

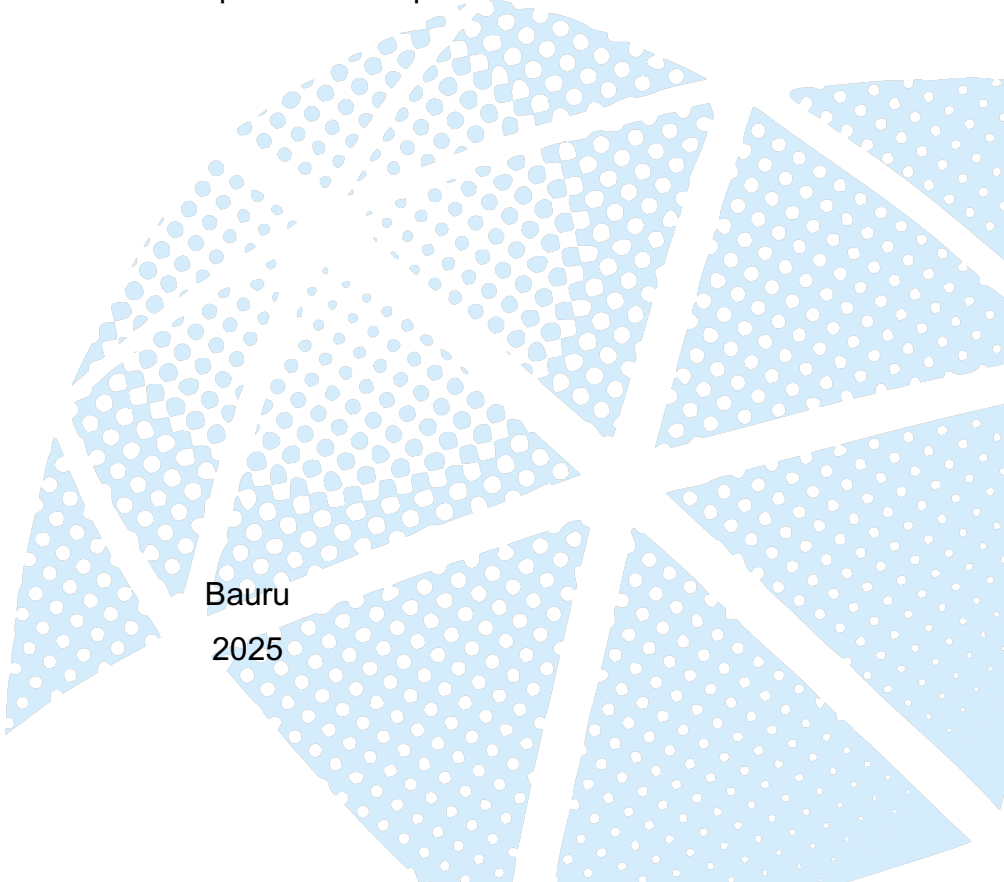
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
FEB Faculdade de Engenharia de Bauru - Campus de Bauru

SUSAN AKI KITAI

**BARREIRAS À TRANSIÇÃO PARA A ECONOMIA CIRCULAR NA INDÚSTRIA
MADEIREIRA:**

Uma Abordagem Teórico-Empírica com Especialistas do Setor

Bauru
2025



SUSAN AKI KITAI

**BARREIRAS À TRANSIÇÃO PARA A ECONOMIA CIRCULAR NA INDÚSTRIA
MADEIREIRA:**

Uma Abordagem Teórico-Empírica com Especialistas do Setor

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), FEB - Faculdade de Engenharia, Bauru, para obtenção do título de Mestra em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Gestão de Sistemas Produtivos

Linha de Pesquisa: Sustentabilidade e Sistemas Produtivos

Orientadora: Prof.^a Dra. Marília da Silva Bertolini

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Jugend

Bauru

2025

K62b Kitai, Susan Aki
Barreiras à transição para a economia circular na indústria
madeireira : uma abordagem teórico-empírica com
especialistas do setor / Susan Aki Kitai. -- Bauru, 2025
107 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(UNESP), Faculdade de Engenharia, Bauru
Orientadora: Marília da Silva Bertolini
Coorientador: Daniel Jugend

1. Economia circular. 2. Indústria madeireira. 3. Barreiras. 4.
Bioeconomia. 5. Fuzzy Delphi. I. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE SUSAN AKI KITAI, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 06 dias do mês de junho do ano de 2025, às 9h, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de SUSAN AKI KITAI, intitulada **BARREIRAS À TRANSIÇÃO PARA A ECONOMIA CIRCULAR NA INDÚSTRIA MADEIREIRA: UMA ABORDAGEM TEÓRICO-EMPÍRICA COM ESPECIALISTAS DO SETOR**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Profa. Dra. MARILIA DA SILVA BERTOLINI (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Instituto de Ciência e Engenharia Campus de Itapeva Unesp, Prof. Dr. ANDRÉ LUIS CHRISTOFORO (Participação Virtual) do(a) Engenharia Civil / Universidade Federal de São Carlos, Prof. Dr. OCTAVIANO ROJAS LUIZ (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia / Unesp - Instituto de Ciências e Engenharia - Câmpus de Itapeva . Após a exposição pela mestranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: APROVADA . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.


Profa. Dra. MARILIA DA SILVA BERTOLINI

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A presente pesquisa tem o potencial de gerar impactos significativos sob diversas dimensões – científica, técnica, social, inovadora, econômica, educacional e cultural – especialmente no contexto da transição para a Economia Circular (EC) na indústria madeireira. Do ponto de vista científico, contribui para suprir lacunas na literatura ao sistematizar e elencar as barreiras à adoção da EC, um campo ainda pouco explorado no setor madeireiro (HOLZER et al., 2023; JARREA et al., 2020). Através de uma metodologia robusta, o estudo oferece evidências empíricas validadas por especialistas com vasta experiência em sustentabilidade industrial. No âmbito técnico e inovador, os resultados obtidos podem orientar a formulação de políticas públicas, estratégias empresariais e programas de capacitação voltados à melhoria do aproveitamento de recursos, à redução de resíduos e à valorização de subprodutos de madeira por meio de práticas de uso em cascata (TASKHIRI et al., 2019; MAIR; STERN, 2017). Tais práticas têm o potencial de promover ganhos de eficiência energética e material, além de incentivar a adoção de tecnologias limpas e processos produtivos sustentáveis. Socialmente, pode fomentar a geração de empregos verdes, sobretudo em áreas rurais e florestais, impulsionando a economia local e promovendo o desenvolvimento regional. Culturalmente, contribui para fortalecer uma mentalidade orientada à sustentabilidade e ao consumo responsável, em consonância com os princípios da bioeconomia circular (AWASTHI et al., 2022). Em termos educacionais, a sistematização dos obstáculos enfrentados pelas empresas oferece uma base para o desenvolvimento de conteúdos programáticos em cursos de engenharia. A nível nacional e internacional, os resultados possuem aplicabilidade ampla, permitindo comparações entre diferentes contextos e favorecendo a internacionalização do debate sobre o papel estratégico da indústria florestal na transição ecológica (LADU et al., 2020). Por fim, o impacto econômico da pesquisa se materializa na possibilidade de orientar investimentos mais assertivos, reduzir desperdícios e aumentar a competitividade das empresas do setor madeireiro. Ao sinalizar as barreiras mais críticas à circularidade, o estudo contribui para alinhar a indústria brasileira às diretrizes da União Europeia e da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, em especial aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 9, 12 e 13.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research holds the potential to generate significant impacts across multiple dimensions—scientific, technical, social, innovative, economic, educational, and cultural—particularly within the context of the transition toward a Circular Economy (CE) in the wood industry. From a scientific perspective, it addresses existing gaps in the literature by systematizing and prioritizing the barriers to CE adoption, a topic still scarcely explored in the wood sector (HOLZER et al., 2023; JARREA et al., 2020). By employing a robust methodological framework, the study provides empirically grounded evidence validated by experts with extensive experience in industrial sustainability. On the technical and innovative fronts, the findings can inform the development of public policies, business strategies, and training programs aimed at enhancing resource efficiency, reducing waste, and promoting the valorization of wood by-products through cascading use practices (TASKHIRI et al., 2019; MAIR; STERN, 2017). These practices are capable of driving improvements in energy and material efficiency while encouraging the adoption of clean technologies and sustainable production processes. Socially, the transition to a CE in the wood sector may stimulate the creation of green jobs, especially in rural and forest-based regions, thereby strengthening local economies and fostering regional development. Culturally, the study contributes to the consolidation of a sustainability-oriented mindset and the promotion of responsible consumption, in alignment with the principles of the circular bioeconomy (AWASTHI et al., 2022). From an educational standpoint, the identification of barriers provides a foundation for the development of academic curricula in engineering and sustainability disciplines. Nationally and internationally, the results have broad applicability, enabling benchmarking across diverse contexts and contributing to the global discourse on the strategic role of the forest industry in ecological transition (LADU et al., 2020). Finally, the economic impact of this research is reflected in its potential to guide more effective investments, minimize resource losses, and enhance the competitiveness of wood-based enterprises. By identifying the most critical barriers to circularity, the study supports the alignment of the Brazilian wood industry with the European Union's directives and the goals of the 2030 Agenda for Sustainable Development, particularly Sustainable Development Goals 9, 12, and 13.

Aos meus pais, Masahiko e
Dirce, e ao meu companheiro,
Lélio, com gratidão e carinho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter sido meu alicerce e fonte inesgotável de força e esperança em toda esta caminhada.

Aos meus pais, Masahiko e Dirce, pelo amor incondicional, exemplos de perseverança e pelo apoio fundamental em todas as etapas da minha vida.

Ao meu companheiro, Lélío, por sua paciência, incentivo e por acreditar em mim nos momentos em que o desespero parecia superar a razão. Sua presença foi essencial para que eu não desistisse.

Às minhas irmãs, Sally e Kelly, pela amizade.

À minha orientadora, pela orientação e pelo incentivo constante, especialmente nos momentos em que o percurso se mostrou mais árduo e desafiador. Sua confiança e dedicação foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Ao meu coorientador, Daniel, que contribuiu com a estruturação do estudo.

Ao Hugo, pelas valiosas sugestões metodológicas, especialmente na escolha do método de análise, e pelo suporte técnico na realização dos cálculos, que contribuíram para a qualidade dos resultados alcançados.

Por fim, à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo financiamento desta pesquisa, sem o qual a concretização deste projeto não teria sido possível.

Aos participantes deste estudo, e a todos que, de alguma forma, fizeram parte desta trajetória, o meu sincero agradecimento.

RESUMO

A transição da indústria madeireira para a economia circular (EC) é um imperativo estratégico diante da crescente pressão por sustentabilidade e eficiência no uso de recursos naturais. Contudo, essa transformação enfrenta barreiras significativas, que comprometem sua efetividade e difusão. O presente estudo teve como objetivo identificar e priorizar os principais entraves à implementação da EC na indústria madeireira, e validação com especialistas do setor. Inicialmente, por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), fundamentada no protocolo PRISMA. Inicialmente, realizou-se uma análise bibliométrica utilizando o software *VOSviewer*, a partir da qual foram mapeadas coocorrências de palavras-chave e agrupamentos temáticos (clusters), revelando os principais focos de pesquisa na área. Em seguida, com base nas barreiras identificadas, foi elaborado um questionário estruturado com escala Likert de 5 pontos, aplicado a 25 profissionais com mais de dez anos de experiência em cargos estratégicos na indústria madeireira, nos seguimentos de molduras, construção civil, papel e celulose, consultoria de indústria, lápis e material escolar, painéis, embalagens e logística e instituição de ensino e pesquisa. Os dados obtidos foram tratados por meio do método *Fuzzy Delphi*, permitindo refinar e hierarquizar as barreiras com base no grau de consenso entre os especialistas. Os resultados apontaram três barreiras críticas: (i) carência de mão de obra especializada com domínio técnico em práticas circulares, (ii) incertezas quanto ao retorno financeiro de curto prazo em investimentos em modelos de EC, e (iii) ausência de conhecimento e engajamento dos clientes finais, cuja motivação pessoal ainda é limitada. A validação dos resultados foi realizada por meio de workshop com especialistas de alto nível decisório, os quais reforçaram as barreiras identificadas, ao mesmo tempo em que destacaram a relevância do nível de maturidade tecnológica, da escala de produção e da visão de longo prazo como fatores críticos para viabilizar a circularidade. Conclui-se que, para a efetiva transição da indústria madeireira à economia circular, são necessários investimentos em inovação, políticas públicas de incentivo e estratégias de comunicação voltadas à sensibilização do consumidor, alinhadas às diretrizes de bioeconomia e uso em cascata da madeira.

Palavras-chave: economia circular; indústria madeireira; barreiras; bioeconomia; *fuzzy delphi*.

ABSTRACT

The transition of the wood industry to a circular economy (CE) is a strategic imperative in the face of increasing pressure for sustainability and efficiency in the use of natural resources. However, this transformation faces significant barriers that compromise its effectiveness and dissemination. This study aimed to identify and prioritize the main obstacles to CE implementation in the wood industry, including validation by sector experts. Initially, a Systematic Literature Review (SLR) was conducted, based on the PRISMA protocol. A bibliometric analysis using the VOSviewer software was then performed, through which keyword co-occurrences and thematic clusters were mapped, revealing the main research foci in the field. Based on the identified barriers, a structured questionnaire using a 5-point Likert scale was developed and applied to 25 professionals with over ten years of experience in strategic positions in the wood industry in the mouldings, construction, pulp and paper, industry consultancy, pencils and school supplies, panels, packaging and logistics and education and research sectors. The collected data were analyzed using the Fuzzy Delphi method, allowing for the refinement and ranking of the barriers based on the degree of consensus among experts. The results highlighted three critical barriers: (i) shortage of specialized labor with technical expertise in circular practices, (ii) uncertainties regarding short-term financial returns on CE investments, and (iii) lack of awareness and engagement from end customers, whose individual motivation remains limited. The findings were validated through a workshop with high-level decision-makers, who confirmed the identified barriers and emphasized the relevance of technological maturity, production scale, and long-term vision as critical factors for enabling circularity. It is concluded that, for an effective transition of the wood industry to the circular economy, investments in innovation, public incentive policies, and communication strategies aimed at consumer awareness are required, aligned with the principles of bioeconomy and cascading use of wood.

Keywords: circular economy; wood industry; barriers; bioeconomy; fuzzy delphi.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo do Processo de Pesquisa	25
Figura 2 – Tipos de painéis	30
Figura 3 – Tipos de Mass timber	32
Figura 4 – Estrutura em CLT no Brasil	33
Figura 5 – Equipamento utilizado na indústria de papel e celulose	36
Figura 6 – Exemplos de molduras	38
Figura 7 – Representação esquemática do Diagrama da Borboleta da Fundação Ellen MacArthur	40
Figura 8 – Mapeamento da amostra utilizando o protocolo PRISMA	46
Figura 9 – Quantidade de documentos publicados por ano	46
Figura 10 – Quantidade de publicações por país/território	47
Figura 11 – Rede de coocorrência de palavras-chave	62

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1– Caracterização metodológica da pesquisa com base nas tipologias da literatura	22
Quadro 2– Fluxograma do Processo de Elaboração do <i>Survey</i>	24
Quadro 3 – Resultado da RSL	49
Quadro 4 – Barreiras para EC na indústria madeireira encontrados na literatura	55
Tabela 1 – Agrupamento de palavras-chave por cluster temático	63
Tabela 2 – Barreiras a transição para EC na indústria madeireira	65
Tabela 3 – Questionário das Barreiras da Economia Circular	68
Tabela 4 – Escala Likert de 5 pontos em termos linguísticos para números <i>fuzzy</i> triangulares	73
Tabela 5 – Segmento de atuação dos especialistas	80
Tabela 6 – Nível Estratégico de Atuação do Especialista	81
Tabela 7 – Análise das barreiras a transição a EC na indústria madeireira	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLT	<i>Cross Laminated Timber</i>
DLT	<i>Dowel Laminated Timber</i>
EC	Economia Circular
FSC	<i>Forest Stewardship Council</i>
GLULAM	<i>Glued Laminated Timber</i>
LVL	<i>Laminated Veneer Lumber</i>
LSL	<i>Laminated Strand Lumber</i>
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
MDP	<i>Medium Density Particleboard</i>
MPP	<i>Mass Ply Panel</i>
NLT	<i>Nail Laminated Timber</i>
OSB	<i>Oriented Strand Board</i>
PEFC	<i>Programme for the Endorsement of Forest Certification</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses</i>
PSL	<i>Parallel Strand Lumber</i>
RSL	Revisão Sistemática da Literatura

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	15
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E LACUNA DE PESQUISA	15
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Objetivos específicos	17
1.3 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	17
1.4 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA E MÉTODO CIENTÍFICO	18
1.4.1 Abordagem da Pesquisa	18
1.4.2 Propósito da Pesquisa	19
1.4.3 Método de Procedimento	21
1.4.4 Etapas e Estruturação da Pesquisa <i>Survey</i>	22
1.5 PROCESSO DE PESQUISA E ESTRUTURA DO TRABALHO	25
CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO EXPLORATÓRIO	29
2.1 INDÚSTRIA MADEIREIRA	29
2.1.1 Segmento de Painéis	29
2.1.2 Segmento da Construção Civil com Madeira Engenheirada	31
2.1.3 Segmento de Paletes e embalagens	34
2.1.4 Segmento da Papel e Celulose	35
2.2 ECONOMIA CIRCULAR	39
CAPÍTULO 3 – REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	44
3.1 METODOLOGIA DA RSL	44
3.1.1 Protocolo PRISMA e Processo de Seleção	45
3.2 RESULTADOS DA RSL	47
3.2.1 Tabela Resumo da RSL	49
3.2.2 Quadro de Barreiras da RSL	54
3.3 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	58

CAPÍTULO 4 – ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	60
4.1 METODOLOGIA DA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	61
4.2 RESULTADOS DA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	61
4.2.1 Rede de Coocorrência de Palavras-chave	62
4.2.2 Agrupamentos de Palavras-chave	63
4.3 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	64
CAPÍTULO 5 – APLICAÇÃO DO <i>SURVEY FUZZY DELPHI</i>	65
5.1 ELEMENTOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO QUESTIONÁRIO <i>SURVEY</i>	65
5.1.1 Apresentação do questionário <i>survey</i>	66
QUESTIONÁRIO DIRECIONADO A ESPECIALISTAS	66
5.2 METODOLOGIA <i>FUZZY DELPHI</i>	70
5.2.1 Justificativa pela escolha do método	70
5.2.2 Método <i>Fuzzy Delphi</i>	71
5.2.3 Aplicação do questionário e caracterização do painel de especialistas	78
5.3 RESULTADOS DO <i>FUZZY DELPHI</i>	81
5.3.1 Resultados obtidos pelo <i>Fuzzy Delphi</i>	82
5.3.2 Conclusão dos resultados obtidos pelo <i>Fuzzy Delphi</i>	84
5.4 RESULTADO DA QUESTÃO ABERTA	85
CAPÍTULO 6 – WORKSHOP COM ESPECIALISTAS	87
6.1 WORKSHOP COM ESPECIALISTAS	87
6.2 CONTRIBUIÇÕES PRÁTICAS DOS ESPECIALISTAS	88
6.2.1 Especialista da Indústria de Madeira Engenheirada para Construção Civil	88
6.2.2 Especialista da Indústria de Papel e Celulose	90
6.2.3 Discussão do capítulo	93
6.3 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	94
CAPÍTULO 7 – CONCLUSÃO	95
7.1 CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA	95

7.2 PESQUISAS FUTURAS	96
REFERÊNCIAS	98
APÊNDICE A – MATERIAL E EVIDÊNCIAS DO WORKSHOP	106

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E LACUNA DE PESQUISA

A indústria madeireira no Brasil desempenha um papel estratégico na economia nacional, abrangendo uma ampla gama de produtos, como papel e celulose, madeira serrada, painéis, molduras, pisos, construção civil, biomassa para energia, entre outros. A capilaridade de aplicações e a diversidade de mercados atendidos evidenciam a importância do setor tanto no mercado interno quanto nas exportações (ABIMCI, 2019). Estima-se que existam 53.107 empresas madeireiras no país, concentradas predominantemente nas regiões Sudeste (37%), Sul (34%) e Nordeste (12%). Destacam-se as empresas de médio e grande porte do segmento de madeira sólida, caracterizadas pela integração vertical da cadeia produtiva, elevada modernização fabril e foco na inovação de processos, resultando em maior produtividade e competitividade.

Em 2018, o valor bruto da produção da indústria de madeira sólida foi de R\$ 18,5 bilhões, representando 0,27% do PIB brasileiro, com geração de 336 mil empregos e uma balança comercial superavitária de US\$ 2,55 bilhões, equivalente a 4,35% do total nacional (ABIMCI, 2019). Outro segmento representativo da indústria madeireira é o de papel e celulose, o qual representou, em 2023, cerca de 1,3% do PIB com geração de receita bruta de R\$ 260 bilhões, caracterizando-se como o sexto segmento nacional que mais exporta produtos e matérias-primas, com saldo comercial de US\$ 9,2 bilhões (KLABIN, 2024).

Apesar do cenário positivo, a indústria madeireira é também responsável pela geração expressiva de resíduos. Dados da Food and Agriculture Organization – FAO (2022) indicam que, em 2019, o volume de rejeitos de madeira no Brasil atingiu 19,1 milhões de metros cúbicos, contribuindo significativamente para o montante global de 232,9 milhões de metros cúbicos. Esses números evidenciam a necessidade urgente de aprimorar o reaproveitamento de resíduos e de promover a redução sistemática da geração de desperdícios ao longo dos processos de beneficiamento.

Paralelamente, o setor enfrenta desafios estruturais que impactam sua competitividade, tais como infraestrutura logística deficiente, elevada carga tributária, baixos índices de automação e inovação tecnológica, além da limitada qualificação da força de trabalho. Nesse contexto, a adoção de práticas de economia circular (EC)

surge como uma oportunidade estratégica para enfrentar esses desafios, ao promover a recuperação de valor em processos e produtos por meio de atividades como manutenção, reforma, remanufatura, reutilização e reciclagem (ECORES et al., 2018).

A economia circular representa uma ruptura paradigmática frente ao modelo linear de produção e consumo, propondo a regeneração contínua de materiais e energia em ciclos produtivos sucessivos. Essa abordagem visa não apenas a redução de impactos ambientais, mas também o fortalecimento da competitividade industrial e a criação de novas oportunidades econômicas (AWASTHI et al., 2022; GENEROWICZ; KOWALSKI, 2020; SARAVANAN et al., 2023). No âmbito industrial contemporâneo, práticas circulares são cada vez mais reconhecidas como essenciais para a inovação, a responsabilidade socioambiental e a sustentabilidade de longo prazo.

Embora práticas como a reciclagem e o reaproveitamento de resíduos sejam recorrentes na indústria madeireira, a aplicação plena dos princípios da economia circular ainda se encontra em estágio embrionário. Há vasto espaço para inovações no design de produtos, na gestão sustentável de recursos e na estruturação de novos modelos de negócios alinhados à circularidade (KEDIR; HALL, 2021; YANG; ZHU, 2021; SUSANTY et al., 2020). A incorporação de tecnologias emergentes e a crescente pressão regulatória em prol de práticas ambientalmente responsáveis fortalecem a tendência de evolução do setor rumo a processos produtivos mais circulares.

Diante desse cenário, o presente trabalho teve como objetivo principal investigar as barreiras que dificultam a adoção de práticas de economia circular na indústria madeireira. Pretende-se identificar, analisar e priorizar os principais obstáculos enfrentados pelo setor, considerando as características próprias da matéria-prima renovável utilizada. No propósito do estudo incluem: (i) mapear os entraves que limitam a implementação da EC na indústria madeireira; (ii) aplicar um questionário *survey*, aliado a metodologia *Fuzzy Delphi* para priorizar as barreiras; (iii) apresentar estratégias em prática por especialistas a entraves mapeados; e (iv) contribuir para a construção de um modelo de transição sustentável alinhado aos princípios da economia circular. Com isso, espera-se oferecer subsídios científicos e práticos para fomentar a competitividade sustentável da indústria madeireira brasileira.

1.2 OBJETIVOS

Esta pesquisa visou identificar e analisar as barreiras que dificultam a transição para a Economia Circular (EC) na indústria madeireira, explorando as inter-relações entre fatores tecnológicos, organizacionais e regulatórios. O estudo buscou contribuir de forma inovadora para a compreensão dos desafios estruturais que limitam a adoção de práticas circulares, oferecendo uma perspectiva abrangente que avança além das abordagens convencionais, oferecendo *insights* aprofundados e incentivos para o desenvolvimento de estratégias no setor. Os resultados foram submetidos à validação por meio de workshop com especialistas, a fim de conferir aplicabilidade prática às conclusões do estudo.

1.2.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos delineados a seguir orientaram a investigação e estruturação deste estudo:

- a) Identificar as barreiras existentes para a adoção da EC na indústria madeireira a partir de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL);
- b) Analisar o impacto dessas barreiras por meio de metodologias quantitativas e qualitativas, considerando diferentes empresas do setor madeireiro;
- c) Identificar as barreiras relevantes utilizando o método *Fuzzy Delphi*, com a participação de especialistas da indústria madeireira que atuam em níveis estratégicos;
- d) Validar os resultados obtidos junto a especialistas do setor, garantindo a aplicabilidade e a relevância das conclusões para a indústria madeireira.

1.3 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

A transição para a EC tem ganhado destaque como estratégia essencial para o desenvolvimento sustentável, especialmente em setores com alta dependência de recursos naturais, como o madeireiro. No entanto, observa-se uma escassez de

estudos que articulem, de forma integrada, as barreiras enfrentadas por esse setor na adoção de modelos circulares, sobretudo em contextos produtivos da América Latina.

