos pela literatura, é possível fazer essas adaptações, conforme apresentado a seguir.

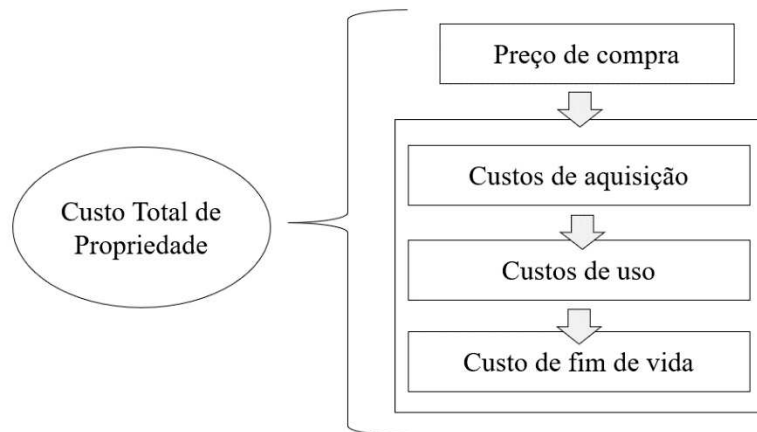
2.4.2 Modelos de TCO e Aplicações

Existem na literatura modelos de TCO. Um dos principais e mais citados é o proposto por Ellram (1993 *apud* Amorim *et al.*, 2016), que aborda os custos do ciclo de vida em três categorias:

- Custos pré-transacionais: ocorrem antes da aquisição de um item (identificação de necessidades, capacitação de comprador e fornecedores, entre outros);
- Custos transacionais: ocorrem durante a aquisição de um item (preços, pedidos, transporte, devolução, etc.);
- Custos pós-transacionais: ocorrem após a compra e posse de um item (problema no pós-venda, custo de manutenção e reparo, reputação da empresa, etc.).

Parkhi (2013) propõe um modelo semelhante (Figura 7) porém com quatro aspectos a serem considerados. Cada um deles é descrito na sequência.

Figura 7 – Custos considerados pelo modelo de TCO de Parkhi (2013)



Fonte: Adaptado de Parkhi (2013).

- Preço de compra: compõe o preço do material (materiais diretos, mão de obra direta, custos indiretos, etc.);
- Preço de custo de aquisição: envolve custos como frete, recebimento, armazenamento, seguro, entre outros;
- Custo de uso: compreende todos custos identificados no ciclo de vida (custo de transformação de um material em produto acabado, manutenção, reparo, etc.);
- Custos de fim de vida: considera os custos após o término da vida útil (reciclagem, revenda, acondicionamento, reaproveitamento, custo de descarte).

Os dois modelos expostos são frequentemente aplicados em estudos focados em compras e também logística. Contudo, na literatura existente não foram encontrados estudos que aplicam o TCO no contexto da gestão de resíduos e economia circular. Amorim *et al.* (2016) buscam relacionar os dois conceitos, mas não chegam a aplicar o método de forma prática.

Apesar disso, se entende que é possível propor uma adaptação do modelo considerando uma determinada realidade. Santos (2011) apresenta alguns casos de aplicação do TCO para avaliação do custo com impressoras e computadores. No primeiro caso, o autor usou o TCO para analisar o custo de impressoras de marcas diferentes, e considerou além do valor do produto os custos com toners de impressão e manutenção. O produto com valor de compra mais baixo tornou-se mais caro em função do custo com os toners e impressão, ressaltando a importância de se considerar custos em todo o ciclo de vida.

Biazus (2015) utilizou o TCO no processo de compras de itens de reposição para uma agroindústria de grande porte de Santa Catarina, com o objetivo de desenvolver uma ferramenta de auxílio para decisões gerenciais de seleção de suprimentos e compras. No estudo, Biazus (2015) definiu como custos a serem analisados os seguintes itens: preço do produto, impostos, custo de frete, durabilidade, rendimento, custo de manutenção, custo de tempo, valor de descarte e um item para inclusão de outros custos. Esses itens foram considerados para cada produto a ser adquirido, aplicado a fornecedores diferentes, permitindo identificar a decisão mais assertada em termos de custo total.

Schazmann (2019) propôs em seu estudo um modelo de TCO para serviços de fretes para um *e-commerce* da região de Chapecó – SC. Nesse caso o modelo de Ellram (1993) mencionado anteriormente foi usado como base, sendo os custos de cada categoria do ciclo de vida (pré-transacionais, transacionais e pós-transacionais) definidos de acordo com a realidade do caso estudado e do objetivo do estudo. Assim, foram utilizados os seguintes custos na avaliação: contato com a empresa, solicitação da entrega, embalagem, coleta, valor do frete, avarias/extravio de mercadorias, bônus/ressarcimento, rastreamento, logística reversa, confirmação de entrega e custo com produto com defeito.

Se observa nos exemplos o que afirma Santos (2011), de que os dados usados no cálculo do TCO dependem das necessidades do caso em questão, sendo que um dado importante em uma determinada situação pode ser descartado em outra. Desse modo, com base nos modelos de TCO disponíveis na literatura, para o presente estudo foi efetuada considerações para definição dos custos envolvidos na gestão e reaproveitamento de resíduos de madeira tratada. A metodologia adotada é apresentada em detalhes na próxima seção.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa. A caracterização da pesquisa, o objeto de estudo e os instrumentos de coleta e análise de dados são os itens descritos nas subseções a seguir.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa proposta possui abordagem qualitativa. Gerhardt e Silveira (2009) indicam que pesquisas qualitativas buscam compreender um determinado fenômeno ou organização de forma aprofundada e se preocupam em aspectos da realidade que não podem ser quantificados, mas que explicam a dinâmica de uma relação social ou de um problema, por exemplo. Minayo (2001, p. 22) complementa ao afirmar que a pesquisa qualitativa “[...] trabalha com o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que corresponde a um espaço mais profundo das relações, dos processos e dos fenômenos que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis”.

Quanto aos objetivos, a pesquisa é classificada como descritiva, pois busca descrever processos e atividades envolvidas no processo de gestão de resíduos de madeira tratada, com o objetivo de mensurar a viabilidade econômica de reaproveitamento de resíduos. Para Gil (2002), pesquisas descritivas procuram descrever as características de uma população ou de um fenômeno, e o estabelecimento de relações entre variáveis. A descrição de situações, fatos, opiniões ou comportamentos em um fenômeno ou população é uma das características da pesquisa descritiva (Silva *et al.*, 2012).

Para esta pesquisa foi utilizada a metodologia do estudo de caso, que tem por objetivo analisar um fenômeno no contexto em que ele ocorre (Yin, 2001). No estudo de caso o pesquisador concentra-se em um objeto de estudo (um determinado grupo de pessoas ou uma empresa, por exemplo), mas não pretende intervir sobre ele, apenas compreendê-lo a partir do ponto de vista dos indivíduos participantes (Fonseca, 2002). O caso estudado foi uma indústria madeireira que atua no segmento de tratamento de madeira em autoclave.

3.2 OBJETO DE ESTUDO

Tendo como foco o reaproveitamento de resíduos de madeira tratada, a pesquisa foi realizada em uma indústria madeireira que tem como principal atividade o tratamento de

madeira de eucalipto e pinus. Além da comercialização de peças de madeira tratada diversas, a empresa oferta o serviço de obras prontas, e tanto no processo de tratamento interno como após as obras, são gerados resíduos.

A escolha da empresa se deu por conveniência, ou seja, foi escolhida considerando o aceite dos gestores para a realização da pesquisa. O diretor administrativo acompanhou todo o processo de desenvolvimento da pesquisa, sendo um dos sujeitos envolvidos na coleta de dados diretamente ao participar da entrevista e do fornecimento de dados de custos relacionados ao processo produtivo da empresa. O nome do gestor e o nome da empresa não foram mencionados por questões éticas e de confidencialidade assumida por parte do pesquisador.

3.3 PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS

A etapa da coleta de dados foi feita *in loco* na sede da indústria madeireira. Inicialmente uma visita técnica acompanhada pelo diretor administrativo foi realizada para observar e compreender o processo de tratamento da madeira, bem como a dinâmica de vendas, realização de obras, geração dos resíduos da madeira, entre outros. A visita é entendida como uma observação participante, em que o pesquisador se envolve no dia a dia dos pesquisados (Abib; Hoppen; Hayashi Junior, 2013), que para esta pesquisa é a indústria madeireira. As percepções observadas foram anotadas pelo pesquisador.

Associada à observação, foi aplicada uma entrevista com o diretor administrativo, seguindo um roteiro de perguntas descrito no Apêndice A, com o objetivo de conhecer a dinâmica do negócio e a problemática dos resíduos de madeira tratada pela perspectiva do gestor. A entrevista se caracteriza como semiestruturada e modalidade semiaberta, em que o pesquisador busca agendar questões para serem esclarecidas pelo entrevistado (Vergara, 2013). A entrevista não foi gravada a pedido do gestor, então foram anotados os principais pontos da conversa que posteriormente foram analisados.

A pesquisa documental também fez parte da coleta de dados, e levou em consideração dados existentes disponibilizados pela empresa em documentos e arquivos internos (Gil, 2002; Vergara, 2013), tais como relatório de custos, tabela de preço dos produtos e planilhas de gastos. Por esse método foram obtidos dados como o volume de madeira tratada, custo para esse tratamento, custos de funcionários e demais custos relevantes para trabalhar a ferramenta do TCO. A partir da análise documental e dos dados coletados pela entrevista, foram selecionados os custos mais representativos do processo de gestão de resíduos da madeira tratada, considerando uma estimativa trimestral.

3.4 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DE DADOS

A partir da coleta de dados, as informações obtidas foram analisadas da seguinte forma: as anotações resultantes da visita técnica e da entrevista foram lidas e organizadas para permitir uma comparação das informações e melhor entendimento da realidade da organização. Sob supervisão do professor orientador, a ferramenta do TCO foi adaptada conforme decisões de pesquisa, ou seja, com base nos dados levantados, em que foram definidos os custos mais relevantes envolvidos no ciclo de vida dos resíduos de madeira tratada.

A partir do modelo TCO elaborado, foi realizada a análise da viabilidade econômica do reuso dos resíduos. Por resíduos entende-se como todas as sobras de madeira tratada geradas pelo processo produtivo, que ainda possuem possibilidades de tratamento e recuperação (Brasil, 2010). Na literatura de análise de custos, os resíduos são entendidos como subprodutos, que se caracterizam como itens gerados pelo processo de produção, muitas vezes decorrentes de desperdícios, que possuem um mercado de venda e que geram receitas para a empresa, mesmo que pequenas (Martins, 2003).

Para análise das possibilidades de reaproveitamentos dos resíduos a partir do modelo TCO, foram considerados quatro cenários a partir de três soluções para o gerenciamento dos resíduos de madeira tratada, detalhados na seção de resultados. Os cenários foram avaliados considerando a classificação e quantificação dos resíduos obtidos pela pesquisa. Para classificação dos resíduos, definiu-se em conjunto com o diretor administrativo da empresa o uso de três classes, que classificam os resíduos de acordo com características de tipo de madeira tratada (pinus ou eucalipto), tamanho e formas de beneficiamento. A quantificação foi efetuada por metro cúbico (m^3) a partir do volume gerado em um período de três meses. Por fim, os resultados foram discutidos sob a perspectiva da economia circular, gerando sugestões para melhoria do processo de gestão dos resíduos da indústria madeireira.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção são apresentados e analisados os resultados obtidos no processo de coleta de dados. Inicialmente se apresenta a qualificação dos resíduos, ou seja, a separação dos mesmos em classes conforme suas características, e a respectiva quantificação. Na sequência se faz a descrição do modelo TCO e são apresentados os cálculos dos cenários definidos para a pesquisa.

4.1 EMPRESA DO ESTUDO DE CASO

A empresa do estudo de caso é uma indústria madeireira que atua no ramo de tratamento químico de madeiras de pinus e eucalipto com CCA em autoclave. Trata-se de uma empresa de pequeno porte com cerca de 15 anos de atuação no mercado, que comercializa variados produtos de madeira. Mourões para cercas, postes para iluminação, barrotes, *decks* e tábuas de paredes para construção de casas são os principais itens produzidos e comercializados.

A madeira utilizada no processo produtivo é obtida de áreas de reflorestamento. Além disso, observou-se algumas boas práticas em relação a sustentabilidade, tais como utilização de energia solar, captação de água chuva em cisterna e reutilização da água. Na gestão de resíduos, também há uma preocupação com a destinação dos mesmos. Segundo o diretor administrativo, atualmente a empresa utiliza parte dos resíduos em algumas obras que realiza, e comercializa esporadicamente uma pequena parcela dos resíduos para terceiros. Porém, nessa venda dos resíduos não é feita a qualificação dos materiais, ou seja, não há uma mensuração correta do valor agregado a esses resíduos. Quando necessário, ocorre a coleta por empresa especializada para destinação em aterro industrial, gerando um custo para a empresa.

4.2 QUALIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS

Conforme conversa com sócio diretor, foi definido que seriam usadas três categorias para qualificação dos resíduos. O critério usado para separação foi o valor agregado do produto que deu origem ao resíduo. Foram criadas as classes A, B e C, descritas a seguir.

- Classe A: inclui resíduos de madeira de pinus tratado beneficiados com maior valor de mercado (*decks*, paredes e tábuas plainadas) (Figura 8);
- Classe B: inclui resíduos de madeira de pinus tratado com menor valor de mercado (barrotes brutos e plainados) (Figura 9);

- Classe C: inclui resíduos de madeira de eucalipto tratado (mourões e postes), cujo valor de mercado é menor do que a madeira de pinus tratada (Figura 10).

Figura 8 – Resíduos da Classe A



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2023).

Figura 9 – Resíduos da Classe B



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2023).