Diante dessa lacuna, esta pesquisa se justifica pela necessidade de consolidar o conhecimento existente na literatura, integrar a percepção de especialistas do setor industrial e oferecer uma análise sistemática que contribua para o avanço teórico e prático da EC. Ao adotar uma abordagem teórico-empírica, combinando Revisão Sistemática da Literatura, com o método que busca a opinião de especialistas através do uso de *survey* e aplicação do *Fuzzy Delphi* e validação por meio de *workshops*, o estudo visa gerar material relevante que corroboram para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes de transição circular na indústria madeireira.

1.4 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA E MÉTODO CIENTÍFICO

Esta seção apresenta a abordagem metodológica adotada, contemplando a natureza da pesquisa, os procedimentos de coleta e análise dos dados. Justificam-se as escolhas metodológicas com base na aderência aos objetivos propostos, garantindo a transparência, a validade e a consistência das etapas percorridas ao longo da pesquisa.

1.4.1 Abordagem da Pesquisa

De acordo com Robson (2002), a delimitação da abordagem metodológica de uma pesquisa pode se enquadrar nas categorias qualitativa ou quantitativa. A investigação de natureza quantitativa fundamenta-se na mensuração e análise de dados numéricos, permitindo a aplicação de técnicas estatísticas para interpretação dos resultados. Por sua vez, a abordagem qualitativa caracteriza-se por uma perspectiva exploratória, voltada à compreensão de fenômenos por meio da coleta e análise de dados não numéricos, tais como descrições verbais, percepções, comportamentos e interpretações subjetivas dos participantes.

A presente investigação teve como escopo principal identificar as barreiras críticas que dificultam a transição para a Economia Circular no contexto da indústria madeireira. Conforme delineado nos objetivos desta pesquisa, adotou-se uma

abordagem metodológica mista, de natureza quali-quantitativa, fundamentada na aplicação de um questionário estruturado com base na escala de Likert de cinco pontos, validado por especialistas do setor. Para a análise e priorização das barreiras, utilizou-se o método *Fuzzy Delphi*, conforme detalhado na Seção 5.2. Esta abordagem permitiu não apenas capturar percepções qualitativas relevantes, mas também assegurar robustez na agregação das opiniões dos respondentes, considerando o grau de incerteza inerente ao julgamento humano (BRYMAN, 1989; BRYMAN, 2006; JUPP, 2006).

1.4.2 Propósito da Pesquisa

De acordo com a tipologia apresentada por Gil (2002), as finalidades de uma pesquisa científica podem ser classificadas em três categorias: exploratória, descritiva e explicativa. Neste contexto, a presente dissertação de mestrado apresenta natureza descritiva e exploratória, considerando os objetivos propostos e a abordagem adotada para compreender as barreiras à transição da indústria madeireira rumo à Economia Circular.

O caráter descritivo da investigação se justifica pela sistematização do conhecimento disponível na literatura científica sobre o tema, buscando identificar, categorizar e apresentar de forma estruturada os principais obstáculos enfrentados pelo setor madeireiro na adoção de práticas circulares. Para tanto, foram analisados estudos prévios que abordam a implementação da Economia Circular em setores intensivos em recursos naturais, como é a indústria da madeira, permitindo a construção de um modelo conceitual robusto, que fundamenta e direciona a investigação empírica.

Já a dimensão exploratória está presente na etapa de campo da pesquisa, voltada à análise das percepções de especialistas atuantes no setor madeireiro, com significativa experiência em sustentabilidade e processos decisórios estratégicos. Nesta fase, buscou-se aprofundar o entendimento sobre a ocorrência prática das barreiras identificadas na literatura, bem como sobre sua relevância relativa no contexto organizacional. A adoção de um enfoque exploratório mostra-se pertinente diante da escassez de estudos empíricos dedicados especificamente à identificação e priorização das barreiras para a transição à Economia Circular na indústria

madeira, lacuna esta que se evidencia mesmo diante do crescente interesse pelo tema. Como argumentam Dragomir et al. (2023), o delineamento exploratório é adequado quando se investiga fenômenos ainda pouco compreendidos, o que se aplica ao presente estudo, que encontra suporte empírico limitado, à exceção de alguns trabalhos mais amplos sobre práticas circulares em setores relacionados (HOLZER et al., 2023).

Segundo a classificação proposta por Cervo e Bervian (1996), as pesquisas científicas podem ser agrupadas em três categorias fundamentais: bibliográfica, descritiva e experimental. A pesquisa bibliográfica tem por finalidade examinar um problema ou fenômeno com base em referências teóricas previamente consolidadas na literatura científica, permitindo a identificação, análise crítica e sistematização das contribuições culturais e acadêmicas acumuladas sobre determinado objeto de estudo. Tal abordagem pode servir como base tanto para investigações de cunho descritivo quanto experimental.

A pesquisa descritiva, por sua vez, caracteriza-se pela observação, registro, análise e correlação de variáveis sem que haja qualquer tipo de intervenção direta sobre elas. Essa modalidade contempla desde estudos exploratórios — que visam proporcionar maior familiaridade com um fenômeno pouco conhecido — até estudos descritivos propriamente ditos, os quais se dedicam à identificação de propriedades, relações e padrões. Além disso, engloba pesquisas de opinião, utilizadas para captar percepções, preferências e julgamentos de valor dos participantes, especialmente úteis em processos decisórios.

Por fim, a pesquisa experimental distingue-se por envolver a manipulação de variáveis com o objetivo de identificar relações de causa e efeito entre fenômenos.

Com base nessa taxonomia, compreende-se que a presente dissertação enquadra-se na categoria de pesquisa descritiva, com caráter exploratório, corroborando também a classificação apresentada por Gil (2009). Tal delineamento justifica-se pela necessidade de mapear e compreender, de forma sistemática, as barreiras que dificultam a transição da indústria madeira para um modelo de Economia Circular, tema ainda carente de aprofundamento empírico no cenário nacional e internacional.

1.4.3 Método de Procedimento

A literatura especializada apresenta uma diversidade de métodos de procedimentos aplicáveis à pesquisa científica, cada qual com enfoques e características distintas, sendo sua escolha condicionada à natureza do problema investigado e aos objetivos do estudo. No âmbito da engenharia de produção, Miguel (2007) identifica como principais abordagens metodológicas: (a) desenvolvimento teórico-conceitual, (b) estudo de caso, (c) modelagem e simulação, (d) pesquisa-ação, (e) pesquisa bibliográfica ou revisão de literatura, (f) pesquisa experimental e (g) survey.

A pesquisa bibliográfica, segundo Cervo e Bervian (1996) e Miguel (2007), consiste na análise sistemática de materiais já publicados, possibilitando ao pesquisador compreender, contextualizar e explicar um fenômeno a partir de aportes teóricos previamente consolidados. Além de permitir o mapeamento do estado da arte sobre o tema em estudo, essa abordagem contribui para a identificação de lacunas teóricas, projeção de tendências e formulação de hipóteses para investigações futuras. Sua abrangência permite contemplar um espectro mais amplo de manifestações do fenômeno pesquisado, em comparação com abordagens baseadas exclusivamente em dados primários.

A metodologia *survey*, por sua vez, tem sido amplamente utilizada em pesquisas aplicadas à engenharia de produção e à gestão de operações, sendo especialmente eficaz para a coleta de dados estruturados junto a grupos de indivíduos ou organizações. Conforme Miguel e Ho (2012), esse método visa ampliar o conhecimento sobre determinado domínio de interesse, por meio da obtenção de informações sobre percepções, atitudes ou comportamentos de um público-alvo, em geral por meio de questionários.

Neste estudo, foram empregados dois procedimentos metodológicos complementares: a revisão bibliográfica, a pesquisa do tipo *survey* e a aplicação do método *Fuzzy Delphi*. A revisão bibliográfica fundamentou-se na identificação de barreiras à implementação da Economia Circular na indústria madeireira, permitindo construir uma base teórica sólida e atualizada, que sustenta o referencial teórico apresentado no Capítulo 2. Essa etapa foi essencial para mapear a lacuna de

pesquisa, definir os objetivos do estudo e elaborar o modelo conceitual que orienta a etapa empírica.

A fase aplicada da pesquisa consistiu na realização de uma *survey* com 25 especialistas atuantes no setor madeireiro, todos com experiência consolidada por mais de dez anos em sustentabilidade e atuação em funções estratégicas de tomada de decisão. Para a coleta de dados, foi desenvolvido um questionário estruturado, aplicado via plataforma *Google Forms*, ferramenta amplamente reconhecida por sua funcionalidade na condução de levantamentos tipo *survey*. Os critérios de construção e validação do questionário, bem como o processo de calibração e piloto com especialistas, são detalhados na Seção 1.4.4. A análise dos dados obtidos foi conduzida por meio da metodologia *Fuzzy Delphi*, cuja descrição encontra-se na Seção 5.2 deste trabalho, permitindo elencar as barreiras identificadas com base no consenso dos especialistas e na modelagem da incerteza inerente às avaliações subjetivas. O Quadro 1 apresenta as escolhas metodológicas deste trabalho.

Quadro 1– Caracterização metodológica com base nas tipologias da literatura

<i>Categoria</i>	<i>Possibilidades segundo a literatura</i>	<i>Escolhas metodológicas do trabalho</i>
Abordagem de Pesquisa	Qualitativa, Quantitativa	Mista: Qualitativa e Quantitativa
Propósito da Pesquisa	Exploratória, Descritiva, Explicativa, Preditiva, Ação, Avaliação	Exploratória e Descritiva
Métodos de Procedimento	Teórico-conceitual, Estudo de caso, Modelagem, Pesquisa-ação, Bibliográfica, Experimental, Survey	Bibliográfica e Survey
Técnicas de Coleta de Dados	Questionário, Entrevista (estruturada, semiestruturada, desestruturada), Observação direta, Análise documental	Questionário estruturado via Google Forms e Entrevista semiestruturada

Fonte: Adaptado de Miguel (2007); Cervo e Bervian (1996). Elaboração da autora.

1.4.4 Etapas e Estruturação da Pesquisa *Survey*

O delineamento estruturado de uma pesquisa do tipo *survey* representa uma etapa crítica para assegurar a validade e a confiabilidade dos resultados obtidos. As pesquisas podem ser classificadas em observacionais ou experimentais, conforme tipologia proposta por Miguel e Ho (2012). No primeiro caso, não há interferência direta do pesquisador sobre os participantes, enquanto no segundo, há manipulação deliberada de variáveis pelo pesquisador, o que influencia os resultados.

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza observacional, fundamentando-se em um levantamento amostral conduzido por meio de uma amostragem não probabilística, abordagem amplamente utilizada em pesquisas aplicadas no campo da engenharia de produção e gestão industrial, sobretudo quando se busca acessar o conhecimento tácito de especialistas atuantes em contextos específicos e estratégicos (MIGUEL; HO, 2012). Tal delineamento metodológico se justifica pela possibilidade de acessar informações especializadas em um domínio ainda emergente, como é o caso da transição para a Economia Circular na indústria madeireira, cujos atores com expertise acumulada e visão sistêmica são relativamente escassos. Apesar das limitações quanto à inferência estatística, esse tipo de amostragem permite maior agilidade e viabilidade na coleta de dados, especialmente quando se trata de um público-alvo composto por profissionais em cargos estratégicos, cuja participação em estudos empíricos é geralmente restrita (MIGUEL; HO, 2012).

Na sequência, conforme sugerido por Miguel e Ho (2012), foram definidos os constructos teóricos — ou seja, os conceitos abstratos a serem operacionalizados em variáveis mensuráveis. A construção dos constructos foi orientada por uma revisão sistemática da literatura, conforme detalhado no capítulo 3 desta dissertação. A partir dessa revisão, foram extraídas as barreiras críticas à transição da indústria madeireira para a Economia Circular, resultando na formulação dos itens do questionário.

O instrumento de coleta adotado foi um questionário estruturado e não disfarçado, conforme as definições clássicas de Boyd e Westfall (1964) e Mattar (1996). Isso significa que os respondentes tinham conhecimento explícito sobre o objetivo da pesquisa, e que predominavam as questões fechadas — embora tenham sido incluídas perguntas abertas, a fim de captar percepções mais abrangentes.

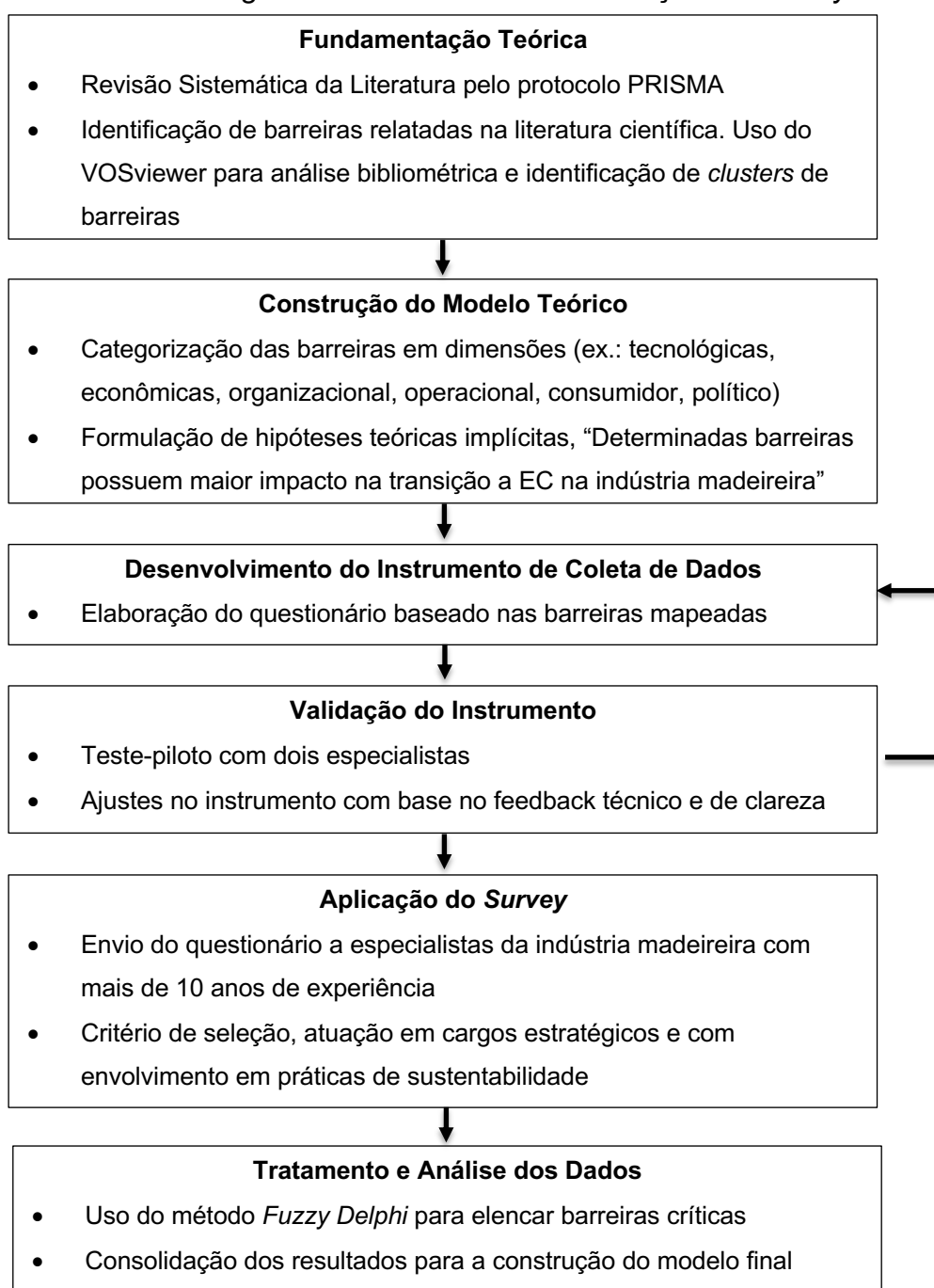
A combinação de questões abertas e fechadas permite equilibrar a profundidade das informações obtidas com a facilidade de tabulação e análise. Para as questões fechadas, foi utilizada a escala de Likert de cinco pontos, considerada adequada para medir variáveis latentes de natureza ordinal, como o grau de concordância com determinadas barreiras (MIGUEL; HO, 2012).

A coleta de dados foi realizada por meio de formulários através do *Google Forms*, e os dados foram exportados para planilhas eletrônicas para posterior análise. Por fim, os dados foram tratados utilizando o método Fuzzy Delphi, conforme

detalhado na seção 5.2, com o intuito de elencar as barreiras mais relevantes sob a perspectiva dos especialistas consultados.

No Quadro 2, foi proposto um fluxograma contextualizando o processo de elaboração do *survey*, conforme as etapas metodológicas adotadas no estudo, com base no fluxograma proposto por Forza (2002) ao qual apresenta um modelo de pesquisa empírica baseado na construção e testagem teórica por meio de *survey*.

Quadro 2– Fluxograma do Processo de Elaboração do *Survey*

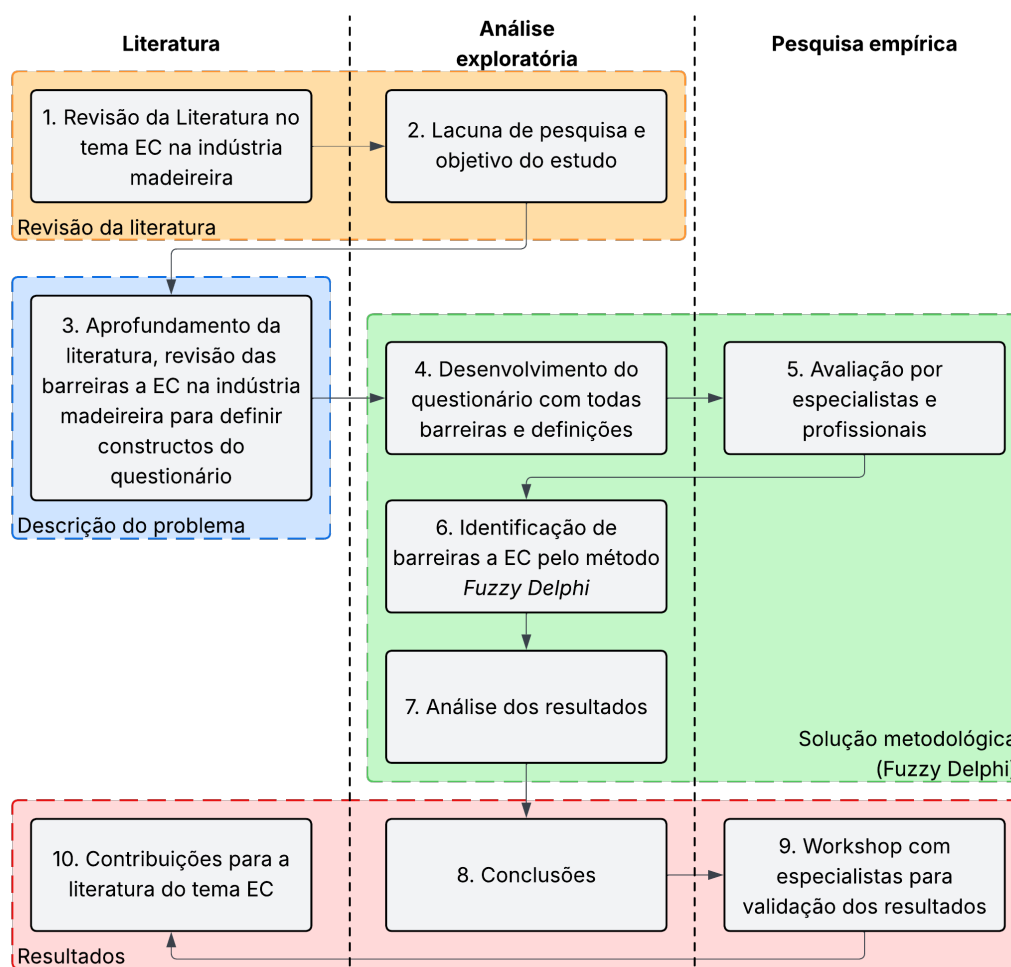


Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Forza (2002)

1.5 PROCESSO DE PESQUISA E ESTRUTURA DO TRABALHO

A estruturação metodológica da pesquisa foi fundamental para assegurar a consistência e robustez dos resultados obtidos. Conforme apontado por Gil (2009), uma pesquisa caracteriza-se por um processo sistemático e racional, cuja finalidade é responder, com base empírica e teórica, às perguntas formuladas pelo pesquisador. O presente estudo seguiu um percurso metodológico estruturado, conforme ilustrado na Figura 1, que delinea as principais etapas do processo investigativo.

Figura 1 – Modelo do Processo de Pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Bouzon et al. (2016)

Inspirando-se na abordagem de Fleury (2012), reconhece-se a importância de estabelecer, previamente, um modelo conceitual que oriente o desenvolvimento da pesquisa. Tal modelo deve ser coerente com os objetivos do estudo e com o campo teórico em que se insere. Neste trabalho, propõe-se uma estrutura analítica voltada à

identificação e priorização de barreiras à transição para a Economia Circular na indústria madeireira, com base em evidências obtidas na literatura científica e validadas por especialistas do setor.

Com esse intuito, adaptou-se o framework metodológico desenvolvido por Bouzon et al. (2016), originalmente concebido para mapear barreiras à logística reversa. Esse modelo compreende três fases principais: (i) levantamento e análise das barreiras com base em uma Revisão Sistemática da Literatura conduzida segundo o protocolo PRISMA; (ii) validação preliminar das barreiras identificadas por meio da aplicação do método *Fuzzy Delphi* junto a especialistas da indústria madeireira com, no mínimo, dez anos de experiência e atuação em cargos estratégicos de tomada de decisão; e (iii) validação complementar dos resultados por meio de entrevistas abertas com dois especialistas, com o objetivo de aprofundar a interpretação dos achados e consolidar a robustez das conclusões. Tal adaptação permitiu que o modelo original fosse refinado de modo a contemplar as especificidades da Economia Circular e os desafios enfrentados pelo setor florestal-industrial no Brasil.

O desenvolvimento desta dissertação foi orientado por um processo de pesquisa estruturado em etapas sequenciais e integradas, de modo a garantir o rigor metodológico, coerência lógica e alinhamento com os objetivos definidos. A trajetória investigativa partiu de uma necessidade identificada na literatura: a escassez de estudos focados exclusivamente nas barreiras que dificultam a transição para a Economia Circular (EC) na indústria madeireira. Assim, delineou-se uma abordagem mista, combinando análise teórica com investigação empírica, para identificar, sistematizar e priorizar tais barreiras.

Inicialmente, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) com base no protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), a fim de garantir transparência, reprodutibilidade e abrangência na identificação dos estudos relevantes sobre o tema. A partir da RSL, foram extraídas as barreiras mais recorrentes mencionadas na literatura, as quais compuseram uma base preliminar para análise subsequente.

Na sequência, conduziu-se uma análise bibliométrica com apoio do software VosViewer, por meio da qual foram mapeadas as principais tendências temáticas, coocorrências de palavras-chave e agrupamentos (clusters) presentes na produção científica sobre Economia Circular e indústria da madeira. Essa etapa

permitiu validar e expandir a compreensão sobre os eixos temáticos emergentes, fortalecendo os constructos a serem avaliados na etapa empírica.

Com base nas barreiras identificadas e refinadas nas etapas anteriores, elaborou-se um questionário estruturado, que foi submetido à avaliação de especialistas da indústria madeireira – um acadêmico e um especialista industrial – com reconhecida experiência em sustentabilidade e tomada de decisão estratégica. As respostas foram analisadas por meio do método *Fuzzy Delphi*, uma ferramenta multicritério que combina os princípios do método *Delphi* tradicional com a lógica *fuzzy*, permitindo mensurar o grau de concordância entre os especialistas e priorizar as barreiras identificadas com base em sua relevância e impacto percebido.

Adicionalmente, como etapa de validação, os resultados foram apresentados em um workshop com especialistas, com o intuito de fomentar discussões críticas, verificar a aplicabilidade prática dos achados e refinar as recomendações propostas.

O presente trabalho está organizado em seis capítulos, conforme descrito a seguir:

Capítulo 1 – Introdução: apresenta a contextualização do tema, os objetivos da pesquisa, a justificativa da investigação e a caracterização metodológica adotada.

Capítulo 2 – Referencial Teórico Exploratório: descreve os principais conceitos relacionados e seus principais setores, bem como conceitos relacionados à Economia Circular, com ênfase nas especificidades da indústria madeireira e suas segmentações.

Capítulo 3 – Revisão Sistemática da Literatura: expõe a metodologia da RSL, os critérios de seleção e os resultados obtidos, com destaque para a tabela-síntese das barreiras mapeadas.

Capítulo 4 – Análise Bibliométrica: apresenta os procedimentos e os resultados da análise bibliométrica; incluindo redes de coocorrência e agrupamentos temáticos.

Capítulo 5 – Aplicação do *Survey Fuzzy Delphi*: detalha a construção e aplicação do questionário, a metodologia do *Fuzzy Delphi*, os resultados obtidos.

Capítulo 6 – Workshop com especialistas: Síntese do workshop, apresentação da contribuição prática dos especialistas.

Capítulo 7 – Conclusão: discute as contribuições teóricas e práticas da pesquisa e as proposições para investigações futuras.

Essa estrutura visa proporcionar uma leitura fluida e sistemática, articulando a fundamentação teórica com os dados empíricos de modo a contribuir para o avanço do conhecimento na área de sustentabilidade industrial e apoiar gestores e formuladores de políticas na superação das barreiras à Economia Circular no setor madeireiro.

CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO EXPLORATÓRIO

2.1 INDÚSTRIA MADEIREIRA

A indústria madeireira desempenha um papel estratégico na economia brasileira, com relevante participação no Produto Interno Bruto (PIB) industrial e nas exportações. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI), o setor congrega 53.107 empresas no Brasil, sendo a maior concentração no Sudeste (37%), Sul (34%) e Nordeste (12%) (ABIMCI, 2022). A diversidade de produtos gerados — como madeira serrada, painéis de madeira, molduras, pisos, portas, estruturas de construção e biomassa energética — reforça a capilaridade da indústria em múltiplas cadeias de valor (ABIMCI, 2022).