Figura 10 – Resíduos da Classe C



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2023).

4.3 QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS

A quantificação dos resíduos de madeira tratada foi efetuada após um período de três meses. Em função do conhecimento por parte da administração da empresa do montante gerado mensalmente, foi definido em conjunto com o diretor administrativo que a análise seria feita considerando uma estimativa trimestral. A quantificação foi feita no início do mês de outubro de 2023 e obteve-se um total de 7,1 m³ de resíduos, um volume correspondente ao acúmulo de resíduos gerados entre os meses de julho e setembro de 2023. De acordo com o diretor administrativo, a produção de resíduos da indústria madeireira nesse período esteve dentro dos padrões. Na Tabela 1 apresenta-se a quantificação de resíduos por classe definida.

Tabela 1 – Quantificação de resíduos por classe

Volume de resíduos (m³)	Classe A	Classe B	Classe C
7,1	1,3	1,7	4,1
100%	18,31%	23,94%	57,75%

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Observa-se que a maior parte dos resíduos da indústria madeireira é formado pela Classe C, que compreende os resíduos de mourões e postes de eucalipto tratado. Resíduos beneficiados com maior valor agregado (Classe A) são os que apresentam menor volume de geração de resíduos.

4.4 MODELO TCO

Como descrito anteriormente na metodologia, foram considerados quatro cenários a partir de três soluções para o gerenciamento dos resíduos de madeira tratada: destinação em aterro industrial, comercialização dos resíduos para terceiros, e fabricação interna de produtos acabados com os resíduos. O cenário 1 retrata o custo total para disposição final, e o cenário 2 considera os custos para venda dos resíduos para terceiros. No cenário 3 são propostas duas opções de produtos acabados: cachepô (cenário 3A) e limitador de jardim (cenário 3B).

Cada cenário foi avaliado considerando as três classes de resíduos de madeira tratada previamente definidas. Os resíduos da classe A foram avaliados em todos os cenários, enquanto que os resíduos das classes B e C foram analisados apenas nos cenários 1 e 2 em função das suas características, que inviabilizam a produção dos produtos acabados definidos para esta pesquisa.

Na Tabela 2 apresenta-se o Modelo de TCO proposto, baseado na realidade da empresa estudada e na literatura apresentada, e a estrutura utilizada para organização e apresentação dos cálculos. Na sequência, se descreve cada custo considerado para as análises.

Tabela 2 – Modelo de TCO proposto

Custos Avaliados	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3A	Cenário 3B
Transporte interno				
Armazenamento				
Mão de obra				
Custo de venda				
Mão de obra especializada				
Materiais de acabamento				
Outros				
Destinação final				
Receitas				

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

- **Transporte interno:** custo da movimentação dos resíduos dentro do pátio da empresa (da área de produção até a área de armazenamento).
- **Armazenamento:** custo para armazenamento dos subprodutos em barracão existente; esse custo será desconsiderado para os subprodutos da Classe C.
- **Mão de obra:** custo com hora de trabalho de funcionário para as funções de transporte interno, acomodação dos subprodutos no local de armazenamento, preparação e manuseio dos subprodutos quando necessário.
- **Custo de venda:** custos com comissão de vendedores, nota fiscal de venda de produtos, custo de divulgação, entre outros custos administrativos.
- **Mão de obra especializada:** aplicado aos cenários 3A e 3B, envolve o custo com hora de trabalho de funcionários capacitados para a produção de produtos acabados.
- **Materiais de acabamento:** aplicado aos cenários 3A e 3B, compreende custo com materiais usados na produção dos produtos acabados (pregos, parafusos, tinta, pincel, martelo, fita de aço galvanizado, grampos, cola de madeira, entre outras necessidades que surgirem).
- **Destinação final:** aplicado apenas no cenário 1, é o custo com a destinação dos resíduos em aterro industrial.
- **Outros:** demais custos que não foram abordados e que podem apresentar relevância, a exemplo de custo com maquinário.

- **Receitas:** engloba valores obtidos com a venda dos subprodutos do cenário 2 e produtos acabados dos cenários 3A e 3B. Para fins de cálculo, a receita considera a venda de todo o volume produzido.

4.4.1 Análise dos cenários

Todos os dados e custos considerados na análise foram repassados pela empresa aqui estudada, e foram discutidos pelo aluno pesquisador e diretor administrativo, com supervisão do professor orientador. Os cálculos consideram um período temporal de três meses e referem-se ao volume de 7,1 m³ de resíduos gerados nesse período, divididos nas classes estabelecidas. Para facilitar a compreensão e análise da viabilidade econômica das soluções propostas, foram construídas tabelas para cada uma das três classes de resíduos, apresentadas na sequência. Primeiramente será apresentada a análise para a Classe C, seguindo para Classe B e finalmente para Classe A, onde se analisam todos os cenários propostos.

4.4.1.1 TCO para a Classe C

Para a Classe C foram considerados dois cenários de possibilidade para a gestão dos resíduos da madeira tratada: destinação final em aterro industrial (cenário 1) e comercialização dos resíduos para terceiros (cenário 2). Na Tabela 3 são apresentados os custos para essas opções, que levam em consideração o volume de 4,1 m³ de resíduos Classe C gerados.

Tabela 3 – TCO para os resíduos da Classe C

Custos	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3A	Cenário 3B
Transporte interno	-R\$ 125,63	-R\$ 125,63		
Armazenamento	-	-		
Mão de obra	-R\$ 53,56	-R\$ 73,65		
Custo de venda	-	-R\$ 344,40		
Mão de obra especializada	-	-		
Materiais de acabamento	-	-		
Outros	-	-R\$ 30,00		
Destinação final	-R\$ 2.050,00	-		
Receitas	-	R\$ 2.870,00		
Total	-R\$ 2.229,19	R\$ 2.296,33		

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na análise dos resíduos da Classe C, foi considerado para o transporte interno um tempo de uma hora e meia de serviço de trator, com custo de R\$ 83,75/hora máquina. O custo de armazenamento não foi considerado em ambos cenários analisados por se entender, junto à direção da empresa, que não há necessidade de armazenar estes resíduos protegidos do tempo no barracão da empresa. Para a mão de obra foi considerado o custo por hora de trabalho do funcionário, englobando salário e encargos sociais. Obteve-se o custo de R\$ 13,39/hora trabalhada.

O custo de venda foi considerado no Cenário 2, e conforme informações repassadas pela empresa, foi adotado uma taxa média de 12% sobre o valor de venda. Mão de obra especializada e materiais de acabamento são custos que não se aplicam para esta classe de resíduos. Outros custos não foram encontrados no cenário 1, mas para o cenário 2 considerou-se um custo adicional de R\$ 30,00 relacionado à descontos concedidos para os clientes no momento da venda. No cenário 1 também tem-se o custo com a disposição final, de R\$ 500/m³, não aplicável no cenário 2. As receitas, por sua vez, só são observadas no cenário 2, e representam as vendas dos materiais da Classe C, definidos em R\$ 700,00/m³.

A Tabela 3 revela que para os resíduos da Classe C, há uma viabilidade econômica para a comercialização dos resíduos para terceiros, pois as receitas cobrem os custos de produção e geram lucro para a empresa.

4.4.1.2 TCO para a Classe B

Para a Classe B também foram considerados dois cenários de possibilidade de gestão dos resíduos da madeira tratada: destinação final em aterro industrial (cenário 1) e comercialização dos resíduos para terceiros (cenário 2). Na Tabela 4 são apresentados os custos para essas opções, mensurados a partir do volume de 1,7 m³ de resíduos Classe B gerados no período de análise.

Tabela 4 – TCO para os resíduos da Classe B

Coluna1	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3A	Cenário 3B
Transporte interno	-R\$ 51,94	-R\$ 125,62		
Armazenamento	-R\$ 60,00	-R\$ 60,00		
Mão de obra	-R\$ 26,78	-R\$ 49,54		
Custo de venda	-	-R\$ 244,80		
Mão de obra especializada	-	-		
Materiais de acabamento	-	-		
Outros	-	-		
Destinação final	-R\$ 850,00	-		
Receitas	-	R\$ 2.040,00		
Total	-R\$ 988,72	R\$ 1.560,04		

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No caso dos resíduos da Classe B, para o transporte interno foi considerado o custo de R\$ 83,75/hora máquina. O custo de armazenamento foi calculado a partir de um barracão de 20m², avaliado em R\$ 1.600,00, e assim tem-se um custo de R\$ 80,00/m². Considerando que os resíduos da Classe B ocupam um espaço de 6 m² e tendo em vista que o TCO compreende um período de três meses, o custo de armazenamento para este período é de R\$ 60,00, considerando tempo de dois anos de uso do barracão.

Para a mão de obra foi novamente considerado o custo por hora de trabalho do funcionário de R\$ 13,39/hora trabalhada. Custos de venda aplicam-se somente ao cenário 2, em que se adotou uma taxa média de 12% sobre o valor de venda. Mão de obra especializada e custos com materiais de acabamento não se aplicam aos cenários analisados, e outros custos não foram identificados. No cenário 1 foi considerado o custo de destinação final de R\$ 500,00/m³, não aplicado ao cenário 2. As receitas, observadas no cenário 2 representam as vendas dos materiais da Classe B, definidos em R\$ 1.200,00/m³ por se tratar de resíduos oriundos de produtos com maior valor agregado.

A partir da Tabela 4 pode-se observar que para os resíduos da Classe B também há uma viabilidade econômica para a comercialização dos resíduos para terceiros. A disposição em aterro industrial implica em altos custos para a empresa, e embora o lucro obtido com a venda dos resíduos seja relativamente pequeno, se mostra vantajoso perante a opção do descarte.

4.4.1.3 TCO para a Classe A

A análise dos resíduos Classe A, além do cenário 1 (destinação final em aterro) e cenário 2 (comercialização dos resíduos para terceiros), considerou uma terceira opção de reuso: a

fabricação de novos produtos acabados. Para mensurar a viabilidade econômica desse reuso, foram escolhidos dois produtos: cachepô e delimitador de jardim. A escolha se deu em função de a empresa já produzir estes produtos de forma esporádica, em alguns casos sob encomenda, e o diretor administrativo possuir informações sobre custos e tempo de produção dos mesmos.

O cachepô, visualizado na Figura 11, possui dimensões de 50cm X 50 cm e acabamento com pintura. Sua utilidade está na decoração de ambientes e uso para proteção de vasos de jardim. As últimas unidades produzidas pela empresa foram comercializadas pelo valor de R\$ 160,00.

Figura 11 – Cachapô produzido pela empresa



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2023).

O segundo produto é denominado limitador de jardim, utilizado para organização de canteiros de flores, canteiros de grama, hortas e também para delimitar caminhos de circulação. O produto fabricado pela empresa com os subprodutos da madeira é feito por peças em série que possuem 20 cm de altura, formando uma espécie de cordão de 5 metros de comprimento (Figura 12). As últimas unidade do limitador foram vendidas pelo valor de R\$ 100,00.

Figura 12 – Limitador de jardim produzido pela empresa



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2023).

Na Tabela 5 apresenta-se os custos de cada um dos cenários propostos para analisar a viabilidade econômica de reuso dos subprodutos Classe A, considerando o volume de 1,3 m³ desses resíduos.

Tabela 5 – TCO para os resíduos da Classe A

Coluna1	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3A	Cenário 3B
Transporte interno	-R\$ 41,87	-R\$ 41,87	-R\$ 62,81	-R\$ 83,75
Armazenamento	-R\$ 53,33	-R\$ 53,33	-R\$ 53,33	-R\$ 53,33
Mão de obra	-R\$ 22,20	-R\$ 73,65	-R\$ 93,73	-R\$ 267,80
Custo de venda	-	-R\$ 296,40	-R\$ 576,00	-R\$ 564,00
Mão de obra especializada	-	-	-R\$ 1.685,60	-R\$ 84,36
Materiais de acabamento	-	-	-R\$ 455,00	-R\$ 1.151,50
Outros	-	-	-R\$ 62,00	-R\$ 76,00
Destinação final	-R\$ 650,00	-	-R\$ 170,00	-R\$ 93,00
Receitas	-	R\$ 2.470,00	R\$ 5.085,00	R\$ 4.852,00
Total	-R\$ 767,40	R\$ 2.004,75	R\$ 1.926,53	R\$ 2.478,26

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Nos cenários 1 e 2 foi considerado 100% do volume dos subprodutos. No caso dos cenários 3A e 3B, foi considerado que nem todo o volume de resíduos Classe A poderão ser aproveitados para produção dos novos produtos acabados. Para o cenário 3A, em que se analisa a transformação dos resíduos em cachepô, estimou-se que seriam utilizados 62,31% do montante de resíduos para confecção dos mesmos, isto é, 0,81 m³, que representam 30 unidades do produto (0,027 m³/unidade). Considerando as sobras da produção do cachepô, 0,15 m³ foram

comercializados para terceiros no valor de R\$ 1.900/m³, adicionadas em receitas. Os 0,34 m³ restantes foram considerados como resíduos encaminhados para destinação final.

No caso do Cenário 3B, no qual os resíduos são transformados em limitadores de jardim, considerou-se que 79,54% dos resíduos seriam aproveitados para confecção desse produto. Essa estimativa partiu do fato de que cada unidade desse produto necessita de 0,022 m³, então considerou-se 47 unidades, totalizando 1,034 m³. Das sobras da produção do limitador de jardim, 0,08 m³ foram comercializados para terceiros, entrando como receitas, e outros 0,186 m³ foram encaminhados para destinação final.

Para o transporte interno, foi adotado o custo de R\$ 83,75/hora máquina. O custo de armazenamento foi mensurado também a partir de um barracão de 20m², avaliado em R\$ 1.600,00, com custo de R\$ 80,00/m² para armazenamento. Os resíduos da Classe A ocupam um espaço de 4 m² e tendo em vista que o TCO compreende um período de três meses, o custo de armazenamento para este período é de R\$ 53,33, considerando tempo de dois anos de uso do barracão.