Além de sua relevância econômica, a indústria madeireira tem importância estratégica na transição para modelos produtivos mais sustentáveis, como a bioeconomia e a economia circular. Esta transição, no entanto, demanda superar barreiras históricas relacionadas ao aproveitamento integral da matéria-prima, inovação tecnológica e desenvolvimento de novos mercados (JARREA et al., 2020).

Estima-se que são gerados 232,9 milhões de m³ de resíduos mundialmente, provenientes da transformação da madeira em produto de maior valor agregado, geralmente como cavacos e aparas, os quais são descartados na queima em fornos ou podem ser reutilizados nas indústrias de papel e celulose, painéis e na geração de energia (SILVA et al. 2021).

2.1.1 Segmento de Painéis

O segmento de painéis de madeira reconstituída desempenha papel fundamental na agregação de valor à cadeia produtiva florestal. Esse setor engloba produtos como os painéis compensados (*Plywood*), *Medium Density Fiberboard* (MDF), *Medium Density Particleboard* (MDP) e o *Oriented Strand Board* (OSB), os quais são amplamente utilizados nas indústrias moveleira, de construção civil e de embalagens.

Os painéis à base de madeira são produtos industrializados obtidos a partir da recomposição de elementos lignocelulósicos – como lâminas, partículas ou fibras – aglutinados com resinas sob ação de temperatura e pressão. Esses painéis são

amplamente utilizados nas indústrias moveleira, da construção civil, embalagens e decoração, devido à sua versatilidade, uniformidade dimensional e melhor aproveitamento da matéria-prima. A classificação dos painéis se dá principalmente pelo tipo de elemento utilizado: os painéis compensados (ou laminados) são formados por lâminas sobrepostas com as fibras alternadas perpendicularmente, conferindo elevada resistência mecânica; os painéis de partículas (como o aglomerado) utilizam cavacos ou partículas de madeira prensadas com resina, resultando em custo mais acessível e uso predominante em móveis de baixo custo; por fim, os painéis de fibras (como o MDF) são compostos por fibras de madeira finamente desintegradas, oferecendo uma superfície mais lisa e homogênea, ideal para usinagens e acabamentos sofisticados. A seguir, na Figura 2 apresenta-se uma ilustração com os principais tipos de painéis – compensado, MDF, MDP e OSB respectivamente.

Figura 2. Tipos de painéis



Fonte: Souza (2020)

Em termos de volume de produção, o Brasil consolidou-se como um dos principais produtores mundiais de painéis de madeira. Segundo dados da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2023), a produção nacional de painéis alcançou 8,2 milhões de metros cúbicos em 2022, demonstrando uma tendência de crescimento sustentado. Deste total, cerca de 1,15 milhão de metros cúbicos foram destinados à exportação, gerando receitas superiores a US\$ 336 milhões (IBÁ, 2023).

A relevância econômica do setor é evidenciada tanto pelo valor agregado dos produtos quanto pela sua contribuição ao saldo positivo da balança comercial brasileira. No mercado interno, os painéis são destinados majoritariamente à fabricação de móveis residenciais e comerciais, constituindo insumo essencial para a

indústria moveleira, que representa cerca de 70% da demanda doméstica (ABIMCI, 2022). No que tange às exportações, os principais mercados consumidores dos painéis brasileiros são os Estados Unidos, a América Latina e países da União Europeia, destinos que valorizam a sustentabilidade do manejo florestal brasileiro e a qualidade técnica dos produtos ofertados (IBÁ, 2023).

Destaca-se que a produção de painéis é intrinsecamente associada a princípios da economia circular, dado que pode utilizar como matéria-prima resíduos de madeira oriundos de processos industriais ou florestais. Essa prática não apenas amplia a eficiência na utilização dos recursos naturais, como também reduz a geração de resíduos e as emissões associadas à disposição inadequada de resíduos sólidos (MAIR; STERN, 2017). Diversos estudos têm explorado o potencial de aproveitamento de resíduos do processamento da madeira na fabricação de painéis e produtos de maior valor agregado, como parte de estratégias de uso em cascata e de promoção da circularidade. A reutilização desses resíduos contribui para a redução da dependência de matérias-primas virgens, otimização de custos, mitigação de emissões e aumento da eficiência no uso de recursos biomássicos (TASKHIRI et al., 2019; MAIR; STERN, 2017; GENEROWICZ; KOWALSKI, 2020; JARRE et al., 2020)

Entretanto, a cadeia de valor ainda enfrenta barreiras à plena circularidade, entre as quais se destacam a ausência de incentivos fiscais para a reciclagem de painéis pós-consumo e a necessidade de avanços tecnológicos para o reaproveitamento de resíduos de painéis laminados ou de difícil separação de materiais (DRAGOMIR et al., 2023).

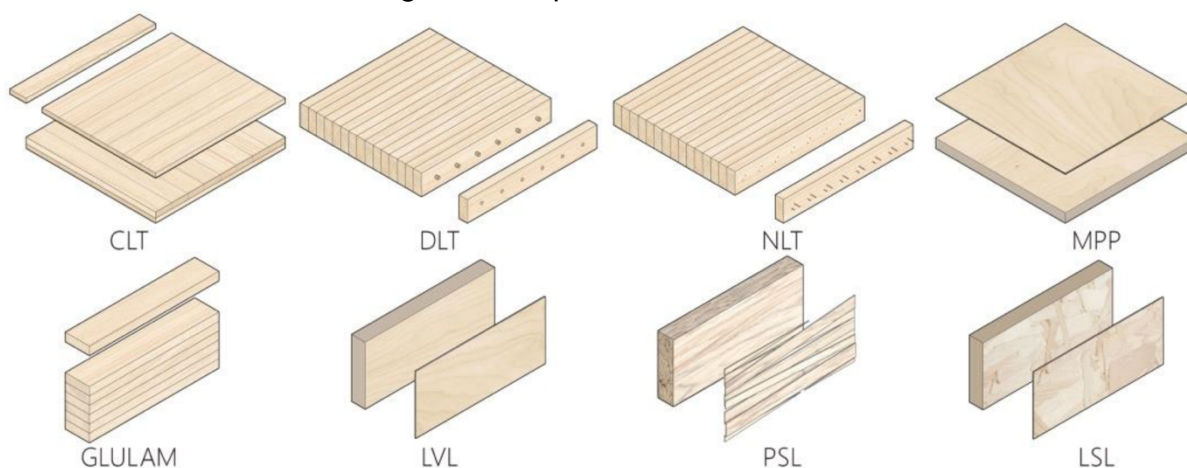
Assim, o segmento de painéis reconstituídos configura-se não apenas como vetor de agregação de valor e inovação tecnológica no setor florestal, mas também como agente estratégico para a promoção de práticas alinhadas à bioeconomia e à transição para a economia circular.

2.1.2 Segmento da Construção Civil com Madeira Engenheirada

A utilização de madeira engenheirada na construção civil vem se consolidando como uma alternativa sustentável às tradicionais estruturas em concreto e aço. Produtos *Mass timber* como o *Cross Laminated Timber* (CLT), *Dowel Laminated Timber* (DLT), *Nail Laminated Timber* (NLT), *Mass Ply Panel* (MPP), Madeira

Lamelada Colada (GLULAM), *Laminated Veneer Lumber* (LVL), *Parallel Strand Lumber* (PSL), *Laminated Strand Lumber* (LSL), são exemplos de componentes estruturais de alto desempenho, produzidos a partir da reconstituição de lâminas ou peças de madeira, e destinados a edificações de múltiplos pavimentos, ilustrados na Figura 3, abaixo.

Figura 3 – Tipos de Mass timber



Fonte: Sun et al. (2022)

No contexto internacional, a produção de madeira engenheirada apresenta crescimento acelerado. De acordo com Lazarevic et al. (2020), na Finlândia, pioneira na adoção de sistemas construtivos em madeira, o mercado de edifícios com estrutura de madeira representa cerca de 15% das construções residenciais multifamiliares, indicando a maturidade e a aceitação social dessa tecnologia. No Brasil, embora incipiente, esse mercado encontra-se em fase de expansão, impulsionado por fatores como a busca por edificações de menor impacto ambiental e a valorização de materiais de origem renovável (ABIMCI, 2022). O mercado interno brasileiro para construções em madeira engenheirada é composto principalmente por edificações residenciais unifamiliares, pavilhões industriais, obras comerciais de pequeno e médio porte e, mais recentemente, edifícios de múltiplos pavimentos, especialmente em programas de habitação sustentável e projetos corporativos de alto padrão. A Figura 4, ilustra uma das construções existentes no Brasil, se trata de uma estrutura de MLC e CLT no Shopping Iguatemi de Fortaleza.

Figura 4 – Estrutura em CLT no Brasil



Fonte: TIMBAU ESTRUTURAS ([s.d.])

A produção brasileira de madeira engenheirada, embora ainda limitada em comparação a países como Áustria, Alemanha e Canadá, vem registrando avanços relevantes. Estima-se que o volume de produtos como CLT e GLULAM fabricados no país tenha alcançado aproximadamente 30 mil metros cúbicos em 2022, com expectativa de crescimento superior a 10% ao ano nos próximos cinco anos (IBÁ, 2023).

No cenário internacional, os principais mercados consumidores de produtos de madeira engenheirada são a União Europeia, América do Norte e Japão, regiões que possuem políticas públicas de estímulo à construção em madeira, associadas a exigências rigorosas de desempenho estrutural, térmico e acústico das edificações (LAZAREVIC et al., 2020).

Apesar das perspectivas positivas, o setor enfrenta barreiras estruturais significativas no Brasil, incluindo a ausência de normativas técnicas específicas para edificações em madeira engenheirada de múltiplos pavimentos, o desconhecimento técnico por parte de engenheiros e arquitetos, além da percepção cultural de menor durabilidade e resistência da madeira em comparação aos materiais convencionais

(HEMSTRÖM et al., 2017), ocorre também a falta de políticas públicas de incentivo do uso da madeira. Adicionalmente, os elevados custos iniciais associados à implantação de sistemas de pré-fabricação, aliados à dificuldade de acesso a linhas de crédito específicas para construções sustentáveis, configuram entraves relevantes à disseminação do uso da madeira engenheirada no mercado nacional (LAZAREVIC et al., 2020).

Em resumo, o segmento de madeira engenheirada configura-se como vetor estratégico para a inovação sustentável na construção civil brasileira, com elevado potencial de crescimento e contribuição para a redução das emissões de gases de efeito estufa do setor edificador, desde que superadas as barreiras normativas, culturais e financeiras vigentes.

2.1.3 Segmento de Paletes e embalagens

O segmento de paletes de madeira constitui um elo estratégico na cadeia logística mundial, sendo responsável pela movimentação eficiente de cargas em diversos setores produtivos. Os paletes são estruturas planas, usualmente confeccionadas em madeira serrada, projetadas para o armazenamento, transporte e manuseio de mercadorias com auxílio de empilhadeiras e outros equipamentos de movimentação.

De acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2022), os paletes de madeira representam aproximadamente 90% da demanda mundial por paletes, evidenciando a predominância desse material em relação a alternativas como plástico e metal. Estima-se que o mercado global de paletes tenha movimentado cerca de 9 bilhões de unidades em circulação em 2022, com produção anual superior a 1,9 bilhão de unidades (FAO, 2022).

No Brasil, a produção de paletes é estimada em cerca de 40 milhões de unidades por ano (ABIMCI, 2022), o que posiciona o país como um dos principais produtores da América Latina. A indústria de paletes nacional é predominantemente formada por pequenas e médias empresas, com forte concentração nas regiões Sul e Sudeste, aproveitando a proximidade com as áreas de produção florestal e industrial.

O mercado consumidor de paletes é composto por diversos setores econômicos, destacando-se a indústria alimentícia, a indústria de bebidas, o setor

farmacêutico, o agronegócio, além da logística associada a exportações de commodities. No âmbito das exportações brasileiras, os paletes são utilizados majoritariamente para acondicionar cargas destinadas à América do Norte, Europa e Ásia, sendo considerados insumos críticos para garantir a integridade e a rastreabilidade das mercadorias transportadas.

A fabricação de paletes de madeira no Brasil é baseada, em grande parte, em madeiras de rápido crescimento, como o pinus e o eucalipto, oriundos de plantios florestais certificados, o que reforça a dimensão sustentável da produção nacional (ABIMCI, 2022). Além disso, observa-se crescente interesse na adoção de práticas de logística reversa e reaproveitamento de paletes, alinhadas aos princípios da economia circular.

No entanto, apesar do potencial ambiental e econômico da reutilização e da remanufatura de paletes, o Brasil ainda carece de políticas públicas e incentivos específicos que promovam a logística reversa nesse segmento. Barreiras como a heterogeneidade das especificações de paletes usados, os elevados custos de transporte de unidades para recuperação, e a falta de padronização dificultam a estruturação de cadeias circulares mais robustas (GENEROWICZ; KOWALSKI, 2020). Por fim, destaca-se que a eficiência do uso de paletes é fator crítico para a competitividade da logística brasileira, especialmente considerando as demandas internacionais por rastreabilidade, certificações fitossanitárias (como o ISPM 15) e práticas sustentáveis na cadeia de suprimentos.

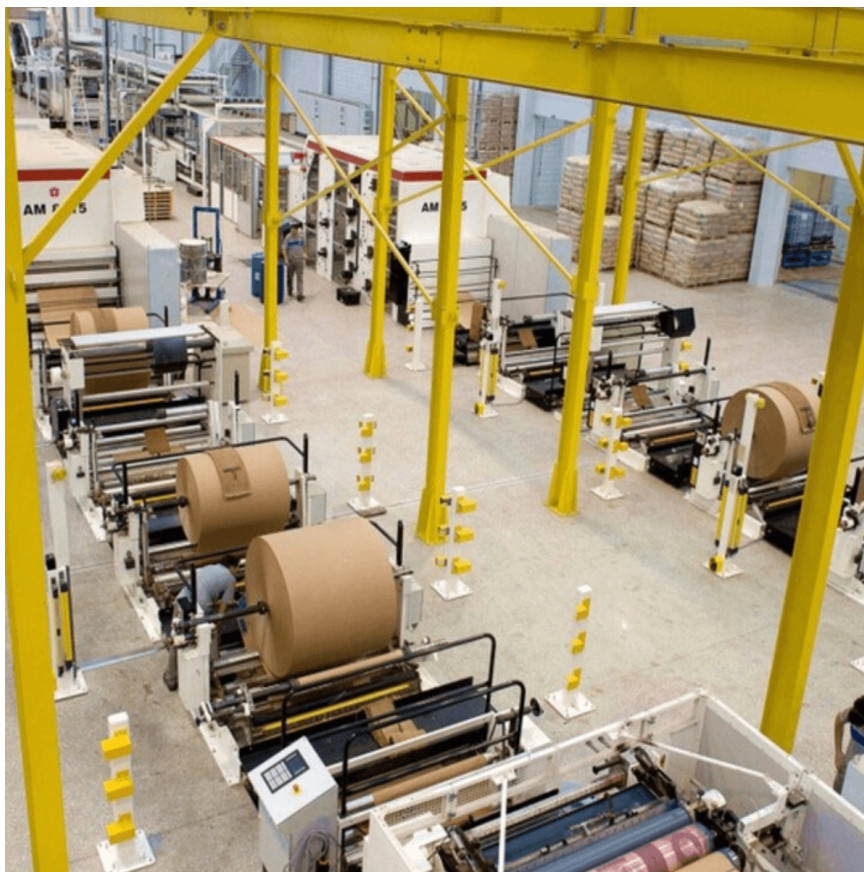
2.1.4 Segmento da Papel e Celulose

A indústria de papel e celulose representa um dos setores mais robustos e estruturados dentro da cadeia produtiva florestal brasileira, exercendo papel estratégico tanto na economia nacional quanto nas cadeias globais de suprimento de produtos de origem florestal. Essa indústria é caracterizada pela produção de celulose — fibra obtida da madeira —, papéis para diferentes fins e embalagens.

Segundo dados da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2023), o Brasil produziu aproximadamente 22,5 milhões de toneladas de celulose em 2022, consolidando-se como o segundo maior produtor mundial, atrás apenas dos Estados Unidos. Desse volume, 16 milhões de toneladas foram destinadas à exportação, gerando receitas

superiores a US\$ 10,2 bilhões. A produção de papel atingiu 10,4 milhões de toneladas no mesmo período, com cerca de 2,3 milhões de toneladas exportadas, demonstrando a forte vocação internacionalizada do setor. A Figura 5 exemplifica a indústria de papel e celulose.

Figura 5 – Equipamento utilizado na indústria de papel e celulose



Fonte: FAMMETAL, [s.d.]

Em termos de mercado consumidor, a celulose brasileira é majoritariamente destinada à fabricação de papéis de alta qualidade nos Estados Unidos, China e países da União Europeia, sendo insumo essencial para a produção de papéis sanitários, de impressão, embalagens e papéis especiais. Já o mercado interno absorve parte relevante da produção de papel para embalagens (papelão ondulado), refletindo o dinamismo do setor de e-commerce e da indústria de alimentos e bebidas (IBÁ, 2023). O Brasil apresenta vantagens competitivas notáveis neste segmento, destacando-se pelo uso de madeira de eucalipto de rápido crescimento, que permite ciclos de produção florestal de 6 a 7 anos — tempos significativamente inferiores aos observados em outras regiões produtoras, como América do Norte e Europa. Essa

condição proporciona alta produtividade florestal, menor custo de matéria-prima e reduzido impacto ambiental por tonelada de celulose produzida (IBÁ, 2023).

Adicionalmente, o setor de papel e celulose brasileiro destaca-se no cenário internacional por práticas avançadas de manejo florestal sustentável, certificações ambientais (FSC e PEFC) e programas de conservação de biodiversidade em áreas de reserva legal e preservação permanente.

No entanto, embora apresente elevado grau de inovação em processos industriais, o segmento enfrenta desafios significativos para a ampliação da circularidade, sobretudo no que diz respeito à reciclagem de papéis complexos — como os papéis multicamadas utilizadas em embalagens alimentícias — e à gestão de resíduos de processos industriais, tais como a cinza de caldeiras e o licor negro (DRAGOMIR et al., 2023).

Além disso, o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem o reaproveitamento de fibras recicladas com menor perda de qualidade é um desafio técnico importante. A degradação das fibras durante sucessivos ciclos de reciclagem limita a reutilização plena dos papéis, impondo a necessidade de constante reposição de fibras virgens (DRAGOMIR et al., 2023).

No contexto da economia circular, estratégias como a valorização energética de resíduos de baixo potencial de reciclagem, a implementação de biorrefinarias para extração de compostos de alto valor agregado, e o desenvolvimento de papéis de fácil reciclagem são consideradas essenciais para fortalecer a sustentabilidade da indústria de papel e celulose no longo prazo.

2.1.5 Segmento de Molduras

O segmento de molduras de madeira ocupa posição de destaque no contexto da indústria madeireira brasileira, especialmente pela sua forte orientação exportadora. As molduras consistem, majoritariamente, em peças de madeira perfiladas e usinadas, utilizadas em portas, janelas e componentes decorativos, com elevado valor agregado em relação à matéria-prima original, como pode se observar na Figura 6, abaixo.

Figura 6 – Exemplos de molduras



Fonte: MILLPAR, [s.d.]

Em 2022, o Brasil exportou aproximadamente 84 mil toneladas de molduras de madeira, gerando uma receita da ordem de US\$ 180 milhões (ABIMCI, 2022). O principal destino das exportações brasileiras foi os Estados Unidos, que absorveram cerca de 80% do volume comercializado, seguidos por países da América Latina e Europa (ABIMCI, 2022). Este desempenho evidencia a elevada competitividade internacional do setor brasileiro, baseada na combinação de disponibilidade de matéria-prima de qualidade, mão de obra especializada e processos industriais eficientes.

O mercado interno para molduras de madeira, embora relevante, é consideravelmente menor em comparação às exportações. O consumo doméstico é concentrado nos setores de decoração, construção civil e indústria moveleira, particularmente em projetos de arquitetura e interiores que valorizam produtos de origem renovável e estética diferenciada.

A produção nacional de molduras é majoritariamente realizada a partir de espécies de rápido crescimento, como o pinus e o eucalipto, provenientes de florestas plantadas com certificação de manejo sustentável. A conversão da madeira bruta em molduras envolve processos industriais de alto valor agregado, como a secagem controlada, o perfilamento de precisão, usinagem de emendas, a colagem, o revestimento e o acabamento superficial.

Do ponto de vista da sustentabilidade e da economia circular, o segmento de molduras apresenta boas práticas associadas à gestão de resíduos sólidos. As sobras de madeira oriundas do processo de usinagem são frequentemente utilizadas para a produção de biomassa energética ou destinados à fabricação de produtos de menor valor, como painéis de partículas (TASKHIRI et al., 2019). Essa lógica de

aproveitamento em cascata contribui para a redução do desperdício e para a maximização do valor extraído da matéria-prima florestal.

Entretanto, algumas barreiras ainda limitam o avanço da circularidade plena no segmento. A recuperação de molduras pós-consumo enfrenta dificuldades relacionadas à desmontagem, à contaminação por tintas, gesso e adesivos e à dispersão geográfica dos produtos no mercado, fatores que encarecem a logística reversa e dificultam o reaproveitamento dos materiais (MAIR; STERN, 2017).

Além disso, o fortalecimento de estratégias de design para a circularidade — como o uso de acabamentos compatíveis com reciclagem e o desenvolvimento de molduras desmontáveis — surge como oportunidade para ampliar a sustentabilidade da cadeia de molduras de madeira, alinhando o setor às tendências globais de bioeconomia e economia circular.

A indústria madeireira, com sua relevância econômica e ampla diversidade de produtos, configura-se como um setor estratégico para a promoção de práticas sustentáveis e a transição para modelos de produção mais circulares. Todavia, a dinâmica tradicional de extração, transformação e descarte de recursos naturais, ainda predominante, impõe desafios substanciais à adoção da Economia Circular. Nesse contexto, torna-se fundamental compreender os conceitos, fundamentos e princípios que norteiam a Economia Circular, a fim de subsidiar propostas de reestruturação dos fluxos produtivos da indústria madeireira.

2.2 ECONOMIA CIRCULAR

A Economia Circular (EC) representa um modelo econômico regenerativo e restaurativo, cujo objetivo é dissociar o crescimento econômico do consumo de recursos finitos, promovendo a sustentabilidade ambiental, econômica e social. Em oposição ao modelo linear tradicional de "extrair, produzir, descartar", a EC propõe a manutenção dos produtos, componentes e materiais em seu mais alto valor de utilidade ao longo do tempo, através de estratégias como redução, reutilização, remanufatura, reciclagem e recuperação (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2024a).

Segundo a Ellen MacArthur Foundation (2024b), a EC é sustentada por três princípios fundamentais: eliminar resíduos e poluição desde o design; manter produtos

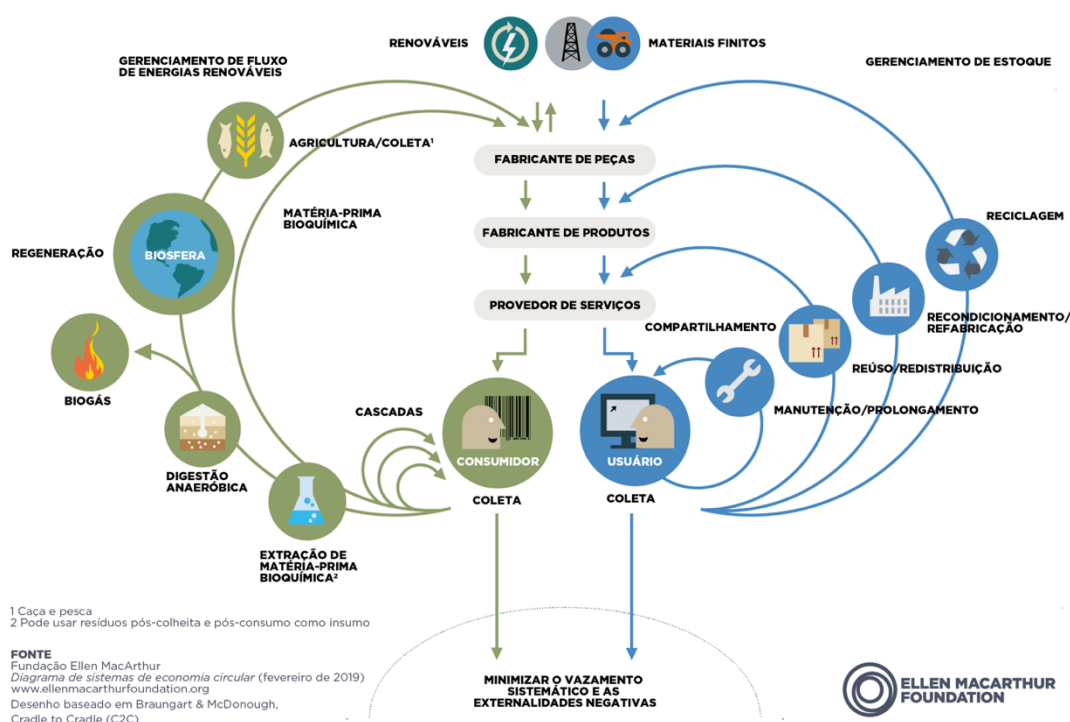
e materiais em uso pelo maior tempo possível; e regenerar sistemas naturais, restaurando ecossistemas por meio da reintegração de materiais biodegradáveis na biosfera.

Dentro do contexto da Economia Circular, destaca-se o chamado Diagrama da Borboleta (*Butterfly Diagram*), na Figura 7, desenvolvido pela Fundação Ellen MacArthur, como uma representação visual que sintetiza os fluxos de materiais em ciclos técnicos e biológicos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2024c).

O diagrama divide o sistema produtivo em dois fluxos principais:

- **Ciclo Biológico:** Contempla materiais biodegradáveis, que podem ser regenerados de maneira segura através de processos naturais, como compostagem e digestão anaeróbica. O objetivo é devolver nutrientes ao meio ambiente, fortalecendo a regeneração dos sistemas naturais.
- **Ciclo Técnico:** Abrange materiais não biodegradáveis, como metais, polímeros e compostos sintéticos, cuja prioridade é a manutenção de seu valor máximo pelo maior tempo possível. Aqui se inserem estratégias como reutilização, remanufatura, reforma e, em último caso, a reciclagem.