O custo com a mão de obra considerou o valor de R\$ 13,39/hora trabalhada. Os custos de venda foram definidos a partir da taxa média de 12% do valor total de venda. No caso dos custos de mão de obra especializada, aplicados apenas aos cenários 3A e 3B, considerou-se o valor de R\$ 21,07/hora trabalhada.

Em relação aos materiais de acabamento, foram considerados para o cenário 3A: pincel para pintura, tinta *stain*, parafusos, grampos e cola. No cenário 3B os custos de materiais incluíram fita de aço galvanizado e parafusos. Em outros, considerou-se custos adicionais com o uso de parafusadeira e lixadeira, usadas na produção de ambos os produtos, além de gastos com energia e outros custos de menor relevância. As receitas foram mensuradas considerando a venda de todo o volume no cenário 2 a R\$ 1.900/m³, de todas as 30 unidades do cenário 3A (R\$ 160,00 cada), e todas as 47 unidades do cenário 3B (R\$ 100,00 cada). Por fim, o custo com a disposição final é adotado apenas no cenário 1 e é estimado com base no custo de R\$ 500,00/m³.

Na Tabela 5 pode-se observar que a produção de novos produtos acabados a partir dos resíduos de madeira tratada, são viáveis economicamente e são capazes de gerar receitas para a empresa, assim como a venda dos resíduos sem o processo de transformação.

4.5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resíduos de madeira tratada representam oportunidades de incremento nas receitas da empresa estudada. Entretanto, no cenário em que os mesmos não são reutilizados e são encaminhados para disposição final, se observa a geração de uma despesa considerável. A partir das projeções trimestrais apresentadas na seção 4.4, foi efetuado o cálculo de despesas e receitas anuais para os cenários analisados, apresentado na Tabela 6. Considerando que o caso analisado corresponde a uma empresa de pequeno porte, os valores anuais são representativos.

Tabela 6 – Despesas e receitas anuais para as classes e cenários analisados

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3A	Cenário 3B
Classe A	-R\$ 3.069,60	R\$ 8.019,00	R\$ 7.706,12	R\$ 9.913,04
Classe B	-R\$ 3.954,88	R\$ 6.240,16	-	-
Classe C	-R\$ 8.916,76	R\$ 9.185,32	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para as três classes de resíduos consideradas na análise, a disposição final em aterro industrial, apesar de ser uma opção considerada ambientalmente correta, geraria altos custos para a empresa. A partir da Tabela 6 é possível observar que em um ano, em um ano, a despesa com a destinação dos resíduos ultrapassaria os R\$ 15.900,00, enquanto que a adoção das soluções dos melhores cenários de cada classe proporcionaria pouco mais de R\$ 25.300,00 em receitas.

Em uma estimativa anual, as soluções de reuso dos resíduos de madeira, associadas à economia com a disposição em aterro industrial, gerariam um saldo de cerca de R\$ 41.200,00 nos cofres da empresa, o que representa um ganho de aproximadamente 259%. Portanto, a adoção de outras opções mais viáveis economicamente reveladas pela pesquisa, contribuem não só para a saúde financeira da empresa, mas também para o enfrentamento dos desafios relacionados aos espaços disponíveis para aterros, já identificados há algumas décadas e mencionados por Romagnano e Brazolin (2022).

Dentre os cenários de reaproveitamento analisados, observa-se que em termos econômicos, o cenário 2, que representa a comercialização dos subprodutos para terceiros, sem que haja uma transformação interna, é o mais indicado para as Classes B e C. No caso dos

subprodutos Classe A, identificou-se uma possibilidade de reaproveitamento lucrativa com a confecção de cachepôs e delimitadores de jardim.

Os cenários de comercialização para terceiros e de produção interna de novos produtos podem ser entendidos também como os cenários mais sustentáveis do ponto de vista ambiental, quando comparados à disposição final em aterros. Essas duas alternativas permitem que os subprodutos de madeira tratada tenham sua vida útil prolongada em um novo ciclo, com novas utilidades. Desse modo, as alternativas mais sustentáveis ambientalmente, são também as mais viáveis economicamente para a empresa, o que reforça o potencial desses cenários de contribuir para a sustentabilidade da organização. No Quadro 5 é apresentado o melhor cenário em termos de viabilidade econômica para cada classe de resíduo de madeira.

Quadro 5 – Melhores cenários para cada classe de resíduos de Madeira Tratada

Classe A	Classe B	Classe C
Cenário 3B – Fabricação interna do produto “limitador de jardim”.	Cenário 2 – Venda dos resíduos/subprodutos para terceiros.	Cenário 2 – Venda dos resíduos/subprodutos para terceiros.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No caso específico dos resíduos Classe A, ambos os produtos analisados apresentam potencial de geração de receitas para a empresa. Considera-se que o cenário 3B seja o melhor, pois além da potencial receita a ser gerada, há um maior percentual de aproveitamento dos resíduos na confecção do limitador de jardim, além de menor custo com mão de obra especializada em comparação à produção do cachepô. No cotidiano da empresa, a mão de obra especializada costuma ter demandas diversas de trabalho, principalmente serviços de campo em obras externas que a empresa realiza. Assim, a opção pela produção dos limitadores também irá contribuir na otimização da mão de obra.

Além disso, o limitador de jardim é um produto ainda relativamente pouco conhecido no mercado. A produção interna do mesmo pela empresa incrementa seu portfólio de produtos e também contribui para a imagem da organização, que pode explorar a questão do reuso dos resíduos como um fator de diferenciação e atração de novos clientes.

Os dados obtidos pela análise do modelo TCO reforçam a afirmativa de Soutes (2007), de que essa é uma ferramenta eficaz para suportar decisões estratégicas. O TCO contribui para a determinação do preço real de um produto (Radziwill; Duplainb, 2010), e a partir do modelo construído para mensuração dos cenários propostos para a empresa, é possível que a gestão obtenha informações relevantes, que auxiliem na precificação, seja dos resíduos Classe B e C comercializados, ou dos produtos acabados feitos a partir da Classe A.

Vale ressaltar que as análises consideram um cenário ideal, onde toda a produção de novos produtos é comercializada, assim como todos os resíduos. Essa situação foi adotada para possibilitar a análise inicial e uma melhor comparação entre os cenários.

Os resultados da pesquisa demonstram ainda que a economia circular pode ser aplicada na gestão de resíduos, como apontam Foster, Roberto e Igari (2016). A utilização dos princípios circulares envolve eficiência ambiental e econômica (Foster; Roberto; Igari, 2016), e por meio da análise do TCO, foi possível verificar alternativas viáveis economicamente, que contribuem para reduzir os impactos ambientais da disposição final de resíduos em aterros, e principalmente da disposição inadequada de resíduos.

As soluções propostas que apresentaram viabilidade econômica estão alinhadas aos princípios da economia circular, indicando que a empresa pode planejar estrategicamente e gradativamente uma possível transição. Dentre os modelos de negócio circular citados por Lacy, Long e Spindler (2020), a empresa se enquadra na recuperação de recursos e desperdício como recurso, onde há aproveitamento de resíduos ou subprodutos. Em termos do *framework* ReSOLVE, entende-se que a empresa se alinha diretamente a ação de “ciclar” ao adotar a produção de novos produtos a partir dos resíduos. Essa ação gera uma circulação dos materiais internamente na empresa e promove o reaproveitamento.

As premissas da economia circular contribuem para os negócios se tornarem mais sustentáveis. Os produtos feitos a partir dos subprodutos do processo produtivo do tratamento da madeira, são uma forma de mitigar os impactos ambientais desses resíduos, e representam uma oportunidade de negócio. A partir da pandemia do Covid-19, muitas pessoas passaram a repensar seus comportamentos de consumo (Pego, 2020), o que gerou crescimento da busca por produtos mais sustentáveis, que causam menos impacto para o planeta (Pergentino, 2023). Dada a viabilidade econômica mostrada na pesquisa, é possível que a empresa aborde essa perspectiva de economia circular e produtos sustentáveis para divulgação e comercialização de tais produtos. Essa abordagem também reforça o potencial da economia circular de possibilitar que as empresas entrem em novos mercados, apontado pela Ellen MacArthur Foundation (2015).

Por fim, o uso da ferramenta do TCO no contexto da economia circular havia sido trabalhado por Amorim *et al.* (2016), e os achados reforçam que seu uso pode contribuir para o gerenciamento de custos de adoção de práticas circulares. Considerando que a economia circular ainda é relativamente pouco difundida no Brasil, e que algumas empresas de base florestal aderem à circularidade apenas de forma superficial (Tedesco, 2021), sua adoção pela

empresa pode se transformar em um diferencial competitivo, trazendo resultados positivos em termos ambientais, econômicos e de visibilidade perante o mercado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de analisar a viabilidade econômica de reutilização de resíduos de madeira tratada em novos produtos, considerando o contexto de uma indústria madeireira. Foi possível observar que diferentes alternativas se mostraram mais ou menos viáveis economicamente, dependendo das características dos resíduos.

Nos casos de resíduos de eucalipto e pinus de menor valor de mercado, os quais denominados de Classe C e B, respectivamente, a comercialização dos resíduos para terceiros se mostra a melhor alternativa. Quando se trata de resíduos de pinus tratado, com maior valor agregado, que chamamos de Classe A, a transformação dos mesmos em novos produtos se mostra viável, podendo incrementar o portfólio da empresa com produtos sustentáveis.

Portanto, as soluções propostas mais sustentáveis do ponto de vista ambiental, além de economicamente viáveis, são melhores financeiramente quando comparadas ao cenário de disposição final em aterro industrial. Concluiu-se ainda que a gestão dos resíduos de madeira tratada pode ser trabalhada sob a perspectiva da economia circular, e as soluções propostas alinham-se com o modelo de negócio circular focado na recuperação de recursos e no uso do desperdício como recurso.

O estudo apresenta importantes contribuições gerenciais para a empresa. Apesar de a empresa já realizar a venda de parte de seus resíduos, não havia até a realização desta pesquisa nenhum tipo de controle sobre as entradas geradas por essa prática. Também não havia quantificação dos custos envolvidos até a geração dos resíduos, por isso, a separação proposta com as três classes de resíduos pode contribuir para melhor organização da empresa, permitindo que a mesma melhore a precificação dos subprodutos e otimize esse processo de vendas.

O modelo TCO proposto, além de proporcionar análise da viabilidade econômica de reutilização e aproveitamento dos subprodutos da madeira tratada, trouxe informações importantes para a gestão da empresa e pode ser aplicado para análises adicionais que os gestores desejarem. Os resultados da pesquisa fornecem informações relevantes para a empresa estudada, auxiliando no processo de precificação, quantificação de custos, e principalmente no processo de tomada de decisão quanto à destinação mais indicada e viável para os subprodutos do seu processo produtivo.

Dentre as limitações do estudo, destacam-se a escolha de dois produtos para análise da viabilidade de transformação interna dos subprodutos da madeira tratada. É possível que outros produtos possam ser criados, cuja viabilidade econômica se apresente vantajosa para a empresa e pode ser estimada em estudos futuros. Também se sugere a realização de pesquisa de mercado

com os novos produtos propostos por esta pesquisa, visando embasar ainda mais a decisão da solução a ser adotada. Ainda, se considera relevante mapear possíveis parceiros para comercialização de resíduos e desenvolvimento de novas soluções para esses subprodutos, utilizando os resíduos como recurso, e contribuindo para o desenvolvimento da economia circular na região.

REFERÊNCIAS

ABIB, G.; HOPPEN, N.; HAYASHI JUNIOR, P. Observação participante em estudos de administração da informação no Brasil. **Rev. Adm. Empres.** Vol. 53, Nº 6, p. 604-616. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10004 Resíduos sólidos – Classificação.** ABNT: Rio de Janeiro. 2004.

AMORIM, P. F. A.; DIAS FILHO, J. M.; MOREIRA, N. B.; ANDRADE, M. R. As percepções dos discentes quanto às interfaces entre economia circular e Total Cost of Ownership: um estudo sob a ótica da gestão estratégica de custos. In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE – ENGEMA, 2016, São Paulo. **Anais eletrônicos [...].** São Paulo, 2016. Disponível em: <https://engemausp.submissao.com.br/18/anais/arquivos/187.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. **Setor madeireiro em 2021, crescimento consolidado.** 2022a. Disponível em: <https://abimci.com.br/setor-madeireiro-em-2021-crescimento-consolidado/>. Acesso em: 05 abr. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. **Abimci lança Estudo Setorial com números do setor industrial madeireiro no Brasil.** 2022b. Disponível em: <https://abimci.com.br/abimci-lanca-estudo-setorial-2022-numeros-setor-industrial-madeireiro/>. Acesso em: 05 abr. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. **Estudo setorial 2022.** Ano base 2021. 2022c.

ATEC. **Cradle to cradle: sustentabilidade aplicada ao design.** 2021. Disponível em: <https://www.atec.com.br/blog/design-original/cradle-to-cradle/>. Acesso em: 25 ago. 2023.

BIAZUS, M. C. **Aplicação do Custo Total de Propriedade-TCO no processo de compra em uma agroindústria do Oeste de Santa Catarina.** 2015. 97 f. Monografia (Graduação em Administração) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó – SC. 2015.

BRASIL. **Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília – DF. DOU. 2010.

CANDATEN, L. **O mercado da madeira tratada.** Setrama Madeireira. 2021. Disponível em: <https://madeireirasetrama.com.br/o-mercado-da-madeira-tratada/>. Acesso em: 07 set. 2023.

CHAVES, L. R. **Madeiras em extinção, mas vendidas.** 2020. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/madeiras-em-extincao-mas-vendidas/>. Acesso em: 05 abr. 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. **Perfil Setorial da Indústria – 16 Madeira.** 2023. Disponível em:

<https://perfilsetorialdaindustria.portaldaindustria.com.br/categorias/16-madeira/>. Acesso em: 05 set. 2023.