Figura 7 – Representação esquemática do Diagrama da Borboleta da Fundação Ellen MacArthur



Fonte: Ellen MacArthur Foundation (2024c).

O Diagrama da Borboleta revela que, para maximizar o aproveitamento dos recursos e minimizar impactos ambientais, é prioritário manter os produtos em uso (estratégias de manutenção, remanufatura e reuso), antes de proceder à reciclagem ou descarte. Nesse sentido, a regeneração biológica e a recuperação de materiais são apresentadas como fluxos complementares e fundamentais para o fechamento dos ciclos produtivos.

Sua aplicação prática oferece diretrizes claras para o redesenho de produtos, processos industriais e sistemas de negócios, indicando que a verdadeira circularidade demanda a integração entre inovações tecnológicas, novos modelos de negócios e mudanças culturais profundas (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2024c; GEISSDOERFER et al., 2017).

No setor industrial, adotar os princípios do Diagrama da Borboleta exige um redesenho sistêmico das cadeias de valor, desde a escolha de matérias-primas, passando pelo design modular e reparável, até a criação de plataformas logísticas para facilitar a coleta, manutenção, remanufatura e redistribuição de produtos (WORLD BANK, 2022). O Diagrama da Borboleta consolida-se, então, como uma ferramenta estratégica para guiar políticas públicas, práticas empresariais e iniciativas de inovação, constituindo um marco teórico e prático essencial na construção de economias circulares resilientes e sustentáveis.

A implementação global da EC pode proporcionar benefícios expressivos. Estimativas recentes indicam que, com a adoção de práticas circulares, a geração mundial de resíduos sólidos urbanos poderá ser reduzida de mais de 4,5 bilhões de toneladas por ano para menos de 2 bilhões até 2050 (MASTERSON, 2024). Adicionalmente, a transição para modelos circulares tem potencial para reduzir em até 22,8 bilhões de toneladas as emissões globais de carbono, o que representa aproximadamente 39% das emissões globais registradas em 2019 (WINSAVVY, 2025).

Ainda assim, a economia mundial permanece amplamente linear. Dados do Circularity Gap Report (2023) revelam que apenas 7,2% da economia global opera atualmente em regime circular, uma diminuição em relação aos 9,1% observados em 2018. Tal declínio está relacionado ao crescimento acelerado da extração e uso de materiais, que triplicou desde 1970 e quase dobrou desde 2000, ultrapassando 100 bilhões de toneladas anuais (GREENMATCH, 2024). Do ponto de vista econômico,

as oportunidades geradas pela EC também são significativas. O mercado global da economia circular foi avaliado em US\$ 339 bilhões em 2022 e a previsão é que alcance US\$ 712 bilhões até 2026 (WINSAVVY, 2025). No âmbito da gestão de resíduos, a aplicação de estratégias circulares poderia gerar uma economia superior a US\$ 160 bilhões anuais até 2050 (MASTERSON, 2024).

A concretização da transição para a EC requer esforços coordenados entre governos, setor privado e sociedade civil. A formulação de políticas públicas integradas, a criação de incentivos econômicos e o investimento em infraestrutura adequada são apontados como elementos essenciais para vencer as barreiras técnicas, culturais e financeiras associadas à implementação da EC (WORLD BANK, 2022).

Desse modo, a EC configura-se não apenas como uma resposta estratégica às limitações ambientais impostas pelo modelo linear, mas também como um caminho viável para a inovação industrial, a geração de empregos verdes e a construção de economias mais resilientes e inclusivas.

A indústria madeireira, por sua natureza bioeconômica, posiciona-se de maneira estratégica nesse contexto. Com segmentos que abrangem desde o manejo florestal, a produção de madeira serrada, a fabricação de painéis, móveis, pisos, molduras, portas e componentes estruturais, papel e celulose, até a utilização de resíduos para a produção de biomassa energética, o setor apresenta múltiplas oportunidades para a aplicação dos conceitos da EC. A utilização cascata da madeira, o prolongamento da vida útil dos produtos, a recuperação e reaproveitamento de resíduos, bem como o desenvolvimento de novos materiais a partir de fibras e partículas de madeira, configuram estratégias concretas para alinhar os processos madeireiros aos princípios circulares.

Apesar das potencialidades, a transição da indústria madeireira para modelos circulares ainda enfrenta barreiras substanciais, relacionadas a fatores técnicos, econômicos, culturais e institucionais. A identificação e compreensão dessas barreiras são fundamentais para viabilizar a transformação do setor em direção a uma bioeconomia circular mais eficiente e sustentável.

Neste sentido, o próximo capítulo será dedicado à Revisão Sistemática da Literatura, utilizando metodologia rigorosa para mapear e analisar as principais barreiras apontadas na literatura científica que dificultam a transição da indústria

madeira para a EC. A partir desta análise, será possível fundamentar as etapas posteriores da pesquisa, fornecendo bases sólidas para a compreensão dos desafios e das estratégias de superação no setor.

CAPÍTULO 3 – REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A busca por um modelo de produção mais sustentável, baseado em princípios regenerativos e restaurativos, tem conferido destaque crescente à EC, sobretudo em setores intensivos em recursos naturais, como a indústria madeireira. No entanto, a transição para esse modelo encontra múltiplas barreiras, ainda pouco exploradas sistematicamente na literatura científica. Diante disso, este capítulo apresenta uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), desenvolvida de acordo com o protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), com o objetivo de identificar, analisar e categorizar as barreiras à adoção da EC na indústria madeireira. Esta etapa representa a fundação teórica que embasa as fases subsequentes deste estudo.

3.1 METODOLOGIA DA RSL

A RSL foi conduzida com base nas diretrizes de Thomé, Scavarda e Scavarda (2016), que propõem sete etapas sequenciais: (1) definição do escopo da pesquisa; (2) formulação da questão de pesquisa; (3) estabelecimento dos critérios de inclusão e exclusão; (4) identificação e seleção dos estudos; (5) categorização dos artigos selecionados; (6) análise e interpretação dos dados; e (7) síntese do conhecimento.

O escopo foi definido utilizando a taxonomia de Cooper (1988), que considera elementos como foco, objetivo, organização, perspectiva, audiência e cobertura. O foco incidiu sobre artigos com a EC como tema central aplicado à indústria madeireira. O objetivo foi sintetizar a literatura e identificar lacunas e barreiras recorrentes à transição. A organização seguiu critério conceitual, agrupando estudos segundo similaridade temática, com perspectiva neutra e direcionada a especialistas e tomadores de decisão do setor.

A questão norteadora formulada foi: Como o tema da Economia Circular é abordado na indústria madeireira e representado em publicações científicas?

A estratégia de busca contemplou a base de dados *Scopus* e *Web of Science*, reconhecidas por sua abrangência e qualidade. As buscas foram realizadas entre novembro de 2022 e dezembro de 2023, com os termos “Circular Economy” e

“Wood* Industr*”, de forma a abranger variações terminológicas sem restringir a amplitude temática. Aplicaram-se os filtros de tipo de documento (artigos revisados por pares), idioma (inglês) e recorte por título, resumo e palavras-chave.

Apesar da robustez metodológica adotada, algumas limitações inerentes ao desenho desta pesquisa devem ser reconhecidas. Em relação à RSL, destaca-se a restrição às bases de dados selecionadas e a predominância de artigos publicados em inglês e português, o que pode ter limitado o alcance de estudos relevantes publicados em outros idiomas ou fontes não indexadas, uma limitação comumente apontada em estudos de revisão (SNYDER, 2019).

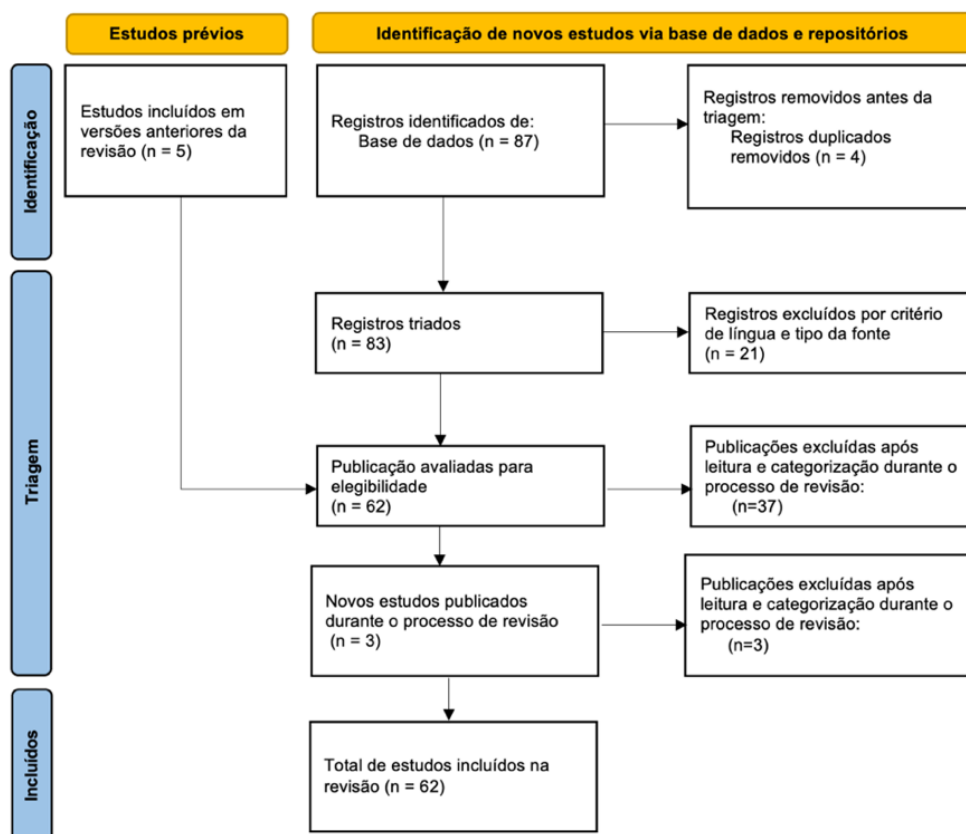
3.1.1 Protocolo PRISMA e Processo de Seleção

A aplicação do protocolo PRISMA foi essencial para assegurar transparência e reprodutibilidade ao processo de filtragem. Inicialmente, a busca retornou 27.308 documentos. Após a aplicação dos termos truncados e critérios de refinamento, o número foi reduzido a 83 artigos. Foram excluídos:

- Estudos com foco apenas físico-químico/mecânico que apenas mencionavam EC;
- Pesquisas voltadas a produtos não-madeireiros;
- Artigos que não tratavam da EC ou não abordavam barreiras;
- Duplicatas e documentos não redigidos em inglês.

Ao final da triagem, resultaram 62 artigos na amostra final. A Figura 8 ilustra o diagrama do processo de triagem e inclusão segundo o protocolo PRISMA (PAGE *et al.*, 2021), apresentando as etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos.

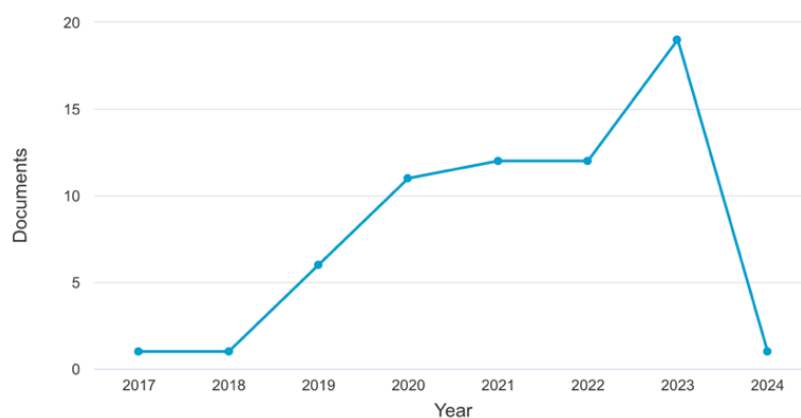
Figura 8 – Mapeamento da amostra utilizando o protocolo PRISMA



Fonte: Próprio Autor

A análise temporal das publicações revelou que a maioria dos estudos é recente, concentrando-se a partir de 2018. A Figura 9 apresenta a evolução anual do número de publicações, evidenciando o crescimento da atenção científica ao tema.

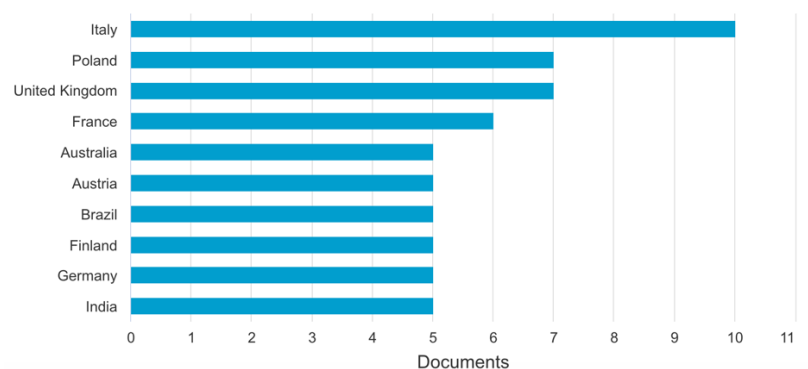
Figura 9 – Quantidade de documentos publicados por ano



Fonte: Scopus (2023)

Em relação à distribuição geográfica, conforme a Figura 10, predominam estudos oriundos de países europeus, notadamente Alemanha, Suécia, Finlândia e Países Baixos. O Brasil, apesar de seu expressivo parque florestal e industrial madeireiro, possui representação ainda modesta, o que revela uma lacuna a ser explorada.

Figura 10 – Quantidade de publicações por país/território



Fonte: Scopus (2023)

As 62 publicações selecionadas passaram por categorização temática com auxílio do software VosViewer, permitindo mapear coocorrência de palavras-chave e formação de clusters de barreiras à EC. Este processo será detalhado no capítulo 4, quando se discutirá a análise bibliométrica e a tipificação das barreiras identificadas.

3.2 RESULTADOS DA RSL

Com base na leitura integral dos 62 artigos selecionados na etapa final da Revisão Sistemática da Literatura, identificou-se que apenas 25 publicações apresentavam discussões explícitas, estruturadas e relevantes sobre as barreiras enfrentadas na transição para a Economia Circular no contexto da indústria madeireira e setores correlatos. Inicialmente, o escopo do estudo incluía tanto os fatores motivadores quanto os obstáculos à adoção da circularidade. No entanto, em decorrência da escassez de literatura robusta sobre os motivadores, optou-se por concentrar a análise exclusivamente nas barreiras. Essa delimitação permitiu aprofundar a compreensão crítica dos entraves técnicos, regulatórios, econômicos e organizacionais que comprometem a implementação eficaz dos princípios circulares no setor.

A análise dos 25 artigos selecionados na RSL evidencia um cenário ainda em construção quanto à aplicação dos princípios da Economia Circular (EC) no setor madeireiro. Os estudos selecionados contemplam uma diversidade metodológica, incluindo estudos de caso, análises qualitativas e quantitativas, revisões sistemáticas e modelos de avaliação, cobrindo diferentes recortes geográficos e segmentações industriais, desde a indústria moveleira tradicional até sistemas de construção em madeira e bioenergia derivada de resíduos florestais.

De modo geral, os achados convergem na identificação de barreiras estruturais, regulatórias e tecnológicas que dificultam a transição da indústria madeireira para um modelo circular. Diversos trabalhos destacam, por exemplo, a fragmentação de políticas públicas (DIMIC-MISIC et al., 2019; LADU et al., 2020), a resistência a inovações em setores dominados por estruturas tradicionais (LAZAREVIC et al., 2020), bem como a ausência de indicadores padronizados de circularidade no setor (DRAGOMIR et al., 2023; DO et al., 2023).

Alguns estudos enfatizam a relevância do uso em cascata da madeira como vetor para o aproveitamento máximo do recurso florestal, seja por meio de reciclagem, reutilização ou conversão energética dos resíduos (MAIR; STERN, 2017; TASKHIRI et al., 2019; GENEROWICZ; KOWALSKI, 2020). A valorização dos resíduos madeireiros por meio de biorrefinarias também se mostra uma alternativa promissora dentro da lógica da bioeconomia circular (SARAVANAN et al., 2023; AWASTHI et al., 2022). Destaca-se ainda que a literatura aponta para a adoção da EC como uma vantagem competitiva em mercados mais maduros, principalmente quando impulsionada por políticas públicas robustas e demanda por sustentabilidade, como observado nas indústrias europeias e em práticas construtivas na Finlândia e Áustria (HOLZER et al., 2023a; HOLZER et al., 2023b; JARRE et al., 2020).

Por fim, evidencia-se que, embora existam experiências e modelos pontuais bem-sucedidos, o avanço da Economia Circular na indústria madeireira ainda é limitado por entraves como falta de cooperação setorial, carência de incentivos econômicos, baixa digitalização da cadeia produtiva e ausência de métricas consolidadas de desempenho circular.

3.2.1 Tabela Resumo da RSL

A seguir, apresenta-se o Quadro 3 com a síntese dos principais artigos selecionados, organizando suas contribuições por tipo de estudo, metodologia empregada e principais achados.

Quadro 3 – Resultado da RSL

Título do Artigo	Fonte (Autor, ANO)	Tipo do Estudo	Metodologia Utilizada	Principais Descobertas
The Case for Urban and Reclaimed Wood in the Circular Economy	PITTI; ESPINOZA; SMITH, (2020)	Estudo de caso	Entrevistas com empresas do setor de madeira urbana e recuperada	Oportunidades e barreiras do setor; práticas de marketing e promoção da sustentabilidade.
An Investigation into Circular Economy Practices in the Traditional Wooden Furniture Industry	SUSANTY; TJAHJONO; SULISTYANI, (2020)	Pesquisa empírica quantitativa	Questionários aplicados a 190 empresas de móveis de madeira na Indonésia	Adoção da economia circular varia entre líderes, seguidores e retardatários; influência da cooperação ambiental na performance.
An Analysis of Circular Economy Literature at the Macro Level, with a Particular Focus on Energy Markets	GHAZANFARI, (2023)	Revisão de literatura	Revisão conceitual e estrutural da literatura sobre economia circular	A economia circular é crucial para sustentabilidade; barreiras econômicas e regulatórias dificultam implementação.
Optimising Cascaded Utilisation of Wood Resources Considering Economic and Environmental Aspects	TASKHIRI et al., (2019)	Análise quantitativa	Modelagem multiobjetivo para otimizar custos e emissões de carbono	Utilização em cascata reduz custos e emissões em comparação com o uso convencional de madeira.
Cascading Utilization of Wood: A Matter of Circular Economy?	MAIR; STERN, (2017)	Análise qualitativa	Revisão de literatura e análise comparativa	A economia circular e a utilização em cascata são interdependentes; barreiras políticas e econômicas dificultam a implementação.
Sustainable Development Model of Performance of Woodworking Enterprises in the Czech Republic	MICHAL et al., (2021)	Modelo de desenvolvimento sustentável	Análise de fontes primárias e secundárias para modelagem de eficiência econômica e sustentabilidade	Modelos sugerem maior uso de resíduos de madeira para bioenergia e aumento da eficiência de produção.
Indicators of Environmental Performance to Assess Wood-Based Bioenergy Production: A case study in Northern Italy	BUONOCORE et al., (2019)	Estudo de caso	Avaliação do ciclo de vida (LCA) de uma usina de bioenergia na Itália	Bioenergia de resíduos de madeira tem menor impacto ambiental que combustíveis fósseis, mas uso de metano afeta desempenho.

Quadro 3 – Resultado da RSL (continuação)

Título do Artigo	Fonte (Autor, ANO)	Tipo do Estudo	Metodologia Utilizada	Principais Descobertas
Identifying the Challenges of Implementing a European Bioeconomy based on forest resources: Reality demands circularity	DIMIC-MISIC et al., (2019)	Análise qualitativa	Método Delphi e revisão de políticas europeias	A bioeconomia precisa de integração com a economia circular para ser sustentável; desafios incluem políticas fragmentadas.
Green and Sustainable Separation of Natural Products from Agro-Industrial Waste: Challenges, Potentialities, and Perspectives on Emerging Approaches	ZUIN; RAMIN, (2018)	Revisão de literatura	Revisão sistemática de técnicas sustentáveis de extração	Processos sustentáveis podem extrair compostos valiosos de resíduos agroindustriais; integração com biorefinarias é promissora.
Different but the Same? Comparing Drivers and Barriers for Circular Economy Innovation Systems in Wood- and Plastic-Based Industries	HOLZER et al., (2023a)	Análise comparativa	Revisão da literatura e entrevistas qualitativas	Indústrias de madeira são mais receptivas à economia circular do que as de plástico; políticas e infraestrutura influenciam adoção.
Mapping Industrial Symbiosis Development in Europe: typologies of networks, characteristics, performance and contribution to the Circular Economy	DOMENECH et al., (2019)	Estudo de caso	Mapeamento de redes de simbiose industrial na Europa	A simbiose industrial contribui para a economia circular, mas enfrenta desafios regulatórios e logísticos.
Parallel Universes, One Circular Goal: An empirical study comparing Austrian Wood- and Plastic-Based Industries	HOLZER et al., (2023b)	Estudo comparativo	Entrevistas e análise qualitativa	A indústria da madeira adota mais facilmente a economia circular do que a indústria do plástico devido a pressões do mercado.
Assessing Circularity in the Wood Industry—Methodology, Tool and Results	DRAGOMIR et al., (2023)	Modelo de avaliação	Desenvolvimento e aplicação de um questionário em 60 empresas de madeira	A adoção da economia circular no setor madeireiro está progredindo, mas ainda enfrenta desafios regulatórios e de mercado.
A Review on Regeneration of Biowaste into Bio-Products and Bioenergy: Life cycle assessment and circular economy	SARAVANAN et al., (2023)	Revisão de literatura	Análise de processos de conversão de biowaste	A regeneração de resíduos biológicos pode impulsionar a bioeconomia circular; desafios incluem eficiência energética.

Quadro 3 – Resultado da RSL (continuação)

Título do Artigo	Fonte (Autor, ANO)	Tipo do Estudo	Metodologia Utilizada	Principais Descobertas
Resource Efficiency in Industrialized Housing Construction – A systematic review of current performance and future opportunities	KEDIR; HALL, (2021)	Revisão sistemática	Revisão da literatura sobre eficiência de recursos na construção industrializada	A adoção da construção industrializada pode melhorar a eficiência de materiais e reduzir desperdícios.
The Role of the Policy Mix in the Transition Toward a Circular Forest Bioeconomy	LADU et al., (2020)	Análise de políticas	Mapeamento de políticas e simulação de cenários	Políticas de mitigação climática e manejo sustentável são essenciais para a bioeconomia florestal circular.
Agricultural Waste Biorefinery Development Towards Circular Bioeconomy	AWASTHI et al., (2022)	Revisão de literatura	Análise de estratégias de biorrefinaria para resíduos agrícolas	A biorrefinaria de resíduos agrícolas pode contribuir para a economia circular, mas requer suporte tecnológico e financeiro.
Finland's Wood-Frame Multi-Storey Construction Innovation System: Analysing motors of creative destruction	LAZAREVIC; KAUTTO; ANTIKAINEN, (2020)	Análise de inovação tecnológica	Estudo da evolução da construção de edifícios em madeira na Finlândia	A construção em madeira na Finlândia é impulsionada por políticas públicas, mas enfrenta resistência do setor de concreto.
Transforming the Bio-Based Sector Towards a Circular Economy – What can we learn from wood cascading?	JARRE et al., (2020)	Revisão de literatura	Análise de estratégias de uso em cascata de madeira	A economia circular no setor bio-based pode ser fortalecida pela reutilização eficiente de biomassa.
Cascade Use of Post-Production Waste from the Wood Industry	GENEROWICZ; KOWALSKI, (2020)	Análise de modelo de economia circular	Estudo sobre a recuperação energética e reutilização de resíduos da indústria madeireira	O uso em cascata de madeira pode reduzir a dependência de matérias-primas virgens e otimizar o uso energético.
Valorization of Biowaste for Clean Energy Production, Environmental Depollution, and Soil Fertility	SRIVASTAVA et al., (2023)	Revisão de literatura	Análise de tecnologias para valorização de biowastes	A valorização de biowastes pode reduzir impactos ambientais e gerar bioenergia sustentável.
Recycling and Value-Added Design of Discarded Wooden Furniture	YANG; ZHU, (2021)	Estudo de caso	Análise de métodos de reciclagem e reuso de móveis descartados	A reciclagem de móveis pode reduzir resíduos e gerar produtos com valor agregado através do design sustentável.
Circular Economy Strategies in Modern Timber Construction as a Potential Response to Climate Change	GHOBADI; SEPASGOZAR, (2023)	Revisão sistemática	Análise de estratégias da economia circular na construção em madeira	A reutilização e reciclagem de madeira em construções podem mitigar mudanças climáticas e reduzir desperdício.

Quadro 3 – Resultado da RSL (continuação)

Título do Artigo	Fonte (Autor, ANO)	Tipo do Estudo	Metodologia Utilizada	Principais Descobertas
Transitioning to a Circular Economy: Lessons from the Wood Industry	DE VASS et al., (2023)	Análise de casos	Entrevistas e observação de empresas madeireiras aplicando a economia circular	Liderança e inovação são cruciais para a transição da indústria madeireira para a economia circular.
A New Integrated Circular Economy Index and a Combined Method for Optimization of Wood Production Chain Considering Carbon Neutrality	DO et al., (2023)	Modelo quantitativo	Desenvolvimento de índice de economia circular e otimização de cadeias produtivas de madeira	A implementação de modelos otimizados pode reduzir emissões de carbono na cadeia produtiva da madeira.

Fonte: Próprio Autor

A análise dos artigos selecionados permite traçar um panorama abrangente sobre os entraves enfrentados pela indústria madeireira na adoção de práticas alinhadas à EC. A primeira constatação relevante diz respeito à forte dependência de contextos políticos e regulatórios como condicionantes da efetividade da transição circular. Estudos conduzidos em países europeus apontam que políticas públicas bem estruturadas, como subsídios, marcos regulatórios coerentes e diretrizes de compras públicas sustentáveis, têm papel catalisador na implementação da EC (LADU et al., 2020; HOLZER et al., 2023a). Por outro lado, a fragmentação ou ausência de políticas coordenadas surge como barreira sistêmica recorrente (DIMIC-MISIC et al., 2019; JARRE et al., 2020).

A presença de tecnologias capazes de promover o reaproveitamento, a valorização energética e a reciclagem da madeira é um fator decisivo para viabilizar o uso em cascata — conceito fortemente presente nos estudos analisados (MAIR; STERN, 2017; TASKHIRI et al., 2019; GENEROWICZ; KOWALSKI, 2020). No entanto, a adoção dessas tecnologias requer investimentos significativos, os quais nem sempre são acessíveis a pequenas e médias empresas do setor, especialmente em países em desenvolvimento (SUSANTY et al., 2020; AWASTHI et al., 2022).

A literatura também destaca o papel da simbiose industrial como estratégia para fortalecer cadeias circulares, promovendo o reaproveitamento de resíduos intersetoriais (DOMENECH et al., 2019). Contudo, a operacionalização dessas redes

enfrenta obstáculos logísticos, jurídicos e de confiança entre os agentes envolvidos, limitando sua difusão.

No campo organizacional, observa-se que a cultura empresarial e o nível de conscientização ambiental influenciam diretamente a adesão à EC. Empresas mais inovadoras e com lideranças engajadas demonstram maior capacidade de incorporar princípios circulares em seus modelos de negócio (DE VASS et al., 2023; DRAGOMIR et al., 2023). Em contraste, a ausência de capacitação interna e de instrumentos de mensuração de desempenho circular dificulta a evolução prática dessas iniciativas (DO et al., 2023).

A indústria de móveis apresenta desafios específicos relacionados ao design para desmontagem e reaproveitamento (YANG; ZHU, 2021), enquanto o setor da construção em madeira lida com resistências culturais e normativas frente ao paradigma da construção tradicional em concreto (LAZAREVIC et al., 2020; GHOBADI; SEPASGOZAR, 2023).

A dimensão ambiental também se faz presente nos estudos voltados à bioenergia e à valorização de *biowaste*, que enfatizam o potencial da madeira residual como fonte renovável de energia e insumo industrial (BUONOCORE et al., 2019; SARAVANAN et al., 2023). Embora ambientalmente promissores, esses processos ainda esbarram em limitações quanto à eficiência energética e à viabilidade econômica (SRIVASTAVA et al., 2023).

Adicionalmente, percebe-se a carência de indicadores padronizados para mensuração do desempenho circular, o que compromete a comparabilidade entre empresas e setores (DRAGOMIR et al., 2023; DO et al., 2023). Tal lacuna dificulta o estabelecimento de metas, monitoramento de progresso e tomada de decisão baseada em evidências.

Portanto, os resultados apontam para um cenário no qual a transição da indústria madeireira para a Economia Circular depende de uma combinação de fatores estruturais, tecnológicos, regulatórios e culturais. Essa constatação reforça a necessidade de abordagens integradas que articulem políticas públicas, inovação tecnológica, formação profissional e colaboração entre os elos da cadeia de valor florestal, conforme propõe a literatura contemporânea sobre transições sustentáveis (KIRCHHERR et al., 2018; GHISSELLINI et al., 2016).

3.2.2 Quadro de Barreiras da RSL

A etapa subsequente da Revisão Sistemática da Literatura consistiu na organização das barreiras identificadas na literatura em um quadro síntese. Estas barreiras foram classificadas em categorias temáticas — técnicas, econômicas, organizacionais, operacionais, mercadológicas e institucionais — de modo a proporcionar uma visão abrangente e estruturada dos entraves identificados. O Quadro 4 apresenta a sistematização dessas barreiras, acompanhadas de breves descrições e respectivas referências bibliográficas, servindo como base para o aprofundamento analítico nas etapas subsequentes da pesquisa. Essa classificação contribui para uma melhor compreensão dos desafios enfrentados e fundamenta a construção do instrumento de coleta de dados aplicado aos especialistas do setor.

O Quadro 4 evidenciou a multiplicidade e complexidade das barreiras enfrentadas pela indústria madeireira no processo de transição para a Economia Circular, revelando a natureza sistêmica dos desafios envolvidos. Observou-se que, embora existam barreiras técnicas significativas — como a carência de tecnologias adequadas para reaproveitamento de materiais e a escassez de mão de obra especializada —, os entraves econômicos e organizacionais apresentam-se de forma igualmente crítica, refletindo um cenário de incerteza quanto ao retorno financeiro de investimentos circulares e uma cultura empresarial resistente a mudanças. Adicionalmente, as limitações infraestruturais e logísticas, somadas à ausência de políticas públicas específicas e incentivos fiscais, indicam uma fragilidade estrutural que compromete a viabilidade operacional da circularidade. As barreiras de mercado, como a baixa demanda por produtos circulares e a falta de consciência ambiental por parte dos consumidores, ressaltam a importância de estratégias educativas e de marketing mais assertivas. Em conjunto, os dados reforçam a necessidade de uma abordagem integrada e multissetorial, que envolva investimentos em inovação, desenvolvimento de capacidades técnicas, articulação entre atores da cadeia produtiva e formulação de políticas públicas robustas para promover um ambiente institucional favorável à Economia Circular no setor madeireiro.

Quadro 4 – Barreiras para EC na indústria madeireira encontrados na literatura

Categoria	Barreira	Breve Explicação	Referências
Técnico/Tecnológico	1. Falta de informações, conhecimentos técnicos e de tecnologias.	Falta informações e conhecimentos técnicos quanto a Economia Circular nos aspectos de sua narrativa, transição, validação, análise do ciclo de vida do produto e conscientização.	(AWASTHI et al., 2022; DE VASS et al., 2023; DOMENECH et al., 2019; GHAZANFARI, 2023a; GHOBADI; SEPASGOZAR, 2023; HOLZER et al., 2023a, 2023b; JARRE et al., 2020; LADU et al., 2020; YANG; ZHU, 2021)
	2. Falta de mão de obra especializada em Economia Circular.	Escassez de mão de obra especializada quanto a aplicação de práticas de Economia Circular no setor madeireiro.	(DE VASS et al., 2023; DOMENECH et al., 2019; GHAZANFARI, 2023b; HOLZER et al., 2023c)
	3. Falta de tecnologias e métodos inertes para separar, purificar e modificar em produtos químicos, combustíveis e novos materiais.	Falta de métodos conhecidos e tecnologias para reaproveitamento de rejeitos/materiais (para a separar, purificar e modificar em novos materiais), para transformar a madeira tratada, ou com presença de adesivo em material inerte. Possibilitando o retorno deste material na cadeia produtiva do mesmo produto ou em outros.	(DE VASS et al., 2023; JARRE et al., 2020; LADU et al., 2020; ZUIN; RAMIN, 2018)
Econômico	4. Incerteza e risco do retorno do investimento a curto prazo.	Alto custo inicial com elementos como renovação de maquinário para reaproveitamento de material, realocação ou troca de fornecedores, criação de novo sistema de distribuição e sistema logístico, recrutamento e treinamento de mão de obra especializada voltados para a transição para Economia Circular. Risco de retorno de investimentos, principalmente no curto prazo.	(DE VASS et al., 2023; DIMIC-MISIC et al., 2019; DOMENECH et al., 2019; GHAZANFARI, 2023b; GHOBADI; SEPASGOZAR, 2023; HOLZER et al., 2023c, 2023b; JARRE et al., 2020)
	5. Falta de recursos financeiros.	Dificuldades de investimentos e/ou financiamentos para a adoção de modelos de negócios circulares.	(AWASTHI et al., 2022; DE VASS et al., 2023; DIMIC-MISIC et al., 2019; DOMENECH et al., 2019; GHAZANFARI, 2023b; HOLZER et al., 2023c, 2023b; PITTI; ESPINOZA; SMITH, 2020)
	6. Incerteza da possibilidade de operar lucrativamente em um Economia Circular de forma perene.	Incerteza se a adoção de princípios dos modelos de Economia Circular será rentável a longo prazo.	(DE VASS et al., 2023; DOMENECH et al., 2019; HOLZER et al., 2023c)

Quadro 4 – Barreiras para EC na indústria madeireira encontrados na literatura (continuação)

Categoria	Barreira	Breve Explicação	Referências
Organizacional	7. Falta de comunicação com as partes interessadas (stakeholders).	Dificuldades de comunicação, colaboração e interação com stakeholders na cadeia de valor.	(GHAZANFARI, 2023a; HOLZER et al., 2023a, 2023d)
	8. Cultura organizacional conservadora.	Cultura organizacional resistente a mudanças dificulta a adoção de ações para a implementação da Economia Circular.	(DE VASS et al., 2023; DIMIC-MISIC et al., 2019; DOMENECH et al., 2019; HOLZER et al., 2023c, 2023b)
Operacional – Supply Chain e infraestrutura	9. Origem e custo de matéria prima virgem, custo de distribuição.	Volatilidade de custos ao longo da cadeia de suprimentos. Como, por exemplo, o preço em períodos de escassez da matéria primas virgens, que consequentemente sofre uma alta, ou até mesmo oferta inexistente no mercado do mesmo; o aumento do custo logístico de distribuição em decorrência da pandemia, guerras, entre outras ocorrências.	(DE VASS et al., 2023; DIMIC-MISIC et al., 2019; DOMENECH et al., 2019; GHOBADI; SEPASGOZAR, 2023; HOLZER et al., 2023c, 2023b; LADU et al., 2020; PITTI; ESPINOZA; SMITH, 2020)
	10. Falta de infraestrutura adequada na cadeia de suprimentos.	Falta de infraestrutura e instalações como Ecopontos, cooperativas para coleta e separação de resíduos de madeira.	(AWASTHI et al., 2022; DE VASS et al., 2023; JARRE et al., 2020)
	11. Falta de espaço para armazenagem.	O volume de matéria prima consumida tende a ocupar espaços grandes, e com a escassez que ocorre periodicamente por longos períodos, demonstra a importância de se ter uma reserva de material e espaço para seu armazenamento. O volume de resíduos gerados em alguns processos de usinagem (como serragem de corte primário, refilo, destopo, aplainamento, usinagem em moldureira, entre outros, gera resíduos como pó de serra, serragem, maravalha, cavaco, etc.) pode ser superior ao volume de matéria prima utilizada. Que após tratamento/reprocessamento ou não, estes rejeitos podem retornar ao processo produtivo. utilizada. Que após nenhum, ou algum processamento pode retornar a cadeia produtiva.	(DOMENECH et al., 2019; JARRE et al., 2020; PITTI; ESPINOZA; SMITH, 2020)
	12. Vulnerabilidade relacionada a crescente falta de recursos florestais.	Vulnerabilidade relacionada às crescentes restrições de recursos florestais devido a desmatamento ao longo prazo.	(DIMIC-MISIC et al., 2019; HOLZER et al., 2023b; JARRE et al., 2020)
	13. Dificuldade em encontrar recicladores para recolher resíduos recicláveis.	Dificuldade em encontrar recicladores para recolher resíduos recicláveis; falta da disponibilização de informações de pontos de coleta de resíduos madeireiros. Além da ausência de uma plataforma centralizada para identificar e compartilhar recursos (classificados como resíduos) que ainda tenham valor reciclável.	(AWASTHI et al., 2022; DE VASS et al., 2023; HOLZER et al., 2023c, 2023b; JARRE et al., 2020)

Quadro 4 – Barreiras para EC na indústria madeireira encontrados na literatura (continuação)

Categoria	Barreira	Breve Explicação	Referências
Mercado/Consumidor	14. Falta de conhecimento/interesse dos clientes (motivação pessoal).	Princípios da Economia Circular ainda são pouco conhecidos pela sociedade. Falta de interesse, conhecimento, habilidades e compromisso ao longo dos atores da cadeia de valor pelos fornecedores, clientes internos e externos por motivação meramente pessoal.	(AWASTHI et al., 2022; DE VASS et al., 2023; GHAZANFARI, 2023b; HOLZER et al., 2023c, 2023b; JARRE et al., 2020; LADU et al., 2020; MICHAL et al., 2021; PITTI; ESPINOZA; SMITH, 2020; YANG; ZHU, 2021)
	15. Ausência de uma cultura ou sociedade verde.	Falta de cultura/sociedade verde, consciente em adquirir produtos ambientalmente corretos ou derivados da Economia Circular (Se difere da anterior por ser uma pressão social e não uma questão pessoal).	(AWASTHI et al., 2022; HOLZER et al., 2023c, 2023b)
	16. Falta de estratégia de marketing eficiente.	Estratégias de marketing insuficiente, que causam confusão ou indiferença em seu público-alvo em relação a Economia Circular.	(DE VASS et al., 2023; HOLZER et al., 2023c, 2023b; JARRE et al., 2020; PITTI; ESPINOZA; SMITH, 2020)
	17. Falta de demanda no mercado por produtos derivados da Economia Circular.	Desconhecimento da demanda de empresas consumidoras que utilizem produtos derivados de processos de indústria madeireira. Tais como madeira de diversas dimensões (tora, tábuas, cavaco, maravalha, fibras, partículas), contaminados, ou não.	(DE VASS et al., 2023; GHAZANFARI, 2023b; HOLZER et al., 2023c, 2023b; JARRE et al., 2020)
Político, governamental e regulatório	18. Ausência de políticas regulatórias.	Ausência de políticas públicas, legislação e regulações que promovam a Economia Circular. Legislação que contemple definições, responsabilidades/ papel de todos os agentes ligados a Economia Circular, tais como governo (gestão municipal, estadual e federal) cadeia produtiva, clientes e consumidores” ou inclusão deste conceito na PNRS (Política Nacional de Resíduos Sólidos).	(DE VASS et al., 2023; GHAZANFARI, 2023b; GHOBADI; SEPASGOZAR, 2023; HOLZER et al., 2023c, 2023b; JARRE et al., 2020; LADU et al., 2020)
	19. Falta de subsídios e incentivos fiscais governamentais.	Ausência de subsídios e incentivos fiscais governamentais que promovam a Economia Circular, como financiamentos de equipamentos; empréstimos, isenção de impostos, etc. Falta de apoio de políticas públicas para desenvolvimento de uma rede de infraestrutura para promoção da Economia Circular (centros de distribuição, estradas e ferrovias, pontos de coleta de resíduos regionais, etc).	(DE VASS et al., 2023; GHAZANFARI, 2023b; HOLZER et al., 2023c, 2023b; JARRE et al., 2020)
	20. Falta de função político-social.	Falta de políticas com função social que auxiliem o apoio a implementação e transição a Economia Circular, como projetos de inclusão social visando incluir grupos desfavorecidos ou marginalizados. Por exemplo, iniciativas que treinam e empregam pessoas em situação de vulnerabilidade para trabalhar em projetos de reciclagem ou upcycling, oferecendo habilidades e oportunidades de emprego ao mesmo tempo em que contribuem para a economia.	(HOLZER et al., 2023c, 2023b)

Fonte: Próprio Autor

3.3 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

A sistematização das barreiras encontradas na literatura especializada, conforme apresentado no Quadro 4, evidencia a complexidade e a natureza multifatorial dos desafios enfrentados pela indústria madeireira na transição para um modelo de EC. As barreiras foram agrupadas em seis categorias principais: técnico/tecnológica, econômica, organizacional, operacional (relacionada à cadeia de suprimentos e infraestrutura), mercado/consumidor e político-regulatória. Esta categorização permite compreender que os obstáculos não se restringem a aspectos internos das empresas, mas abrangem também fatores estruturais externos, sistêmicos e culturais.

No eixo técnico-tecnológico, destacam-se a carência de conhecimento específico sobre EC, a falta de mão de obra qualificada e a ausência de tecnologias adequadas para reaproveitamento de resíduos complexos, como os materiais tratados ou colados. Essa lacuna tecnológica compromete a reinserção eficiente de resíduos na cadeia produtiva, limitando o potencial da circularidade (AWASTHI et al., 2022; DE VASS et al., 2023; JARRE et al., 2020). Observa-se que, sem avanço técnico e capacitação especializada, o setor permanece dependente de práticas lineares tradicionais.

As barreiras econômicas revelam a fragilidade da estrutura de financiamento e o alto risco percebido na adoção de práticas circulares. A ausência de capital disponível, aliada à incerteza quanto ao retorno financeiro de tais investimentos, especialmente no curto prazo, desencoraja a implementação de modelos de negócio circulares (DIMIC-MISIC et al., 2019; HOLZER et al., 2023b). Essa percepção é agravada pela falta de garantias de mercado para produtos provenientes de ciclos circulares.

No campo organizacional, a resistência à mudança e a cultura empresarial conservadora ainda prevalecem como impeditivos significativos. A baixa comunicação com stakeholders e a ausência de práticas colaborativas dificultam o alinhamento entre os diversos elos da cadeia de valor, o que compromete iniciativas de simbiose industrial ou de logística reversa (DOMENECH et al., 2019; HOLZER et al., 2023c).

As barreiras operacionais e infraestruturais também são expressivas, com destaque para a escassez de espaços físicos para armazenagem, ausência de infraestrutura adequada para coleta e triagem de resíduos, e vulnerabilidades ligadas ao abastecimento de matéria-prima florestal (PITTI; ESPINOZA; SMITH, 2020; LADU et al., 2020). Além disso, a dificuldade em localizar recicladores ou pontos de coleta especializados demonstra a falta de estrutura e de mecanismos de integração entre oferta e demanda de subprodutos madeireiros.

Em relação ao mercado e ao consumidor, observa-se uma combinação de desinformação, desinteresse e ausência de cultura verde, tanto por parte dos consumidores quanto de atores intermediários da cadeia. A fraca demanda por produtos oriundos de práticas circulares e a carência de estratégias de marketing eficazes impedem a valorização comercial desses produtos, o que reforça a visão de que a circularidade ainda não é vista como diferencial competitivo (GHAZANFARI, 2023b; YANG; ZHU, 2021; DE VASS et al., 2023).

No campo político-regulatório apresenta barreiras estruturantes de grande relevância. A ausência de políticas públicas específicas, incentivos fiscais, subsídios e infraestrutura de suporte impossibilita a criação de um ambiente favorável à transição. Além disso, a carência de políticas com função social vinculadas à EC — como projetos de inclusão produtiva baseados em reciclagem ou *upcycling* — limita o alcance da circularidade como instrumento de desenvolvimento sustentável mais amplo (HOLZER et al., 2023c; JARRE et al., 2020).

Essas barreiras, muitas vezes interconectadas e mutuamente reforçadoras, reforçam a necessidade de uma abordagem sistêmica, envolvendo inovação tecnológica, desenho de políticas públicas robustas, articulação da cadeia de valor e educação ambiental. A superação desses entraves requer ação coordenada entre governo, setor privado e sociedade civil, consolidando a Economia Circular como estratégia viável e estruturante para o futuro da indústria madeireira.

CAPÍTULO 4 – ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

A análise bibliométrica tem se consolidado como uma metodologia rigorosa e amplamente utilizada para examinar grandes volumes de dados científicos de forma sistemática e estruturada. Sua aplicação permite compreender a evolução de um campo de estudo, identificar tendências emergentes, lacunas do conhecimento e mapear as relações intelectuais entre os principais autores, temas e instituições que compõem determinado corpo teórico (DONTHU et al., 2021).

No contexto da Economia Circular na indústria madeireira — campo multidisciplinar que envolve sustentabilidade, bioeconomia e inovação industrial — a bibliometria se mostra particularmente útil. Isso se deve à sua capacidade de sintetizar quantitativamente o progresso do conhecimento, evidenciar a formação de núcleos temáticos por meio de redes de coocorrência de palavras-chave e permitir a geração de clusters que indicam campos de interesse recorrente e conexões conceituais relevantes.

Com o apoio de ferramentas como o *VOSviewer*, torna-se possível realizar mapeamentos científicos visuais que destacam a densidade, centralidade e proximidade entre termos, autores e publicações. Dessa forma, a bibliometria não apenas serve como um instrumento de revisão da literatura, mas também como um ponto de partida estratégico para delimitar lacunas e guiar investigações futuras em temas-chave da sustentabilidade industrial (DONTHU et al., 2021).

O Capítulo 4 desta dissertação apresenta, portanto, a análise bibliométrica realizada com o objetivo de estruturar a base teórica do estudo, identificar as barreiras à transição para a Economia Circular no setor madeireiro e sustentar a etapa seguinte do estudo empírico. Inicialmente, detalha-se a metodologia aplicada na análise (Seção 4.1), seguida da apresentação e discussão dos principais resultados, incluindo a rede de coocorrência de palavras-chave (Seção 4.2.1) e os agrupamentos (clusters) temáticos resultantes (Seção 4.2.2). Por fim, a Seção 4.3 oferece uma síntese interpretativa das descobertas, destacando as contribuições e direcionamentos estratégicos revelados pela análise bibliométrica.

4.1 METODOLOGIA DA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Com o objetivo de compreender a estrutura temática da literatura científica referente à EC aplicada à indústria madeireira, realizou-se uma análise bibliométrica com suporte do *software VOSviewer* (versão 1.6.19). Essa ferramenta é amplamente reconhecida na literatura por sua capacidade de identificar redes de coocorrência e estruturar mapas de similaridade entre termos relevantes (THOMÉ et al., 2016).

A base documental utilizada foi composta pelos 25 artigos previamente selecionados na etapa de Revisão Sistemática da Literatura, os quais apresentavam discussões explícitas sobre barreiras à implementação da EC no setor madeireiro. A análise bibliométrica teve como foco principal a coocorrência de palavras-chave, considerando-se como critério de associação aquelas que aparecem conjuntamente em pelo menos dois artigos.

O processo metodológico seguiu as seguintes etapas: (i) extração dos dados bibliográficos (título, resumo, palavras-chave e referências) dos artigos selecionados; (ii) padronização dos termos para eliminar redundâncias ou variações linguísticas; (iii) geração do mapa de coocorrência com base no método de associação de força; e (iv) aplicação do algoritmo de modularidade de *Louvain* para formação automática dos clusters.

A visualização da rede de coocorrência foi configurada para representar, por meio de círculos, as palavras-chave com maior frequência nos artigos. O tamanho dos círculos corresponde ao número de ocorrências, enquanto a proximidade entre eles representa a força de associação. As cores indicam os diferentes grupos (clusters) de termos, gerados a partir da frequência e intensidade de coocorrência. Os agrupamentos de palavras-chave foram posteriormente interpretados à luz do referencial teórico da economia circular e da sustentabilidade industrial.

4.2 RESULTADOS DA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

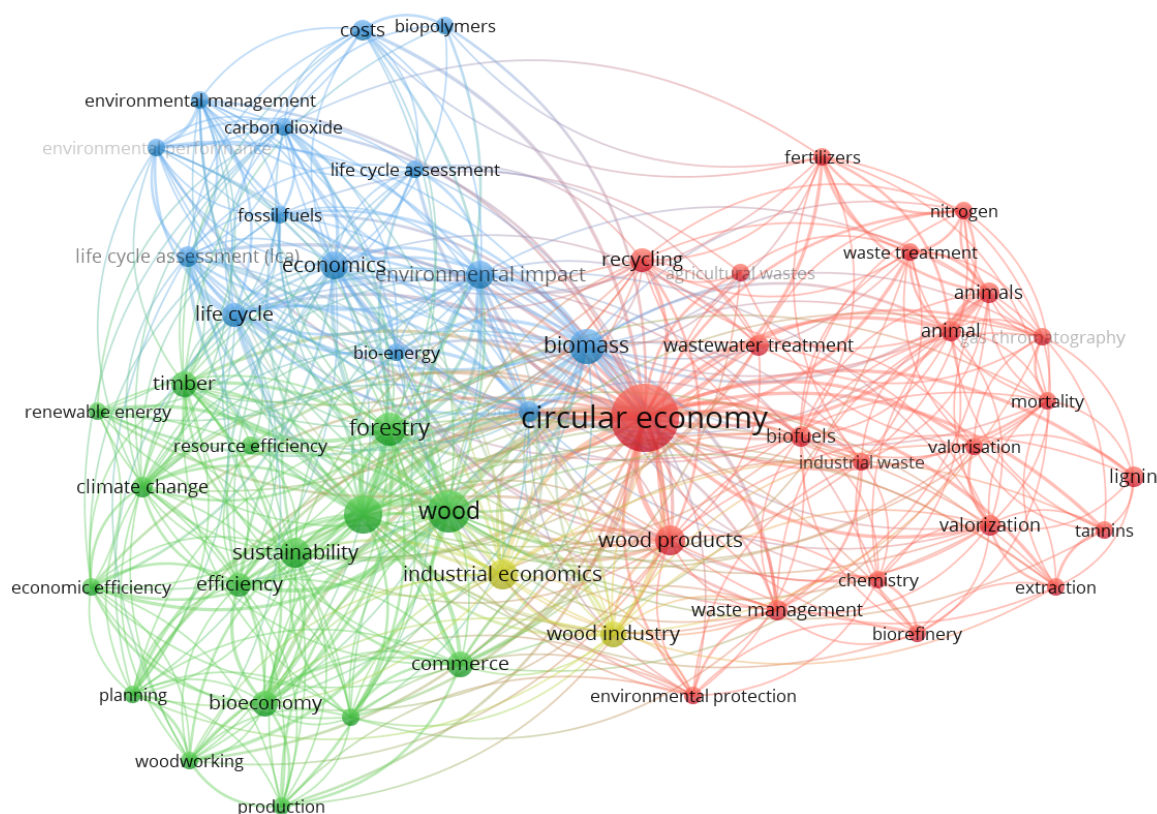
A análise bibliométrica permitiu identificar áreas temáticas emergentes na literatura científica analisada, por meio da construção de um mapa de coocorrência

de palavras-chave e da formação de clusters temáticos. Esses resultados fornecem insights relevantes para a compreensão das principais abordagens e lacunas que permeiam a discussão sobre a EC na indústria madeireira.