COSTA, F. M. et al. **Diagnóstico das usinas de preservação de madeira do estado do Goiás**. Colombo, PR: Embrapa, 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/204350/1/CT-437-1681-final.pdf>. Acesso em: 07 set. 2023.

CUNHA, B. L. **Avaliação qualitativa de impactos ambientais de uma usina de preservação de madeira, Abre Campo – MG**. 2014. 78f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 2014.

DE CASTO, R. J. et al. Eletro-remoção de cobre, cromo e arsênico de resíduos de madeira tratada com arseniato de cobre cromado. **Eng. Sanit. Ambient.** Vol. 26, Nº 2. 2021.

ECOTRAT. **Descarte correto para sobras da madeira tratada**. 2020. Disponível em: <https://www.ecotrat.com.br/noticias/descarte-correto-para-sobras-da-madeira-tratada-67.html#:~:text=Eles%20devem%20ser%20encaminhados%20para,%C3%A9%20estabelecido%20na%20legisla%C3%A7%C3%A3o%20vigente>. Acesso em: 16 abr. 2023.

ECYCLE. **O que é Economia Circular e quais seus princípios?** 2023. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/economia-circular/>. Acesso em: 26 ago. 2023.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Rumo à Economia Circular: O Racional de Negócio para Acelerar a Transição**. 2015. Disponível em: https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Rumo-%C3%A0-economia-circular_SumarioExecutivo.pdf. Acesso em: 02 abr. 2023.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Uma Economia Circular no Brasil: Uma Abordagem Exploratória Inicial**. 2017.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **A história de Ellen**. s.d. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/pt/sobre-nos/a-historia-de-ellen>. Acesso em: 25 ago. 2023.

ELLRAM, L. M. Total cost of ownership: an analysis approach for purchasing. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, Vol. 25, Nº 8, p. 4-23, 1995.

FERRARINI, S. F. **Estabelecimento de metodologia para remoção de cobre, cromo e arsênio de resíduos de madeira tratada com arsenato de cobre cromatado – CCA**. 2012. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS. 2012.

FOSTER, A.; ROBERTO, S. S.; IGARI, A. T. Economia Circular e Resíduos Sólidos: Uma Revisão Sistemática Sobre a Eficiência Ambiental e Econômica. São Paulo, 2016. In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE – ENGEMA. **Anais eletrônicos [...]**. São Paulo, 2016. Disponível em: <https://engemausp.submissao.com.br/18/anais/arquivos/115.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2023.

- FRANCO, M. **Madeira tratada ganha selo de qualidade**. Revista Exame. 2012. Disponível em: <https://exame.com/mundo/madeira-tratada-ganha-selo-de-qualidade/>. Acesso em: 05 abr. 2023.
- FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila. Disponível em: <http://www.ia.ufrj.br/ppgea/conteudo/conteudo-2012-1/1SF/Sandra/apostilaMetodologia.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2023.
- GARCIA, M. B. S. et al. Resíduos Sólidos: Responsabilidade Compartilhada. **Semioses**, Vol. 9, n. 2, p.77-91, 2015.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2023.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.
- GUREVA, M. A.; DEVIATKOVA, Y. S. Formação do conceito de Economia Circular. **Sistemas & Gestão**, vol. 15, n. 2, p. 156-169, 2020.
- HAMMERSCHMIDT, R. Um novo paradigma para a indústria. Indústria em Revista, Sistema Fiep, Ano VII, 18-24, 2020.
- IEBT INNOVATION. **Modelo de negócio: o que é e quais os principais tipos?** 2022. Disponível em: <https://iebtinnovation.com/blog/artigos/modelo-de-negocio-o-que-e-e-quais-os-principais-tipos/#:~:text=A%20forma%20como%20uma%20organiza%C3%A7%C3%A3o,as%20a%C3%A7%C3%B5es%20realizadas%20pela%20empresa>. Acesso em: 26 ago. 2023.
- INDÚSTRIA BASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório Anual 2022**. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>. Acesso em: 07 set. 2023.
- JABBOUR, A. B. L. S., LUIZ, J. V. R., LUIZ, O. R., JABBOUR, C. J. C., NDUBISI, N. O., OLIVEIRA, J. H. C., & JUNIOR, F. H. Circular economy business models and operations management. **Journal of Cleaner Production**, Vol. 235, p. 1525-1539, 2019.
- JULKOVSKI, D. J.; SEHNEM, S. Circular Business Models: An Analytical Perspective. **Sustainable Business International Journal**, vol. 1, n. 94, 2021.
- JUVENAL, T. L.; MATTOS, R. L. G. **O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento**. BNDS: 2002.
- KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, conservation and recycling**, v. 127, p. 221-232, 2017.
- LACY, P.; LONG, J.; SPINDLER, W. **The circular economy handbook**. London, UK: Palgrave Macmillan UK, 2020.

LAZZERINI, C. A. **Modelos de negócios circulares: um estudo de micro e pequenas empresas no varejo de moda brasileiro**. 2020. 207 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade de São Paulo. 2020.

MAGRI, J. L.; CUSATIS, M. W. Unidade de Cogeração Lages: um exemplo do potencial transformador da economia circular. IN: **Investimentos transformadores para um estilo de desenvolvimento sustentável: Estudos de casos de grande impulso (Big Push) para a sustentabilidade no Brasil**. Brasília: CEPAL, 2020. LC/TS. 2020/37. p. 127-136, 2020.

MINAYO, M. C. S. **Pesquisa Social. Teoria, método e criatividade**. Petrópolis: Vozes, 2001.

MORAES, M. A. F. D. **A indústria de madeira preservada no Brasil: um estudo de sua organização industrial**. 1996. 171 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo. 1996.

MORAES, M. A. F. D.; BACHA, C. J. C. A evolução da indústria de preservação de madeira no Brasil e em outros países. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 33, n. 4, p. 71-98, 1995.

MUSLINGER, C.; ROMANELLI, J. S.; DEIMLING, M. F.; BARICHELLO, R. Custo Total de Propriedade (TCO) – Aplicação no Processo de Reforma de Paletes. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE, 4, 2015, São Paulo. **Anais eletrônicos [...]**. São Paulo, 2015. Disponível em: <https://singep.org.br/4singep/resultado/714.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2023.

NOBRE, G. C.; TAVARES, E. The quest for a circular economy final definition: a scientific perspective. **Journal of Cleaner Production**, Vol. 314, 1-13. 2021.

OLIVEIRA, A. C. V.; SILVA, A. S.; MOREIRA, Í. T. A. Economia circular: conceitos e contribuições na gestão de resíduos urbanos. **RDE-Revista de Desenvolvimento Econômico**, v. 3, n. 44, 2020.