A Figura 11 apresenta a rede de coocorrência de palavras-chave, na qual se observa a organização de termos centrais e periféricos em função de sua frequência de aparecimento e conexões. Na sequência, a Tabela 1 apresenta os agrupamentos temáticos (clusters) identificados, acompanhados de interpretações analíticas sobre os tópicos predominantes em cada grupo.

4.2.1 Rede de Coocorrência de Palavras-chave

Figura 11 – Rede de coocorrência de palavras-chave



Fonte: Próprio autor

A Figura 11 representa a estrutura relacional das palavras-chave extraídas dos artigos analisados. Termos como “circular economy”, “bioeconomy”, “waste management”, “life cycle assessment” e “wood products” destacaram-se como

centrais, indicando sua recorrência e interconectividade com múltiplos tópicos dentro do corpus analisado. A configuração visual demonstrou a existência de quatro núcleos temáticos bem definidos, reforçando a segmentação e especialização da literatura.

4.2.2 Agrupamentos de Palavras-chave

A Tabela 1 apresenta os clusters identificados pelo algoritmo de modularidade do VOSviewer, agrupando as palavras-chave em núcleos conceituais com base na frequência e força de associação. A interpretação dos clusters permite compreender os focos predominantes dos estudos, oferecendo uma base sólida para aprofundar a análise das barreiras à EC no setor madeireiro.

Tabela 1 – Agrupamento de palavras-chave por cluster temático

Cluster	Palavras-chave
<i>Cluster 1 (23 itens)</i>	<i>“Agricultural waste”, “animal”, “animals”, “biofuels”, “biorefinery”, “chemistry”, “circular economy”, “environmental protection”, “extraction”, “fertilizers”, “gas chromatography”, “industrial waste”, “lignin”, “mortality”, “nitrogen”, “recycling”, “tannins”, “valorisation”, “valorization”, “waste management”, “waste treatment”, “wastewater treatment”, “wood products”.</i>
<i>Cluster 2 (16 itens)</i>	<i>“Bioeconomy”, “climate change”, “commerce”, “economic and social effects”, “economic efficiency”, “efficiency”, “forestry”, “planning”, “production”, “renewable energy”, “resource efficiency”, “sustainability”, “sustainable development”, “timber”, “wood”, “woodworking”.</i>
<i>Cluster 3 (14 itens)</i>	<i>“Bio-energy”, “bioenergy”, “biomass”, “biopolymers”, “carbon dioxide”, “costs”, “economics”, “environmental impact”, “environmental management”, “environmental performance”, “fossil fuels”, “life cycle”, “life cycle assessment”, “life cycle assessment (lca)”.</i>
<i>Cluster 4 (2 itens)</i>	<i>“Industrial economics”, “woodindustry”.</i>

Fonte: Próprio Autor

O Cluster 1 revela uma ênfase na gestão e valorização de resíduos agrícolas e industriais, bem como na reciclagem e reaproveitamento de biomassa. Trata-se de um núcleo voltado à operacionalização da EC por meio da valorização de subprodutos com potencial energético ou químico. Enquanto o Cluster 2 integra

elementos de planejamento econômico, eficiência produtiva e sustentabilidade florestal, refletindo a interface entre bioeconomia e EC como estratégias complementares. O Cluster 3 concentra-se em indicadores ambientais e econômicos associados à transição energética, com destaque para a aplicação de análise de ciclo de vida (LCA) como ferramenta de mensuração da sustentabilidade.

Por fim, o Cluster 4 apresenta foco mais restrito, centrado na interseção entre economia industrial e práticas sustentáveis na indústria madeireira, sinalizando um campo ainda em formação na literatura.

4.3 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

A análise bibliométrica realizada com o apoio do *VOSviewer* permitiu mapear os principais temas abordados na literatura científica sobre Economia Circular aplicada à indústria madeireira, revelando quatro clusters temáticos distintos. A concentração de termos relacionados à gestão de resíduos, bioeconomia, avaliação ambiental e economia industrial demonstra a diversidade e a transversalidade do tema. Os resultados evidenciam que, embora a EC seja um conceito amplamente presente, sua aplicação à realidade industrial da madeira ainda é abordada de maneira fragmentada. A formação dos clusters mostra áreas de maturidade conceitual — como a valorização de resíduos e o uso de LCA —, ao passo que outras, como a integração econômica e industrial da circularidade na cadeia madeireira, ainda carecem de aprofundamento.

Assim, a análise contribui para identificar lacunas de conhecimento, orientar futuras pesquisas e fornecer uma base estruturada para o desenvolvimento de estratégias de transição circular no setor. Os achados aqui apresentados fortalecem a fundamentação teórica do presente estudo, que se propõe a identificar e priorizar as barreiras à EC na indústria madeireira.

CAPÍTULO 5 – APLICAÇÃO DO *SURVEY FUZZY DELPHI*

Este capítulo apresenta a etapa de pesquisa aplicada, cujo foco foi a análise das barreiras previamente identificadas para a implementação da EC na indústria madeireira. Inicialmente, foram sistematizados os elementos de implementação extraídos das etapas anteriores, os quais compuseram a base para a formulação do questionário submetido à avaliação dos especialistas. Na sequência, detalha-se a metodologia adotada para a aplicação do estudo empírico, com ênfase na justificativa da escolha pelo método *Fuzzy Delphi* e na descrição de suas etapas operacionais. Também é realizada a caracterização do perfil dos especialistas participantes e a apresentação do processo de condução da pesquisa. Na Seção 5.3.1, são expostos os resultados obtidos a partir das respostas ao questionário, incluindo o tratamento dos dados via *Fuzzy Delphi* e a análise das questões abertas.

5.1 ELEMENTOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO QUESTIONÁRIO *SURVEY*

A Tabela 2 apresenta as barreiras para transição a EC na indústria madeireira formuladas com base no resultado da RSL e a identificação utilizada neste estudo.

Tabela 2 – Barreiras a transição para EC na indústria madeireira

Identificação	Barreira
B1	Falta de informações, conhecimentos técnicos e de tecnologias.
B2	Falta de mão de obra especializada em Economia Circular.
B3	Falta de tecnologias e métodos inertes para separar, purificar e modificar em produtos químicos, combustíveis e novos materiais.
B4	Incerteza e risco do retorno do investimento a curto prazo.
B5	Falta de recursos financeiros.
B6	Incerteza da possibilidade de operar lucrativamente em um Economia Circular de forma perene.
B7	Falta de comunicação com as partes interessadas (stakeholders).
B8	Cultura organizacional conservadora.
B9	Origem e custo de matéria prima virgem, custo de distribuição.

Tabela 2 – Barreiras a transição para EC na indústria madeireira (continuação)

Identificação	Barreira
B10	Falta de infraestrutura adequada na cadeia de suprimentos.
B11	Falta de espaço para armazenagem.
B12	Vulnerabilidade relacionada a crescente falta de recursos florestais.
B13	Dificuldade em encontrar recicladores para recolher resíduos recicláveis.
B14	Falta de conhecimento/interesse dos clientes (motivação pessoal).
B15	Ausência de uma cultura ou sociedade verde.
B16	Falta de estratégia de marketing eficiente.
B17	Falta de demanda no mercado por produtos derivados da Economia Circular.
B18	Ausência de políticas regulatórias.
B19	Falta de subsídios e incentivos fiscais governamentais.
B20	Falta de função político-social.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.1 Apresentação do questionário *survey*

Abaixo na Tabela 3, é apresentado o questionário *survey* enviado aos especialistas, com um texto introdutório para contextualização do tema abordado.

QUESTIONÁRIO DIRECIONADO A ESPECIALISTAS

Título: Barreiras para a transição à Economia Circular na indústria madeireira.

Apresentação do questionário:

O presente questionário integra uma pesquisa acadêmica de mestrado que visa identificar as barreiras à transição para a Economia Circular na indústria madeireira.

As informações coletadas serão utilizadas exclusivamente para fins acadêmicos, sendo garantido o sigilo da identidade dos respondentes e das empresas participantes.

Esta pesquisa levará entre 5 a 10 minutos para ser concluída.

Segundo o site da Fundação Ellen MacArthur, na economia atual o processo é linear. Extraímos materiais do meio ambiente, transformamos em produtos, e no final os descartamos como resíduos. Em contraste, na economia circular, evita-se produzir resíduos desde o início.

De acordo com o guia de implementação de Economia Circular da ABNT NBR ISO 59004: 2024, a Economia Circular é um sistema econômico que visa manter os recursos em um fluxo contínuo, recuperando, retendo ou agregando valor a eles, enquanto promove o desenvolvimento sustentável.

Ela busca reduzir o uso de recursos virgens, minimizar resíduos e impactos ambientais e prolongar a vida útil de materiais e produtos, criando um ciclo de uso eficiente e duradouro

Desta forma, a pesquisa tem como proposta responder a seguinte questão:

“Quais as principais barreiras para a transição a uma Economia Circular na Indústria Madeireira?”

Classifique de acordo com seu conhecimento e vivência a importância das barreiras levantadas abaixo.

Considere a resposta na escala a seguir:

1 - Sem importância | 2 - Pouco Importante | 3 - Moderadamente Importante
| 4 - Importante | 5 - Muito Importante

OBSERVAÇÃO IMPORTANTE: Embora seja fundamental indicar a percepção genuína sobre as barreiras, sugerimos evitar concentrar a maioria das respostas nas extremidades da escala (1 ou 5), pois isso pode impactar a validade estatística das respostas. A diversidade nas respostas refletirá de maneira mais precisa a sua percepção.

Identificação do especialista:

- E-mail;
- Nome;

- Empresa;
- Cargo;
- Tempo de experiência relacionado a sustentabilidade, meio ambiente e indústria madeireira.

Tabela 3 – Questionário das Barreiras da Economia Circular.

	1 - Sem importância	2 - Pouco Importante	3 - Moderadamente Importante	4 - Importante	5 - Muito Importante
BARREIRAS DA ECONOMIA CIRCULAR					
1. Falta de informações, conhecimentos técnicos e de tecnologias. Descrição: Falta informações e conhecimentos técnicos quanto a Economia Circular nos aspectos de sua narrativa, transição, validação, análise do ciclo de vida do produto e conscientização.					
2. Falta de mão de obra especializada em Economia Circular. Descrição: Escassez de mão de obra especializada quanto a aplicação de práticas de Economia Circular no setor madeireiro.					
3. Falta de tecnologias e métodos inertes para separar, purificar e modificar em produtos químicos, combustíveis e novos materiais. Descrição: Falta de métodos conhecidos e tecnologias para reaproveitamento de rejeitos/materiais (para a separar, purificar e modificar em novos materiais), para transformar a madeira tratada, ou com presença de adesivo em material inerte. Possibilitando o retorno deste material na cadeia produtiva do mesmo produto ou em outros.					
4. Incerteza e risco do retorno do investimento a curto prazo. Descrição: Alto custo inicial com elementos como renovação de maquinário para reaproveitamento de material, realocação ou troca de fornecedores, criação de novo sistema de distribuição e sistema logístico, recrutamento e treinamento de mão de obra especializada voltados para a transição para Economia Circular. Risco de retorno de investimentos, principalmente no curto prazo.					
5. Falta de recursos financeiros. Descrição: Dificuldades de investimentos e/ou financiamentos para a adoção de modelos de negócios circulares.					
6. Incerteza da possibilidade de operar lucrativamente em um Economia Circular de forma perene.					

Descrição: Incerteza se a adoção de princípios dos modelos de Economia Circular será rentável a longo prazo.					
7. Falta de comunicação com as partes interessadas (stakeholders). Descrição: Dificuldades de comunicação, colaboração e interação com stakeholders na cadeia de valor.					
8. Cultura organizacional conservadora. Descrição: Cultura organizacional resistente a mudanças dificulta a adoção de ações para a implementação da Economia Circular.					
9. Origem e custo de matéria prima virgem, custo de distribuição. Descrição: Volatilidade de custos ao longo da cadeia de suprimentos. Como, por exemplo, o preço em períodos de escassez da matéria primas virgens, que consequentemente sofre uma alta, ou até mesmo oferta inexistente no mercado do mesmo; o aumento do custo logístico de distribuição em decorrência da pandemia, guerras, entre outras ocorrências.					
10. Falta de infraestrutura adequada na cadeia de suprimentos. Descrição: Falta de infraestrutura e instalações como Ecopontos, cooperativas para coleta e separação de resíduos de madeira.					
11. Falta de espaço para armazenagem. Descrição: O volume de matéria prima consumida tende a ocupar espaços grandes, e com a escassez que ocorre periodicamente por longos períodos, demonstra a importância de se ter uma reserva de material e espaço para seu armazenamento. O volume de resíduos gerados em alguns processos de usinagem (como serragem de corte primário, refilo, destopo, aplainamento, usinagem em moldureira, entre outros, gera resíduos como pó de serra, serragem, maravalha, cavaco, etc.) pode ser superior ao volume de matéria prima utilizada. Que após tratamento/reprocessamento ou não, estes rejeitos podem retornar ao processo produtivo.					
12. Vulnerabilidade relacionada a crescente falta de recursos florestais. Descrição: Vulnerabilidade relacionada às crescentes restrições de recursos florestais devido a desmatamento ao longo prazo.					
13. Dificuldade em encontrar recicladores para recolher resíduos recicláveis. Descrição: Dificuldade em encontrar recicladores para recolher resíduos recicláveis; falta da disponibilização de informações de pontos de coleta de resíduos madeireiros. Além da ausência de uma plataforma centralizada para identificar e compartilhar recursos (classificados como resíduos) que ainda tenham valor reciclável.					
14. Falta de conhecimento/interesse dos clientes (motivação pessoal). Descrição: Princípios da Economia Circular ainda são pouco conhecidos pela sociedade. Falta de interesse, conhecimento, habilidades e compromisso ao longo dos atores da cadeia de valor pelos fornecedores, clientes internos e externos por motivação meramente pessoal.					
15. Ausência de uma cultura ou sociedade verde. Descrição: Falta de cultura/sociedade verde, consciente em adquirir produtos ambientalmente corretos ou derivados da Economia Circular (Se difere da anterior por ser uma pressão social e não uma questão pessoal).					

16. Falta de estratégia de marketing eficiente. Descrição: Estratégias de marketing insuficiente, que causam confusão ou indiferença em seu público-alvo em relação a Economia Circular.					
17. Falta de demanda no mercado por produtos derivados da Economia Circular. Descrição: Desconhecimento da demanda de empresas consumidoras que utilizem produtos derivados de processos de indústria madeireira. Tais como madeira de diversas dimensões (tora, tábua, cavaco, maravalha, fibras, partículas), contaminados, ou não.					
18. Ausência de políticas regulatórias. Descrição: Ausência de políticas públicas, legislação e regulações que promovam a Economia Circular. Legislação que contemple definições, responsabilidades/ papel de todos os agentes ligados a Economia Circular, tais como governo (gestão municipal, estadual e federal) cadeia produtiva, clientes e consumidores” ou inclusão deste conceito na PNRS (Política Nacional de Resíduos Sólidos).					
19. Falta de subsídios e incentivos fiscais governamentais. Descrição: Ausência de subsídios e incentivos fiscais governamentais que promovam a Economia Circular, como financiamentos de equipamentos; empréstimos, isenção de impostos, etc. Falta de apoio de políticas públicas para desenvolvimento de uma rede de infraestrutura para promoção da Economia Circular (centros de distribuição, estradas e ferrovias, pontos de coleta de resíduos regionais, etc.					
20. Falta de função político-social. Descrição: Falta de políticas com função social que auxiliam o apoio a implementação e transição a Economia Circular, como projetos de inclusão social visando incluir grupos desfavorecidos ou marginalizados. Por exemplo, iniciativas que treinam e empregam pessoas em situação de vulnerabilidade para trabalhar em projetos de reciclagem ou <i>upcycling</i> , oferecendo habilidades e oportunidades de emprego ao mesmo tempo em que contribuem para a economia.					

Questão aberta:

Existem outras barreiras associadas a esta categoria que não foram mencionadas? Em caso afirmativo, por favor, cite e classifique-as em uma escala de 1 a 5, sendo 1- sem importância a 5 - muito importa

5.2 METODOLOGIA FUZZY DELPHI

5.2.1 Justificativa pela escolha do método

Para a condução da análise de dados optou-se pela aplicação do método *Fuzzy Delphi*. Tal escolha se justifica por sua reconhecida capacidade de lidar com incertezas inerentes ao julgamento de especialistas, característica particularmente relevante em estudos de natureza exploratória com abordagem qualitativa-quantitativa, como é o caso das pesquisas *survey*. Segundo Bui et al. (2020), o método contribui significativamente para a melhoria da qualidade das análises, ao permitir a obtenção de consenso entre especialistas com diferentes perspectivas e níveis de experiência. Complementarmente, Liu e Wang (2009) destacam que a técnica possibilita a redução do número de iterações necessárias e acelera o processo de convergência de opiniões.

A aplicabilidade do método *Fuzzy Delphi* para esta pesquisa é corroborada por sua utilização em estudos anteriores com objetivos similares. Por exemplo, Hsu, Lee e Kreng (2010) e Stefano, Casarotto Filho e Duarte (2014) empregaram a abordagem para a seleção de fatores críticos de decisão. Em outra vertente, autores como Bouzon et al. (2016), Dong e Huo (2017) e Bui et al. (2020) utilizaram o método com êxito para identificar barreiras à implementação de práticas gerenciais, enquanto Liu e Wang (2009) o aplicaram na definição de critérios de avaliação em ambientes complexos.

Dessa forma, observa-se que o método *Fuzzy Delphi* se mostra plenamente adequado aos objetivos desta pesquisa, uma vez que permite a sistematização e hierarquização de barreiras com base na opinião estruturada de especialistas, promovendo resultados robustos e coerentes. A seção seguinte apresenta a descrição detalhada da aplicação do método no contexto deste estudo.

5.2.2 Método *Fuzzy Delphi*

O método *Fuzzy Delphi* é resultado da evolução metodológica do tradicional *Delphi*, originalmente concebido por Dalkey e Helmer (1963), sendo posteriormente aprimorado pela incorporação dos princípios da lógica *fuzzy*, conforme a teoria dos conjuntos difusos proposta por Zadeh (1965). A integração dessas duas abordagens foi introduzida por Kaufmann e Gupta (1988) e, mais tarde, sistematizada por Ishikawa et al. (1993), com o intuito de superar limitações como a baixa taxa de

convergência entre os especialistas e os elevados custos operacionais de rodadas sucessivas (GALO, 2018).

A principal contribuição do método *Fuzzy Delphi* consiste na capacidade de capturar, com maior fidelidade, a incerteza e a subjetividade presentes nos julgamentos humanos, algo que métodos puramente quantitativos não conseguem representar com precisão (BOUZON et al., 2016). Isso é particularmente relevante quando se trata de questões complexas e multidimensionais, como as barreiras à transição para a EC na indústria madeireira. Nesses contextos, o conhecimento dos especialistas é muitas vezes baseado em experiências tácitas e percepções qualitativas. A lógica *fuzzy* permite traduzir essas percepções em intervalos linguísticos que podem ser matematicamente tratados, preservando a riqueza do julgamento humano (BUI et al., 2020).

Adicionalmente, o método apresenta vantagens práticas, como a redução do número de iterações necessárias para obtenção do consenso e a diminuição do tempo total de coleta e análise dos dados, o que o torna uma alternativa metodológica eficaz para estudos que envolvem múltiplos critérios de decisão (STEFANO; CASAROTTO FILHO; DUARTE, 2014; BUI et al., 2020).

A aplicação do método *Fuzzy Delphi* segue uma sequência estruturada de etapas, descritas por diversos autores (KUO; CHEN, 2008; HABIBI; JAHANTIGH; SARAFRAZI, 2015; GALO, 2018), e adaptadas para o contexto deste estudo, conforme detalhado nas etapas a seguir.

Etapas 1: A etapa inicial da aplicação do método *Fuzzy Delphi* consiste na definição do espectro de *fuzzificação* das expressões linguísticas utilizadas para captar os julgamentos dos especialistas. Para tal finalidade, faz-se necessário converter as avaliações qualitativas em números *fuzzy*, os quais permitem representar a subjetividade inerente às preferências humanas. Dentre as diversas formas de números *fuzzy*, os mais amplamente empregados na literatura são os números triangulares e trapezoidais. Neste estudo, optou-se pela utilização de números *fuzzy* triangulares, em função de sua simplicidade computacional e ampla adoção em pesquisas similares (KUO; CHEN, 2008; BOUZON et al., 2016).

A escala adotada neste trabalho baseia-se na tradicional escala de *Likert* com cinco pontos, que contempla cinco termos linguísticos para representar os níveis

de concordância dos especialistas. Tal configuração permite o balanceamento entre detalhamento da percepção e facilidade de análise. A Tabela 4 apresenta a escala linguística selecionada para esta pesquisa.

Tabela 4 – Escala Likert de 5 pontos em termos linguísticos para números *fuzzy* triangulares

Sem Importância	Pouco Importante	Moderadamente Importante	Importante	Muito Importante
(0; 0; 0,25)	(0; 0,25; 0,5)	(0,25; 0,5; 0,75)	(0,5; 0,75; 1)	(0,75; 1; 1)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Etapla 2: Para a aplicação do método, torna-se necessário constituir um painel de especialistas qualificados, cuja experiência esteja diretamente relacionada ao objeto de estudo. Cada especialista é convidado a atribuir um grau de importância ou de concordância a cada critério pertencente ao conjunto S , conforme a escala linguística previamente definida. A partir dessas respostas, obtém-se, para cada critério $i \in S$, a avaliação individual fornecida por cada especialista k , representada por um número *fuzzy* triangular $R_{ik} = (l_{ik}, m_{ik}, u_{ik})$, onde l_{ik}, m_{ik}, u_{ik} correspondem, respectivamente, ao limite inferior, valor modal (mais provável) e limite superior da percepção do especialista sobre aquele critério.

Essa modelagem permite capturar a imprecisão inerente aos julgamentos humanos, proporcionando uma representação mais realista e abrangente do conhecimento tácito dos especialistas (BOUZON et al., 2016; BUI et al., 2020). O conjunto das avaliações *fuzzy* assim obtidas constitui a base para as etapas subsequentes de agregação e análise do consenso no processo decisório.

Etapla 3: Uma vez coletadas as respostas do painel de especialistas por meio do questionário estruturado, é necessário organizar os dados e proceder com a agregação das opiniões individuais. Esse processo visa consolidar, para cada critério i , um único número *fuzzy* triangular agregado $O_{ik} = (L_{ik}, M_{ik}, U_{ik})$, que representa de forma sintetizada o consenso coletivo obtido.

A literatura especializada apresenta diferentes estratégias para a realização dessa agregação. A abordagem mais comumente utilizada consiste na média aritmética simples dos valores extremos e modais fornecidos por cada

especialista k , conforme expressa a Equação 1 (KUO; CHEN, 2008; BOUZON et al., 2016):

$$O_i = \left(\frac{\sum l_{ik}}{k}, \frac{\sum m_{ik}}{k}, \frac{\sum u_{ik}}{k} \right) \quad (1)$$

Alternativamente, uma segunda abordagem combina a utilização do menor valor mínimo (inferior), da média aritmética dos valores modais e do maior valor superior dentre as respostas, conforme a Equação 2:

$$O_i = \left(\min[l_{ik}], \frac{\sum m_{ik}}{k}, \max[u_{ik}] \right) \quad (2)$$

Por fim, outra técnica documentada na literatura sugere a aplicação da média geométrica para os valores modais, mantendo-se o menor valor mínimo e o maior valor máximo como limites inferior e superior do intervalo *fuzzy*, respectivamente. Esta forma é apresentada na Equação 3:

$$O_i = \left(\min[l_{ik}], [\prod_1^k m_{ik}]^{1/k}, \max[u_{ik}] \right) \quad (3)$$

A escolha do método de agregação dos julgamentos dos especialistas no contexto do método *Fuzzy Delphi* considerou os objetivos específicos da pesquisa e o grau de sensibilidade desejado frente à dispersão das opiniões. Dentre as alternativas existentes, os métodos que utilizam os valores mínimos e máximos para compor os limites inferior e superior dos números *fuzzy* possibilitam captar a maior variabilidade nas percepções dos respondentes. No entanto, essa abordagem apresenta uma limitação importante: uma única opinião extrema — seja ela demasiadamente otimista ou pessimista — pode distorcer significativamente o resultado agregado, comprometendo a representatividade do consenso obtido (HABIBI; JAHANTIGH; SARAFRAZI, 2015).

Considerando essa limitação e visando garantir maior robustez estatística ao processo de análise das barreiras à implementação da Economia Circular na indústria madeireira, optou-se nesta pesquisa pela utilização da média aritmética simples como método de agregação das avaliações individuais. Esta abordagem proporciona um equilíbrio adequado entre fidelidade às opiniões dos especialistas e controle sobre eventuais distorções oriundas de valores extremos, sendo amplamente

reconhecida na literatura por sua eficácia e simplicidade operacional (KUO; CHEN, 2008; BOUZON et al., 2016).

Etapla 4: Concluída a etapa de agregação das avaliações individuais dos especialistas, torna-se necessário realizar a etapa de *desfuzzificação*, cujo objetivo é converter os números *fuzzy* triangulares agregados em valores numéricos únicos, denominados números *crisp* (Z_i) que possibilitam a interpretação e ordenação dos critérios analisados. A literatura especializada apresenta diversos métodos de *desfuzzificação*, variando em complexidade e precisão, a depender do propósito analítico e do nível de sensibilidade desejado.