ONKHAM, W.; KARWOWSKI, W.; AHRAM, T. Z. Economics of human performance and systems total ownership cost. **Work**, v. 41, n. Supplement 1, p. 2781-2788, 2012.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **A ONU e o meio ambiente**. 2020. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91223-onu-e-o-meio-ambiente>. Acesso em: 25 ago. 2023.

PARKHI, S. S. **Total Cost of Ownership (TCO)**. Edição 89. 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/273892848_Total_Cost_of_Ownership_TCO. Acesso em: 14 abr. 2023.

PEGO, A. O modelo de desenvolvimento da economia circular. Os hábitos de consumo era Covid-19. **Espacios**, Vol. 8, Nº 15, 54-61. 2020.

PERGENTINO, C. **Venda de produtos com impacto positivo ao meio ambiente cresce 40% no Brasil**. Um Só Planeta, Época Negócios. 2023. Disponível em: <https://umsoplaneta.globo.com/financas/negocios/noticia/2023/08/18/venda-de-produtos-com->

impacto-positivo-ao-meio-ambiente-cresce-40percent-no-brasil.ghtml. Acesso em: 12 nov. 2023.

PIAZZA, V. R. **Economia circular aplicada à desmontagem de veículos em fim de vida**. 2019. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS. 2019.

PORTAL DA INDÚSTRIA. **Brasil tem tudo para ser referência na economia circular**. 2021. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/posicionamentos/brasil-tem-tudo-para-ser-referencia-na-economia-circular/>. Acesso em: 27 ago. 2023.

PORTAL DA INDÚSTRIA. **Economia circular: entenda o que é, suas características e benefícios**. 2023. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/economia-circular/#caracteristicas>. Acesso em: 26 ago. 2023.

ROMAGNANO, L. F. T.; BRAZOLIN, S. **Gerenciamento De Resíduos De Madeira Preservada**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT. 2002. Disponível em: <https://www.abpm.com.br/pdf-site/happy-family-of-father-and-mother-with-daughter-cooking-together.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2023.

SANTOS, I. C. V. **Estudos de Caso de Custo Total de Propriedade TCO (Total Cost of Ownership)**. 33 f. 2011. Monografia (Tecnólogo em Processamento de Dados) – Faculdade de Tecnologia de São Paulo, São Paulo – SP. 2011.

SCHAZMANN, H. C. **Custo total de propriedade - TCO: um estudo de caso aplicado a fretes no e-commerce**. 2019. 108 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó – SC. 2019.

SEHNEM, S., CAMPOS, L. M. S., JULKOVSKI, D. J., & CAZELLA, C. F. Circular business models: level of maturity. **Management Decision**, Vol. 57, Nº 4, p. 1043-1066, 2019.

SEHNEM, S.; PEREIRA, S. C. F. Rumo à Economia Circular: sinergia existente entre as definições conceituais correlatas e apropriação para a literatura brasileira. **Revista Eletrônica de Ciência Administrativa**, Vol. 18, Nº 1, 35-62. 2019.

SILVA, J. B. N.; FERREIRA FILHO, V. J. M.; IGNÁCIO, A. A. V. **Um modelo genérico de Custo Total de Propriedade: formulação e exemplos de aplicação**. SPOLM, 2007.

SILVA, L. V.; MACHADO, L.; SACCOL, A.; AZEVEDO, D. **Metodologia de pesquisa em Administração: uma abordagem prática**. Editora Unisinos, 2012. Disponível em: <http://biblioteca.asav.org.br/vinculos/000045/000045b4.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2023.

SILVA, K. C. A.; PEREIRA, A. K. S.; CARMONA, I. N.; DIAS JÚNIOR, A. F. **Escassez de madeira no Brasil**. Revista Campo & Negócios Online. 2023. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/escassez-de-madeira-no-brasil/>. Acesso em: 05 set. 2023.

SOUTES, D. O. Custo Total de Propriedade (TCO): É importante? Para quem? **Ciências Sociais Aplicadas em Revista**, Unioeste, Campus Mal. Cândido Rondon, Vol. 7, Nº 13, p. 83-105, 2007.

SOUZA, L. R. B.; VOESE, S. B. O Estado da Arte sobre o Custo Total de Propriedade no Brasil. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 20, 2013, Uberlândia – MG. **Anais Eletrônicos [...]**, Uberlândia, 2013. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/53/53>. Acesso em: 14 abr. 2023.

ST WOOD. **Madeira tratada em autoclave: entenda o processo e conheça os benefícios**. 2021. Disponível em: <https://stwood.com.br/tratamento-em-autoclave/>. Acesso em: 07 set. 2023.

TEDESCO, M. **Economia Circular no Setor Brasileiro de Árvores Plantadas**. 2021. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Estado de Santa Catarina. 2021.

VIDAL, J. M.; EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; JANKOWSKI, I. P. Preservação De Madeiras No Brasil: Histórico, Cenário Atual E Tendências. **Ciência Florestal**, Santa Maria, Vol. 25, N. 1, p. 257-271, 2015.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 2013.

VIER, M. B.; SCHREIBER, D.; FROEHLICH, C.; JAHNO, V. D. Reflexões sobre a Economia Circular. **Revista do Desenvolvimento Regional – Faccat**, Vol. 18, Nº 4, p. 27-47. 2021.

WEETMAN, C. **Economia circular: conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligente, sustentável e lucrativa**. Traduzido por Afonso Celso da Cunha Serra. 1 ed. São Paulo: Autêntica Business. 2019.

YIN, R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

APÊNDICE A – Roteiro de entrevista

- 1) Apresentação do pesquisador, explicação de que a pesquisa possui caráter acadêmico e será utilizada somente para este fim.
- 2) Proceder com os questionamentos:
 - a) Conte um pouco sobre você e sua trajetória à frente da gestão da empresa.
 - b) Conte um pouco sobre a história da empresa e como surgiu a ideia do negócio.
 - c) Comente a respeito dos produtos que a empresa oferece. Qual o diferencial deles perante os concorrentes?
 - d) Como é a dinâmica do processo produtivo da empresa? De onde vem a matéria-prima, quais etapas de produção, armazenagem, etc.
 - e) Existe alguma prática de sustentabilidade internalizada no seu negócio, a exemplo do uso de energia solar, reuso da água, logística reversa, reciclagem, etc.? Se sim, comente como elas são desenvolvidas no dia a dia da empresa.
 - f) A empresa possui parceiros (fornecedores e clientes, por exemplo) que são importantes para a dinâmica do negócio?
 - g) A empresa possui um controle sobre os custos de produção? Se sim, como é feito esse controle?
 - h) Com relação aos resíduos da madeira tratada, quais são as práticas de gestão adotadas atualmente?
 - i) A empresa possui um controle do volume de resíduos gerados? Se sim, como é feito esse controle?
 - j) A empresa possui ou já pensou em adotar alguma ação para reutilizar os resíduos da madeira tratada?
 - k) Você acredita que seria possível agregar valor e obter retorno financeiro com o desenvolvimento de produtos a partir dos resíduos de madeira tratada?
 - l) Quais são os maiores desafios que a empresa tem enfrentado no desenvolvimento de suas atividades?