Entre as abordagens amplamente referenciadas, destaca-se o procedimento sugerido por Habibi, Jahantigh e Sarafrazi (2015), que propõem a utilização de uma média ponderada simples das três componentes do número *fuzzy* triangular, conforme expresso na Equação (4):

$$Z_i = \text{máx}(x_m^1, x_m^2, x_m^3) \quad (4)$$

Sendo os valores de x_m^1, x_m^2, x_m^3 :

$$x_m^1 = \frac{L_i + M_i + U_i}{3} \quad (5)$$

$$x_m^2 = \frac{L_i + 2M_i + U_i}{4} \quad (6)$$

$$x_m^3 = \frac{L_i + 4M_i + U_i}{6} \quad (7)$$

Outra técnica amplamente discutida na literatura é o método do Centro de Área (Center of Area – COA), que estima o valor *crisp* com base no equilíbrio geométrico da função de pertinência triangular, conforme expressa a Equação (8):

$$Z_i = \frac{(U_i - L_i) + (M_i - L_i)}{3} + L_i \quad (8)$$

Entretanto, considerando os objetivos desta pesquisa e as recomendações metodológicas para análise de consenso, adotou-se o método proposto por Habibi, Jahantigh e Sarafrazi (2015) para a etapa de *desfuzzificação*, por sua adequação na

representação dos julgamentos em contextos com elevada subjetividade e dispersão de percepções.

Etapla 5: Na etapa final da aplicação do método Fuzzy Delphi, os valores *crisp* (Z_i) obtidos a partir da *desfuzzificação* devem ser analisados com o intuito de identificar os critérios considerados relevantes pelos especialistas. Para isso, é adotado um procedimento de filtragem com base em um limite de corte, denominado α . Tal limiar funciona como um parâmetro discriminatório, de forma que, para todo critério i , se $Z_i \geq \alpha$, considera-se que o elemento de implementação avaliado é importante e, portanto, deve ser mantido no conjunto de fatores críticos. Por outro lado, quando $Z_i < \alpha$, entende-se que o critério possui baixa significância relativa e, consequentemente, deve ser excluído da análise final.

A literatura apresenta diferentes estratégias para a definição do valor de α , variando conforme a natureza do problema e o nível de rigor desejado. Uma abordagem amplamente empregada, e adotada neste estudo, é a proposta por Bui et al. (2020), que sugere definir o valor de corte com base na média aritmética simples dos valores *crisp* Z_i , conforme expressa a Equação (9):

$$\alpha = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k Z_i \quad (9)$$

Essa abordagem permite estabelecer um limiar dinâmico, ajustado à distribuição das percepções dos especialistas, e contribui para uma filtragem equilibrada entre critérios relevantes e irrelevantes, evitando arbitrariedades. Assim, neste trabalho, foram considerados como barreiras significativas apenas aqueles elementos cuja pontuação *crisp* (Z_i) superou ou igualou o valor do limite α .

A aplicação de um limite α para seleção dos critérios relevantes no método Fuzzy Delphi pode seguir diferentes abordagens metodológicas. Como apresentado anteriormente, uma alternativa consiste em adotar a média dos valores *crisp* Z_i como parâmetro de corte, conforme sugerido por Bui et al. (2020). Nesse caso, todos os critérios com pontuação inferior à média são descartados, enquanto aqueles com $Z_i \geq \alpha$ são considerados relevantes para o objetivo da pesquisa.

Outra metodologia de filtragem é proposta por Manakandan et al. (2017), a qual incorpora uma análise mais criteriosa da convergência das opiniões dos

especialistas. Nessa abordagem, um critério é aceito apenas se atender simultaneamente a três condições, sendo a primeira delas a verificação da consistência entre as avaliações individuais e o valor agregado do grupo. Para isso, calcula-se a distância $d_{ik}(O, R)$ entre a avaliação agregada $O_i = (L_i, M_i, U_i)$ e a avaliação individual do especialista k , $R_{ik} = (l_{ik}, m_{ik}, u_{ik})$ por meio da seguinte expressão:

$$d_{ik}(O, R) = \sqrt{\frac{1}{3} \left[(\bar{l}_i - l_{ik})^2 + (\bar{m}_i - m_{ik})^2 + (\bar{u}_i - u_{ik})^2 \right]} \quad (10)$$

O valor de d_{ik} deve ser calculado para cada critério i e para cada especialista k . Em seguida, obtém-se a média das distâncias individuais associadas a cada critério, representada por $d_{iméd}$, conforme a Equação (11):

$$d_{iméd} = \frac{\sum d_{ik}(\bar{O}, \bar{R})}{n^o \text{ de especialistas}} \quad (11)$$

O segundo requisito previsto na metodologia proposta por Manakandan et al. (2017) refere-se à avaliação do grau de consenso entre os especialistas em relação a cada critério analisado. Esse nível de concordância é calculado por meio do Índice de Consenso, que expressa a proporção de especialistas cujas avaliações individuais apresentaram distância inferior ou igual a 0,2 em relação à avaliação *fuzzy* agregada. A fórmula utilizada é apresentada na Equação (12):

$$Consenso_i(\%) = \frac{n^o \text{ de } d_{ik}(\bar{O}, \bar{R}) \leq 0,2}{n^o \text{ de especialistas}} \quad (12)$$

Esse indicador permite identificar o grau de uniformidade nas percepções dos respondentes e, portanto, validar a robustez do consenso estabelecido. De acordo com o método, um critério é considerado consensual quando apresenta um índice de concordância igual ou superior a 75%.

Por fim, após a *desfuzzificação*, os valores *crisp* (Z_i) obtidos são utilizados para ordenar os critérios em um ranking, permitindo sua priorização conforme o grau de importância atribuído pelos especialistas. Dessa forma, a aceitação final de um critério exige a satisfação simultânea de três condições: (i) o valor médio da distância

$d_{iméd}$ deve ser menor ou igual a 0,2; (ii) o índice de consenso dos especialistas deve ser igual ou superior a 75%; e (iii) o valor crisp deve ser maior ou igual a 0,7, sendo este último limiar definido nesta pesquisa como ponto de corte para seleção dos elementos de implementação considerados relevantes.

Dessa forma, ao adotar a metodologia de Manakandan et al. (2017), este estudo assegura que os critérios selecionados refletem tanto um elevado grau de concordância entre os especialistas quanto uma percepção coletiva de importância crítica, garantindo a solidez analítica dos resultados obtidos.

Nota-se porém, a limitação inerente ao método *Fuzzy Delphi* quanto à subjetividade das opiniões dos especialistas e ao potencial viés decorrente da seleção dos participantes. Apesar do rigor aplicado na definição dos critérios de elegibilidade (mínimo de dez anos de experiência em sustentabilidade na indústria madeireira e atuação em cargos estratégicos), o método não elimina totalmente a possibilidade de viés de seleção e de confirmação, aspectos frequentemente relatados em pesquisas qualitativas e semi-quantitativas (OKOLIE, 2020).

5.2.3 Aplicação do questionário e caracterização do painel de especialistas

A etapa de validação do questionário e a seleção criteriosa dos especialistas responsáveis por respondê-lo constituem fases fundamentais no processo metodológico, sendo determinantes para assegurar a confiabilidade e a relevância dos dados coletados. Conforme apontam Kuo e Chen (2008) e Bui et al. (2020), a validação prévia do instrumento de coleta por especialistas com domínio técnico é uma prática recomendada, uma vez que possibilita a identificação de ambiguidades, o aprimoramento da redação das questões e a correção de eventuais inconsistências conceituais, conferindo maior clareza e objetividade ao questionário.

Neste estudo, o questionário foi submetido à avaliação preliminar de dois especialistas com ampla experiência no setor industrial madeireiro e sólidos conhecimentos em sustentabilidade. O primeiro especialista atua no meio acadêmico e possui mais de uma década de experiência prática na indústria madeireira, com forte atuação em projetos relacionados à sustentabilidade industrial. O segundo

especialista também detém mais de 10 anos de experiência no setor madeireiro, tendo ocupado cargos estratégicos relacionados à sustentabilidade tanto no Brasil quanto na Alemanha, com vivência em processos decisórios voltados à implementação de práticas sustentáveis no ambiente corporativo.

Ambos os avaliadores consideraram o questionário adequado para os objetivos propostos, sugerindo apenas ajustes pontuais na redação de algumas definições com o intuito de melhorar a compreensão dos respondentes. As sugestões foram incorporadas e a versão final do instrumento foi considerada validada, sendo posteriormente aplicada ao público-alvo da pesquisa.

A coleta das respostas foi realizada por meio da plataforma digital *Google Forms*, ferramenta escolhida por sua acessibilidade, praticidade e funcionalidade na gestão de formulários e organização das respostas em formato compatível com as análises subsequentes.

A obtenção de resultados robustos e representativos por meio do método depende diretamente da criteriosa seleção dos especialistas que comporão o painel consultivo, bem como da dimensão amostral adotada. A literatura recomenda que o número de especialistas varie entre 10 e 50 participantes para garantir a validade estatística e qualitativa do processo de eliciação de conhecimento (BRÁS; MARQUES, 2018). Embora o *Fuzzy Delphi* seja uma extensão do método *Delphi* clássico, essa recomendação se mantém coerente com os princípios metodológicos que orientam ambas as abordagens.

Adicionalmente, Bogner, Littig e Menz (2009) destacam que, para que o método atinja elevado grau de competência analítica, mitigando vieses associados à visão restrita de especialistas oriundos de um único campo de atuação, é imprescindível a composição de um painel heterogêneo. Tal heterogeneidade deve contemplar representantes de diferentes segmentos, como pesquisadores acadêmicos, profissionais da indústria, consultores e gestores, ampliando a diversidade de percepções e experiências sobre o fenômeno analisado. Em consonância com essas diretrizes, este estudo buscou formar um grupo multidisciplinar, composto por especialistas oriundos de distintos ramos industriais, além de pesquisadores e consultores com experiência consolidada na temática da sustentabilidade aplicada à indústria madeireira.

A consistência da amostra também é reforçada por evidências empíricas de estudos anteriores. Bouzon et al. (2016), ao revisar aplicações do método *Fuzzy Delphi*, reportam que Hsu, Lee e Kreng (2010) utilizaram nove especialistas; Bueno e Salmeron (2008), dez; e Ma et al. (2011), treze participantes. O próprio estudo de Bouzon et al. (2016) contou com dez especialistas em sua etapa de coleta.

Neste trabalho, a amostra superou amplamente o número mínimo recomendado pela literatura, totalizando 25 especialistas, sendo que todos os respondentes possuem 10 anos ou mais de experiência comprovada na indústria madeireira e conhecimento prático no tema sustentabilidade. Esse número expressivo confere maior confiabilidade e solidez às análises realizadas. Quanto a localização geográfica da atuação dos respondentes, 22 atuam no Brasil e 3 em outros países do continente americano — Canadá, Chile e México.

Um aspecto adicional de relevância para a consistência e confiabilidade dos resultados obtidos refere-se à diversidade setorial dos especialistas respondentes. A heterogeneidade dos setores do segmento industrial madeireiro de atuação dos participantes é fundamental para mitigar possíveis vieses decorrentes da concentração de respostas em determinados setores, o que poderia comprometer a imparcialidade das avaliações devido a interesses específicos ou visões restritas de determinado grupo.

Neste sentido, todos os especialistas participantes da pesquisa indicaram seu segmento de atuação, o que possibilitou a análise da distribuição setorial da amostra e a verificação da cobertura. A Tabela 5 apresenta a categorização desses setores, evidenciando a amplitude e diversidade do painel consultado.

Tabela 5 – Segmento de atuação dos especialistas

Segmento da Indústria Madeireira	Nº de Respondentes
Molduras e Componentes de Madeira	6
Construção Civil e Sistemas Construtivos	5
Papel e Celulose	3
Consultoria e Engenharia	3
Lápis e Produtos de Madeira para Escrita	2
Painéis	2
Embalagens e Logística	2
Instituição de Ensino e Pesquisa	2
TOTAL	25

Fonte: Próprio autor

A última estatística considerada na etapa de caracterização do painel de especialistas refere-se ao nível de atuação profissional dos respondentes. Tal informação é essencial para assegurar que os participantes ocupem posições estratégicas ou técnico-gerenciais com capacidade de decisão, conhecimento acumulado e visão sistêmica sobre os desafios e oportunidades relacionados à transição para a Economia Circular no setor madeireiro.

A literatura destaca que a eficácia do método depende diretamente da expertise e da posição dos especialistas envolvidos, sendo recomendado que os respondentes atuem em níveis hierárquicos compatíveis com a formulação de análises críticas e decisões estratégicas (BOGNER; LITTIG; MENZ, 2009; BUI et al., 2020). Assim, a análise do nível de atuação contribui para validar a qualificação do painel e reforçar a credibilidade das respostas obtidas.

Todos os especialistas participantes informaram seu nível hierárquico na organização, permitindo a análise da distribuição entre cargos operacionais, táticos e estratégicos. A Tabela 6 apresenta essa distribuição, demonstrando que a amostra contempla majoritariamente profissionais que atuam em posições de liderança e tomada de decisão — o que se alinhou aos objetivos da presente pesquisa.

Tabela 6 – Nível Estratégico de Atuação do Especialista

Nível Estratégico	Nº de Respondentes
Alta Gestão (Diretoria, Presidência)	6
Média Gestão (Gerência/Coordenação)	12
Operacional/Técnico (Supervisão)	3
Consultivo/Acadêmico	4

Fonte: Próprio autor.

5.3 RESULTADOS DO FUZZY DELPHI

Esta seção é dedicada à apresentação e análise dos resultados obtidos na etapa empírica da pesquisa. Inicialmente, serão detalhados os achados provenientes da aplicação do método *Fuzzy Delphi*, tendo como base a lista de barreiras à transição a EC previamente identificada por meio da revisão sistemática da literatura. Essa etapa visou hierarquizar, com base no julgamento estruturado de especialistas, os

principais entraves enfrentados pelo setor madeireiro na transição para modelos circulares de produção e gestão.

Na sequência, foram discutidos os resultados das questões abertas incluídas no questionário, com o objetivo de complementar a análise com contribuições qualitativas fornecidas pelos especialistas. Essas respostas permitiram a identificação de barreiras adicionais ou nuances contextuais não capturadas previamente na literatura, enriquecendo o estudo com a experiência prática e o conhecimento empírico dos profissionais atuantes na indústria.

5.3.1 Resultados obtidos pelo *Fuzzy Delphi*

Após a coleta das respostas fornecidas pelo painel de especialistas por meio da *survey* estruturada, procedeu-se à etapa de conversão das avaliações em números *fuzzy* triangulares, conforme a escala de *Likert* previamente definida para cada critério analisado. Esta conversão constitui a segunda etapa do processo metodológico, permitindo a *fuzzificação* das percepções subjetivas dos especialistas. Na sequência, foram executadas as etapas três e quatro, correspondentes, respectivamente, à agregação das avaliações fuzzificadas para cada critério e à posterior desfuzzificação, resultando em valores *crisp* (Z_i) passíveis de interpretação quantitativa.

Os valores *crisp* obtidos com base nesse procedimento, conforme descrito na Seção 5.2.2, são apresentados juntamente aos resultados dos cálculos do valor médio da distância ($d_{iméd}$) e do índice de consenso associado a cada critério. Esses indicadores permitiram identificar, de forma objetiva, quais elementos atenderam aos requisitos estabelecidos para serem considerados relevantes no contexto da implementação da Economia Circular na indústria madeireira.

Cada critério é acompanhado de sua respectiva identificação, valores Z_i , valor $d_{iméd}$, do índice de consenso e da verificação de sua aceitabilidade conforme os parâmetros adotados. Dessa forma, é possível avaliar, de maneira estruturada, quais elementos foram considerados significativos com base no método *Fuzzy Delphi*, bem como verificar se atingiram o nível mínimo de consenso exigido.

A interpretação da Tabela 6 é guiada pelos seguintes critérios: a primeira coluna identifica a barreira; a segunda apresenta o valor crisp calculado Z_i ; a terceira coluna mostra o valor médio da distância ($d_{iméd}$), que expressa a dispersão das opiniões dos especialistas em relação ao valor agregado; a quarta coluna exibe o índice de consenso, representando a proporção de especialistas cuja avaliação individual ficou dentro do intervalo de concordância definido ($d_{ik} \leq 0,2$); a quinta coluna indica a aceitabilidade do critério, ou seja, se o elemento foi validado com base nas três condições simultâneas: $Z_i \geq 0,7$; $d_{iméd} \leq 0,2$; e índice de consenso $\geq 75\%$; por fim, a sexta coluna explicita se houve consenso, considerando apenas os dois últimos parâmetros.

Esses critérios de decisão foram definidos com base nas recomendações metodológicas de Manakandan et al. (2017) para os parâmetros de dispersão ($d_{iméd}$) e de consenso, e de Habibi, Jahantigh e Sarafrazi (2015) para o valor mínimo aceitável do número crisp. Optou-se pelo limiar $Z_i \geq 0,7$ por este situar-se entre os termos linguísticos “importante/relevante” e “muito importante/muito relevante”, assegurando que apenas os fatores com elevada significância fossem validados.

A Tabela 7 apresenta a análise das barreiras a transição a EC na indústria madeireira.

Tabela 7 – Análise das barreiras a transição a EC na indústria madeireira.

Identificação	Z_i	$d_{iméd}$	Índice consenso	Aceitabilidade	Consenso
B1	0.672	0.125	0.72	NÃO ACEITO	Não
B2	0.711	0.095	0.84	ACEITO	Sim
B3	0.716	0.169	0.72	NÃO ACEITO	Não
B4	0.747	0.148	0.76	ACEITO	Sim
B5	0.608	0.216	0.44	NÃO ACEITO	Não
B6	0.684	0.229	0.68	NÃO ACEITO	Não
B7	0.696	0.198	0.72	NÃO ACEITO	Não
B8	0.680	0.192	0.76	NÃO ACEITO	Sim
B9	0.690	0.207	0.64	NÃO ACEITO	Não
B10	0.694	0.182	0.72	NÃO ACEITO	Não
B11	0.690	0.203	0.64	NÃO ACEITO	Não
B12	0.680	0.198	0.68	NÃO ACEITO	Não
B13	0.660	0.210	0.60	NÃO ACEITO	Não
B14	0.704	0.181	0.76	ACEITO	Sim
B15	0.656	0.214	0.60	NÃO ACEITO	Não
B16	0.650	0.225	0.56	NÃO ACEITO	Não

Tabela 7 – Análise das barreiras a transição a EC na indústria madeireira.
(continuação)

Identificação	Z_i	$d_{iméd}$	Índice consenso	Aceitabilidade	Consenso
B17	0.660	0.213	0.60	NÃO ACEITO	Não
B18	0.678	0.205	0.72	NÃO ACEITO	Não
B19	0.688	0.212	0.68	NÃO ACEITO	Não
B20	0.672	0.218	0.60	NÃO ACEITO	Não

Fonte: Próprio autor

5.3.2 Conclusão dos resultados obtidos pelo *Fuzzy Delphi*

Concluídas as etapas metodológicas de fuzzificação, agregação, desfuzzificação e aplicação dos critérios de aceitabilidade, conforme estabelecido na metodologia deste estudo, foi possível identificar de maneira objetiva as barreiras mais relevantes à implementação da Economia Circular na indústria madeireira. A partir da análise dos valores crisp (Z_i), do valor médio da distância ($d_{iméd}$) e do índice de consenso dos especialistas, constatou-se que apenas três barreiras atenderam simultaneamente aos requisitos metodológicos definidos: valor crisp maior ou igual a 0,7, valor $d_{iméd}$ inferior ou igual a 0,2, e índice de consenso superior a 75%. Essas barreiras são: (i) B4 – Incerteza e risco do retorno do investimento a curto prazo; (ii) B2 – Falta de mão de obra especializada em Economia Circular; e (iii) B14 – Falta de conhecimento/interesse dos clientes (motivação pessoal).

A seleção dessas barreiras reflete as percepções convergentes dos especialistas quanto aos principais entraves para a transição da indústria madeireira para modelos circulares, ressaltando a importância da qualificação profissional específica, da mitigação dos riscos financeiros de curto prazo e da necessidade de estimular a conscientização e o interesse do mercado consumidor. Esses resultados fornecem subsídios concretos para a formulação de estratégias gerenciais e políticas públicas que possam direcionar ações efetivas para viabilizar a adoção da EC no setor madeireiro.

5.4 RESULTADO DA QUESTÃO ABERTA

Além das questões estruturadas da *survey*, o instrumento de coleta incluiu uma pergunta aberta ao final do questionário, com o objetivo de captar percepções espontâneas dos especialistas sobre barreiras adicionais à adoção da economia circular na indústria madeireira. A pergunta formulada foi: "*Existem outras barreiras associadas a esta categoria que não foram mencionadas? Em caso afirmativo, por favor, cite.*" Embora o número de respostas tenha sido apenas três contribuições textuais, as manifestações fornecem *insights* relevantes e complementares à análise das barreiras.

A primeira contribuição enfatizou a questão econômica como entrave central, ao apontar que o custo de beneficiamento dos resíduos pode, em determinados contextos, superar o valor da matéria-prima virgem. O respondente também criticou o que chamou de “preciosismo e seletividade”, indicando uma preferência do mercado por produtos oriundos exclusivamente de matéria-prima primária, o que desestimula o uso de materiais reaproveitados e compromete a lógica circular. Esse apontamento está diretamente relacionado às barreiras já identificadas no estudo, como a falta de valorização de produtos circulares e a ausência de diferenciação tributária ou mercadológica que estimule o reaproveitamento de resíduos.

A segunda resposta reforçou a viabilidade técnica da circularidade, por meio da indicação de um caso prático: a produção de painéis CLT com pedaços curtos de madeira que seriam descartados, transformando resíduos em um produto de alto valor agregado. Tal exemplo ilustra como a economia circular pode ser implementada de forma concreta na indústria madeireira, desde que haja investimento em tecnologia e mudança de mentalidade em relação à qualidade da matéria-prima secundária. Essa contribuição serve como evidência empírica complementar às práticas descritas nas entrevistas em profundidade, validando os resultados obtidos de forma independente e por diferentes fontes.

Já a terceira resposta, trouxe uma perspectiva focada no contexto das condições operacionais e da gestão de pessoas. Foram mencionadas barreiras relacionadas à ergonomia limitada nas atividades de reaproveitamento e reciclagem,

à variabilidade no desempenho individual por falta de ferramentas adequadas, bem como à falta de incentivos à inovação em países em desenvolvimento, onde o custo da reciclagem torna-se desproporcional frente ao retorno obtido. Tal observação amplia o escopo analítico da pesquisa ao introduzir a dimensão das condições de trabalho como fator limitante à circularidade, apontando para a importância de se considerar também aspectos sociais e operacionais no desenho de estratégias sustentáveis.

As contribuições obtidas por meio da pergunta aberta do questionário reforçam a complexidade das barreiras à economia circular na indústria madeireira. Elas trazem à tona aspectos econômicos, culturais, tecnológicos e operacionais que, muitas vezes, não emergem em questionários estruturados. Esses apontamentos confirmam a necessidade de abordagens integradas para a transição circular, considerando não apenas os aspectos produtivos e logísticos, mas também fatores humanos, mercadológicos e sistêmicos.

CAPÍTULO 6 – WORKSHOP COM ESPECIALISTAS

6.1 WORKSHOP COM ESPECIALISTAS

Com o objetivo de validar os resultados obtidos na etapa quantitativa da pesquisa e aprofundar a compreensão sobre os desafios e oportunidades da transição para a economia circular na indústria madeireira brasileira, foi realizado um workshop técnico com dois especialistas atuantes em empresas de referência no setor.

O encontro foi estruturado em três etapas: apresentação conceitual sobre economia circular, exposição dos principais achados do estudo empírico (incluindo a análise das barreiras priorizadas pelos respondentes), e um diálogo aberto com os convidados, promovendo a troca de experiências sobre práticas existentes, limitações enfrentadas e caminhos possíveis para a circularidade no setor. No Apêndice A encontra-se o material e evidências do workshop.

Os participantes ocupam posições estratégicas na alta gestão de suas organizações, com responsabilidades diretas nas áreas de sustentabilidade, inovação, pesquisa e desenvolvimento. O primeiro especialista é o presidente de uma empresa de grande porte atuante no setor de madeira engenheirada para construção civil e exportação, com décadas de atuação e uma estrutura consolidada nacional e internacionalmente. O segundo, é o Diretor Executivo de Sustentabilidade, Inovação e Pesquisa & Desenvolvimento (P&D) e atua em uma das maiores companhias do setor de papel e celulose da América Latina, com presença global, milhares de colaboradores e expressivo investimento em tecnologias sustentáveis.

A seleção desses profissionais se deu com base em sua capacidade de decisão em nível executivo, bem como pela ampla visão sistêmica sobre os processos produtivos e os caminhos viáveis para a incorporação de princípios da economia circular no setor florestal-industrial.

6.2 CONTRIBUIÇÕES PRÁTICAS DOS ESPECIALISTAS

6.2.1 Especialista da Indústria de Madeira Engenheirada para Construção Civil

A seguir, apresenta-se a síntese das contribuições do primeiro especialista consultado — executivo de uma empresa nacional de destaque no setor de madeira engenheirada para construção civil — cujas reflexões revelam barreiras estruturais, culturais e econômicas à EC, ao mesmo tempo em que demonstram iniciativas práticas de circularidade já implementadas na cadeia produtiva da madeira.

- **Desconhecimento da Economia Circular pelo consumidor**

O entrevistado identificou como principal barreira à transição para a Economia Circular (EC) o desconhecimento generalizado do conceito por parte do público. Segundo ele, o consumidor final não compreende os impactos positivos de práticas como a logística reversa ou a circularidade dos produtos. Esse desconhecimento gera indiferença e, conseqüentemente, a ausência de pressão social ou de mercado por práticas sustentáveis.

- **Sustentabilidade como prática enraizada na empresa**

A empresa mencionada, trabalha exclusivamente com florestas plantadas, o que implica em uma visão de longo prazo para o uso sustentável dos recursos. O entrevistado destacou que a madeira utilizada hoje provém de árvores plantadas décadas atrás, em um modelo que garante a reposição e o uso responsável da biomassa.

- **Exemplos de circularidade já aplicados**

Foi citado pelo especialista que o ciclo de vida da madeira é maximizado por meio de práticas como:

- Uso da casca para vasos de flores e posteriormente como adubo;
- Utilização da serragem como cama de gado antes de ser destinada à geração de energia;
- Aproveitamento dos cavacos em indústrias de MDF e móveis;

- Reaproveitamento de tocos e pedaços curtos que seriam destinados à caldeira para a produção de painéis de CLT (*Cross Laminated Timber*), alongando significativamente o ciclo de vida do material.

- **Inovação e tecnologia aplicada à circularidade**

O entrevistado apresentou o desenvolvimento de um produto inovador: painéis estruturais de CLT produzidos com madeira anteriormente classificada como resíduo. Para isso, houve investimento em pesquisa com 26 tipos de adesivos até encontrar uma solução compatível com o processo de autoclave e os requisitos de resistência estrutural. Destacou-se também o uso de escaneamento automatizado (IA) para a leitura de defeitos e otimização do corte da madeira.

- **Desafios econômicos e regulatórios**

O especialista foi categórico ao afirmar que a Economia Circular é cara e não há incentivos fiscais ou regulatórios que favoreçam empresas que buscam perenizar materiais. Criticou o fato de não haver distinção tributária entre produtos circulares e aqueles descartados em aterros, desestimulando práticas sustentáveis. Reforçou que há uma lacuna de políticas públicas de valorização da floresta plantada como prestadora de serviços ambientais.

- **Cultura e percepção equivocada sobre madeira**

Ressaltou-se o preconceito cultural com espécies como o pinus, frequentemente desvalorizadas, apesar de seu elevado potencial técnico e ambiental. Exemplificou com críticas infundadas de que o pinus seria “exótico invasor”, demonstrando desinformação mesmo entre o público técnico.

- **Aplicação prática da circularidade na construção civil**

A empresa desenvolveu habitações inteiras com CLT reaproveitado, inclusive com protótipos utilizados pelo governo estadual em eventos públicos. As construções permitem desmontagem e reaproveitamento futuro, exemplificando o potencial de circularidade do produto.

O entrevistado ressaltou que a principal barreira para a Economia Circular na indústria madeireira é o desconhecimento do conceito por parte da sociedade, especialmente dos consumidores finais, o que se reflete na ausência de demanda por soluções sustentáveis. Destacou a importância de florestas plantadas como base para um modelo produtivo circular e apresentou práticas já consolidadas na empresa, como o reaproveitamento de resíduos para geração de energia, substratos agrícolas e novos produtos como painéis de CLT.

O relato evidencia também entraves econômicos e regulatórios, como a falta de incentivos fiscais e a inexistência de valorização do serviço ambiental prestado por produtos circulares. Além disso, apontou desafios culturais relacionados à valorização de espécies florestais como o pinus, frequentemente alvo de preconceito. Por fim, demonstrou como a circularidade pode ser concretizada na construção civil com soluções inovadoras, sustentáveis e com ciclo de vida estendido.

6.2.2 Especialista da Indústria de Papel e Celulose

Na sequência, apresenta-se a síntese das contribuições do segundo especialista consultado — Diretor Executivo de Sustentabilidade, Inovação e Pesquisa & Desenvolvimento (P&D), executivo de uma companhia de grande porte com atuação global no setor de papel e celulose — cujas reflexões evidenciam elevado grau de maturidade tecnológica e integração dos princípios da economia circular ao processo produtivo, ao mesmo tempo em que apontam desafios ligados à escalabilidade, à difusão do conhecimento e à articulação entre os diferentes elos da cadeia madeireira.

- **Percepção sobre a Circularidade na Indústria de Papel e Celulose**

O especialista descreveu com riqueza de detalhes como a Economia Circular já está incorporada de forma sistêmica no processo de fabricação de celulose e papel por meio do processo *Kraft*. Tal processo inclui o reaproveitamento integral da madeira: a casca é convertida em energia; o licor resultante do cozimento da madeira, que contém componentes químicos e orgânicos, é recuperado em caldeiras específicas para geração de energia térmica e elétrica, além da regeneração de produtos químicos utilizados no próprio processo.

Destacou-se ainda a recuperação de subprodutos, como terpenos e metanol, e o reaproveitamento de gases odoríferos para a síntese de ácido sulfúrico. Elementos residuais da madeira, como potássio e cloretos, também são recuperados, sendo o potássio reaproveitado como fertilizante agrícola, criando um elo com a agricultura familiar e promovendo a simbiose industrial.

Além disso, os resíduos sólidos gerados (cinzas de caldeira, lodos de estações de tratamento e resíduos de fibras) são transformados em corretivos de solo e insumos agrícolas. Tal abordagem reduz significativamente o volume de resíduos enviados para aterros industriais e integra ativamente diferentes elos da cadeia de valor.

- **Visão sobre Barreiras à Circularidade**

O especialista confirmou que as três barreiras elencadas como prioritárias na pesquisa quantitativa – incerteza quanto ao retorno do investimento, falta de mão de obra especializada e desconhecimento dos clientes – são condizentes com a realidade do setor. No entanto, ele destacou que, no caso específico da indústria de papel e celulose, a visão de longo prazo é inerente, dada a própria natureza do ciclo de produção florestal (que pode ultrapassar 20 anos).

Segundo sua avaliação, a barreira referente à percepção de risco de retorno a curto prazo está fortemente associada à miopia gerencial em setores menos estruturados da cadeia madeireira. Em contrapartida, indústrias com maior grau de maturidade tecnológica, como a de papel e celulose, já operam com ciclos longos e planejamento estratégico contínuo, o que favorece a adoção de práticas circulares.

A escassez de mão de obra especializada, entretanto, ainda representa um entrave para o avanço da circularidade, sobretudo nos segmentos industriais de menor escala e menor nível de automação. Foi sugerida uma ampliação da qualificação técnica em economia circular e tecnologias de reaproveitamento, especialmente para serrarias, fabricantes de painéis e empresas de menor porte.

- **Desafios Tecnológicos e Escalonamento de Soluções**

O entrevistado atribui parte significativa das limitações da circularidade ao estágio tecnológico de cada setor. Exemplo disso são os desafios enfrentados para reciclar embalagens longa vida, compostas por papel, alumínio e plástico. Ele

menção que tecnologias mais avançadas já permitem substituir plásticos e alumínio por barreiras funcionais aplicadas diretamente ao papel, eliminando a necessidade de acoplamento de materiais distintos.

Também enfatizou a importância de tecnologias emergentes de triagem automatizada de resíduos sólidos urbanos, que utilizam inteligência artificial e sensores ópticos, capazes de realizar a separação eficiente de diferentes polímeros e metais. Segundo o especialista, a falta de escala e a dependência de mão de obra manual ainda limitam o aproveitamento dessas tecnologias no Brasil.

- **Importância do Nível de Desenvolvimento Industrial**

Foi evidenciado que o grau de desenvolvimento tecnológico e a capacidade de investimento da empresa são determinantes para o sucesso na adoção da circularidade. A indústria de papel e celulose, por possuir processos integrados, escala produtiva e investimentos robustos em P&D, consegue operar com alto grau de reaproveitamento e simbiose industrial. Por outro lado, segmentos como serrarias e indústrias de molduras ainda operam com menor nível tecnológico aplicado, o que limita a implementação de práticas mais avançadas de economia circular.

- **Iniciativas de Inovação e Valorização da Matéria-Prima**

O especialista também destacou as pesquisas em andamento para valorização da lignina, subproduto da celulose, como substituto de produtos químicos de origem fóssil. Há aplicações consolidadas na substituição parcial de fenol-formaldeído em adesivo para painéis, bem como pesquisas avançadas para uso da lignina como precursora de fibras de carbono e antioxidantes para borrachas. A empresa em questão, segundo o entrevistado, já possui iniciativas aplicadas, inclusive com unidades piloto e projetos em parceria com universidades e centros de pesquisa nacionais e internacionais.

- **Divulgação e Consciência dos Clientes**

Quanto à barreira relacionada à falta de conhecimento e interesse dos clientes, o entrevistado destacou que os esforços da empresa para divulgar práticas de circularidade ainda ocorrem majoritariamente por meio de mídias institucionais

(como o LinkedIn) e parcerias com universidades. A conscientização do consumidor final ainda é limitada, e o processo de disseminação do conhecimento passa, em sua visão, por uma atuação conjunta da academia, indústria e mídia especializada.

- **Visão de Futuro e Sustentabilidade Setorial**

Ao final da entrevista, foi ressaltado que a indústria brasileira de celulose e papel, apesar de ter sido tímida até o final da década de 1990, hoje é referência global em produtividade florestal e eficiência tecnológica. A autossuficiência energética, conquistada nos últimos 20 anos, é um exemplo de como investimentos contínuos em tecnologia podem transformar um setor inteiro. O entrevistado comparou esse avanço com outras indústrias brasileiras que ainda operam com tecnologias defasadas, sugerindo que a inovação, aliada à circularidade, pode ser a chave para ganhos econômicos, ambientais e sociais mais abrangentes.

O especialista destacou que, na indústria de papel e celulose, a circularidade já é amplamente incorporada ao processo produtivo, desde o reaproveitamento de resíduos orgânicos e químicos até a valorização de subprodutos e integração com a cadeia agrícola. O grau de maturidade tecnológica, aliado à escala industrial, permite investimentos contínuos em inovação e reaproveitamento sistêmico de materiais. Além disso, reafirmou que as principais barreiras à transição para a economia circular – percepção de risco a curto prazo, escassez de mão de obra qualificada e desconhecimento dos clientes – estão fortemente interligadas ao nível de desenvolvimento de cada setor da indústria madeireira.

6.2.3 Discussão do capítulo

As contribuições reunidas no workshop com os dois especialistas reforçam a relevância de considerar a heterogeneidade estrutural e tecnológica da indústria madeireira na formulação de estratégias voltadas à transição para a economia circular. Enquanto empresas com maior grau de maturidade e integração vertical apresentam sistemas circulares já consolidados, baseados em inovação e reaproveitamento sistêmico de materiais, setores menos estruturados ainda

enfrentam barreiras significativas de ordem econômica, regulatória, tecnológica e cultural.

Os relatos evidenciam que a economia circular, embora tecnicamente viável e já parcialmente implementada, ainda carece de políticas públicas de incentivo, maior difusão do conhecimento junto à sociedade e mecanismos que valorizem o papel das florestas plantadas como prestadoras de serviços ambientais.

O diálogo entre ciência e prática, promovido neste workshop, demonstrou ser fundamental para ampliar a compreensão sobre os caminhos possíveis para uma circularidade mais ampla, inclusiva e efetiva no setor madeireiro nacional.

6.3 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

As entrevistas evidenciaram, com riqueza de exemplos práticos, que a transição para a Economia Circular na indústria madeireira enfrenta barreiras significativas relacionadas à cultura, regulação e percepção do consumidor. Ainda assim, o relato do primeiro entrevistado mostra que é possível superar tais entraves a partir da inovação tecnológica, planejamento de longo prazo e um comprometimento empresarial com a sustentabilidade. A experiência da empresa serve como exemplo concreto de que o conceito de circularidade pode ser operacionalizado de forma robusta e alinhada a princípios técnicos e ambientais, mesmo diante de um cenário institucional ainda pouco favorável.

O *workshop* contribuiu significativamente para a validação dos resultados obtidos na etapa quantitativa, além de fornecer insights estratégicos sobre os desafios e oportunidades na transição para a economia circular no setor madeireiro. Fica evidente que o avanço da circularidade depende não apenas de políticas públicas e incentivos econômicos, mas também de investimento contínuo em pesquisa, desenvolvimento tecnológico e articulação entre indústria, academia e mercado. A indústria de papel e celulose no Brasil apresenta um modelo sólido e replicável, que pode servir de referência para outros segmentos da cadeia da madeira, especialmente à medida que se fortaleçam os ecossistemas de inovação e se promovam políticas voltadas à sustentabilidade em toda a cadeia produtiva.

CAPÍTULO 7 – CONCLUSÃO

7.1 CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA

Esta pesquisa contribuiu de maneira significativa para o avanço do conhecimento científico e prático sobre a transição da indústria madeireira para a EC. A partir de uma abordagem teórico-empírica estruturada, que combinou RSL, análise bibliométrica, *survey* aplicado com o método *Fuzzy Delphi* e validação qualitativa via *workshop* com especialistas, foi possível construir uma visão abrangente e aprofundada das barreiras que limitam a implementação de práticas circulares no setor.

Inicialmente, ao identificar e categorizar as barreiras reportadas na literatura científica por meio da RSL, o estudo contribuiu para a sistematização do conhecimento fragmentado até então disponível, oferecendo uma taxonomia robusta e inédita das dificuldades enfrentadas na indústria madeireira. A análise bibliométrica complementou este esforço, ao evidenciar a evolução dos estudos sobre circularidade no setor, os principais temas emergentes e as lacunas de pesquisa existentes.

A etapa empírica, fundamentada no método *Fuzzy Delphi* aplicado a um painel qualificado de 25 especialistas da indústria madeireira, permitiu validar e priorizar, com base no consenso técnico, as barreiras mais críticas para a transição à EC. Três barreiras foram destacadas: (i) a incerteza e risco do retorno do investimento a curto prazo; (ii) a falta de mão de obra especializada em práticas circulares; e (iii) o desconhecimento e baixo interesse dos clientes em produtos circulares. Esses achados não apenas confirmam tendências observadas na literatura internacional, mas também contextualizam as especificidades do setor madeireiro brasileiro.

A realização do *workshop* com especialistas, por sua vez, ampliou a compreensão sobre as barreiras identificadas, trazendo à tona nuances práticas, como as limitações operacionais de empresas de pequeno e médio porte, a necessidade de políticas públicas que valorizem produtos circulares, e a importância estratégica da inovação tecnológica e da comunicação para a sensibilização do mercado consumidor.

Dessa forma, a presente dissertação gera contribuições teóricas, metodológicas e práticas. Teoricamente, amplia a compreensão das barreiras sistêmicas à EC no setor madeireiro, propondo uma categorização analítica alinhada às dimensões técnica, econômica, organizacional, operacional, mercadológica e regulatória. Metodologicamente, demonstra a eficácia da combinação entre RSL, análise bibliométrica e *Fuzzy Delphi* na construção de conhecimento aplicável a setores industriais específicos. No campo prático, oferece subsídios estratégicos para a formulação de políticas públicas, para a definição de ações empresariais de inovação e sustentabilidade, e para a estruturação de programas de capacitação profissional focados na circularidade.

Por fim, ao articular a perspectiva acadêmica e a prática industrial, este estudo contribui para o fortalecimento do debate sobre a bioeconomia circular no Brasil, alinhando-se às metas globais de desenvolvimento sustentável e reforçando o papel estratégico da indústria madeireira na construção de uma economia de baixo carbono e de uso eficiente dos recursos.

7.2 PESQUISAS FUTURAS

A entrevista qualitativa realizada no workshop de especialistas reforçou os achados do estudo quantitativo, ao mesmo tempo em que aprofundou a compreensão das barreiras à circularidade na indústria madeireira. Ficou evidente que o avanço na implementação da Economia Circular está intrinsecamente relacionado ao grau de maturidade tecnológica, à capacidade de investimento e à integração sistêmica da empresa com sua cadeia de valor. A partir desse panorama, propõe-se que futuras pesquisas explorem a correlação entre o nível de desenvolvimento industrial e o grau de adoção de práticas circulares, bem como estratégias para a ampliação do conhecimento técnico e da conscientização do mercado consumidor.

Além disso, recomenda-se expandir o escopo analítico para outros segmentos industriais baseados na biomassa florestal, como papel e celulose, bioenergia e biocompósitos, possibilitando uma visão comparativa intersetorial. Estudos de caso aprofundados em empresas que já implementaram práticas

circulares podem trazer subsídios valiosos para a identificação de fatores críticos de sucesso e lições aprendidas.

Ademais, sugere-se investigar o papel de políticas públicas, incentivos econômicos e instrumentos regulatórios no estímulo à adoção de modelos circulares no setor madeireiro, considerando variações regionais e contextuais. Outra linha de pesquisa relevante consiste na avaliação da percepção dos consumidores sobre produtos circulares de origem madeireira, buscando identificar barreiras de mercado e estratégias de sensibilização. Por fim, recomenda-se a utilização de métodos prospectivos, como *roadmaps* tecnológicos e cenários de *foresight*, para antecipar tendências e delinear caminhos estratégicos para a evolução da circularidade no setor.

Essas futuras investigações poderão não apenas aprofundar o entendimento das dinâmicas de transição para a Economia Circular, mas também apoiar a formulação de políticas públicas e estratégias empresariais mais eficazes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- ABIMCI (Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente). **Estudo setorial 2019**: Ano Base 2018. 2019. Curitiba.
- ABIMCI. **Estudo Setorial 2022: indústria brasileira de madeira processada mecanicamente**. Curitiba: Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente, 2022.
- ARAÚJO, C. K. D. C.; SALVADOR, R.; PIEKARSKI, C. M.; SOKULSKI, C. C.; DE FRANCISCO, A. C.; CAMARGO, S. K. D. C. A. Circular economy practices on wood panels: A bibliographic analysis. **Sustainability**, v. 11, p. 1041-1057, 2019.
- AWASTHI, Mukesh Kumar et al. Agricultural waste biorefinery development towards circular bioeconomy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 158, p. 112122, 2022.
- BHANDARI D.; SINGH R.K.; GARG S.K. Prioritisation and evaluation of barriers intensity for implementation of cleaner technologies: framework for sustainable production. **Resour Conserv Recycl** 146:156–167. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.02.038>
- BOGNER, A.; LITTING, B.; MENZ, W. **Interviewing Experts**. Palgrave Macmillan, 2009
- BOUZON, M. et al. Identification and analysis of reverse logistics barriers using fuzzy Delphi method and AHP. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 108, p. 182–197, 2016
- BOYD, J. R.; WETFALL, H. **Pesquisa mercadológica: textos e casos**. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas, 1964.
- BRÁS, J.; MARQUES, V. Método DELPHI : caracterização e potencialidades na pesquisa em educação. **Pro-Posições** v. 29, n. 2 (87), p. 389–415, 2018.
- BRYMAN, A. **Research methods and organizations studies**. London: Unwin Hyman, 1989.
- BRYMAN, A. Integrating quantitative and qualitative research: how is it done? **Qualitative Research**, v. 6, n.1, p. 97-113, 2006.
- BUENO, S.; SALMERON, J. L. Fuzzy modeling enterprise resource planning tool selection. **Computer Standards & Interfaces**, v. 30 (3), 137–147, 2008.
- BUI, T. D. et al. Identifying sustainable solid waste management barriers in practice using the fuzzy Delphi method. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 154, n. August 2019, p. 104625, 2020.

BUONOCORE, Elvira et al. Indicators of environmental performance to assess wood-based bioenergy production: A case study in Northern Italy. **Journal of Cleaner Production**, v. 221, p. 242-248, 2019.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. 4ª Ed. São Paulo: Makron Books, 1996.

CIRCULARITY GAP REPORT. CGR 2023 – Circularity Gap Report. [S.l.], 2023. Disponível em: <https://www.circularity-gap.world/2023>. Acesso em: 26 abr. 2025.

COLLINS, J; HUSSEY, R. **Pesquisa em Administração**: um guia prático para alunos de graduação e pós-graduação. Tradução: Lucia Simonini. 2. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

COOPER, Harris M. Organizing knowledge syntheses: A taxonomy of literature reviews. **Knowledge in society**, v. 1, n. 1, p. 104, 1988.

COOPER, Harris. **Research synthesis and meta-analysis: A step-by-step approach**. Sage publications, 2010.

DALKEY, N.; HELMER, O. **An Experimental Application of the Delphi Method to the Use of Experts Management Science**, 1963.

DE VASS, T. et al. Transitioning to a circular economy: lessons from the wood industry. **The International Journal of Logistics Management**, v. 34, n. 3, p. 582-610, 2023.

DIMIĆ, Mišić Katarina et al. Identifying the challenges of implementing a European bioeconomy based on forest resources: Reality demands circularity. **FME transactions**, v. 47, n. 1, p. 60-69, 2019.

DO, Thi Thu Huyen et al. A new integrated circular economy index and a combined method for optimization of wood production chain considering carbon neutrality. **Chemosphere**, v. 311, p. 137029, 2023.

DOMENECH, Teresa et al. Mapping Industrial Symbiosis Development in Europe_ typologies of networks, characteristics, performance and contribution to the Circular Economy. **Resources, conservation and recycling**, v. 141, p. 76-98, 2019.

DONG, J.; HUO, H. Identification of financing barriers to energy efficiency in small and medium-sized enterprises by integrating the fuzzy delphi and fuzzy DEMATEL Approaches. **Energies**, v. 10, n. 8, 2017.

DONTHU, N. et al. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, v. 133, p. 285–296, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>. Acesso em: 6 abr. 2025.

DRAGOMIR, Mihai et al. Assessing Circularity in the Wood Industry—Methodology, Tool and Results. **Forests**, v. 14, n. 10, p. 1935, 2023.

ECORES; UNIVERSITY OF VAASA; CETEM - Technological Centre of Furniture and Wood; AMUEBLA - Innovative business association of furniture manufacturers and related in the Murcia Region; CENFIM - Home & Contract furnishings cluster; KIT - Karlsruhe Institute of Technology. **Circular economy in the furniture industry: Overview of current challenges and competences needs**. Sep 2018. Spain.

Ellen MacArthur Foundation (2015), **Rumo à economia circular: o racional de negócio para acelerar a transição**. Ellen MacArthur Foundation, Reino Unido, disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition>>. Acesso em: 31 Maio 2022.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. What is a circular economy? [S.l.], 2024a. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>. Acesso em: 26 abr. 2025.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Circular economy principles. [S.l.], 2024b. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-principles>. Acesso em: 26 abr. 2025.

FAMMETAL. **Papel e celulose**. [Ilustração]. Disponível em: <https://fammetal.com.br/services/papel-e-celulose/>. Acesso em: 4 maio 2025.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018. Global Forest Products Facts and Figures 2018. <https://www.fao.org/3/ca7415en/ca7415en.pdf>.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT Forestry. (2020). Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>. Acesso: 31 mai. 2022.

FLEURY, A. Planejamento do Projeto de Pesquisa e Definição do Modelo Teórico. Em: MIGUEL, P. A. C. (Ed.). **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Elsevier/ABEPRO, 2012 p. 33.

FORZA, C. Survey research in operations management: a process-based perspective. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 152-194, 2002.

GALO, N. R. **Proposta de modelo de decisão para avaliação de fornecedores baseado no ELECTRE TRI para categorização e na teoria dos conjuntos fuzzy para a modelagem da incerteza e hesitação de múltiplos tomadores de decisão**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 2018.

GEISSDOERFER, M. et al. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 757–768, 2017.

GENEROWICZ, Natalia; KOWALSKI, Zygmunt. Cascade use of post-production waste from the wood industry. **Polityka Energetyczna**, v. 23, n. 1, p. 87-102, 2020.

GHAZANFARI, Arezoo. An Analysis of Circular Economy Literature at the Macro Level, with a Particular Focus on Energy Markets. **Energies**, v. 16, n. 4, p. 1779, 2023.

GHOBADI, Mohsen; SEPASGOZAR, Samad ME. Circular economy strategies in modern timber construction as a potential response to climate change. **Journal of Building Engineering**, p. 107229, 2023.

GIL, Antônio Carlos et al. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GREENMATCH. Environmental Impact of a Circular Economy: Statistics, Trends. [S.l.], 2024. Disponível em: <https://www.greenmatch.co.uk/environmental-impact-of-a-circular-economy>. Acesso em: 26 abr. 2025.

HABIBI, A.; JAHANTIGH, F. F.; SARAFRAZI, A. Fuzzy Delphi Technique for Forecasting and Screening Items. **Asian Journal of Research in Business Economics and Management**, v. 5, n. 2, p. 130, 2015.

HEMSTRÖM, K. et al. **From forest to building: actors' roles and perceptions of the innovation system of multi-storey wood buildings in Sweden and Finland**. Journal of Cleaner Production, v. 148, p. 149–158, 2017.

HASSON, F.; KEENEY, S. Enhancing rigour in the Delphi technique research. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 78, n. 9, p. 1695-1704, 2011.

HOLZER, Daniel et al. Different but the Same? Comparing Drivers and Barriers for Circular Economy Innovation Systems in Wood-and Plastic-Based Industries. **Circular Economy and Sustainability**, v. 3, n. 2, p. 983-1011, 2023.

HOLZER, Daniel et al. Parallel universes, one circular goal: An empirical study comparing Austrian wood-and plastic-based industries. **Sustainable Production and Consumption**, v. 43, p. 46-61, 2023.

HSU, Y. L.; LEE, C. H.; KRENG, V. B. The application of Fuzzy Delphi Method and Fuzzy AHP in lubricant regenerative technology selection. **Expert Systems with Applications**, v. 37, n. 1, p. 419–425, 2010.

IBÁ. **Relatório Anual 2023**. Brasília: Indústria Brasileira de Árvores, 2023.

ISHIKAWA, A. et al. The man-min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy integration. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 55, n. 3, p. 241-253, 1993.

ISHIZAKA, Alessio; SIRAJ, Sajid. Are multi-criteria decision-making tools useful? An experimental comparative study of three methods. **European Journal of Operational Research**, v. 264, n. 2, p. 462-471, 2018.

JARRE, Matteo et al. Transforming the bio-based sector towards a circular economy-What can we learn from wood cascading?. **Forest Policy and Economics**, v. 110, p. 101872, 2020.

JESUS, Gessica Mina Kim et al. Barriers to the adoption of the circular economy in the Brazilian sugarcane ethanol sector. **Clean Technologies and Environmental Policy**, p. 1-15, 2021.

JUPP, V. **The Sage dictionary of social research methods**. London: Sage Publications, 2006.

KAUFMANN, A.; GUPTA, M. M. **Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science**. New York: Elsevier Science Inc., 1988.

KEDIR, F.; HALL, D. M. Resource efficiency in industrialized housing construction—A systematic review of current performance and future opportunities. **Journal of Cleaner Production**, v. 286, p. 125443, 2021.

KESTER, L., GRIFFIN, A., HULTINK, E.J.; LAUCHE, K., Exploring Portfolio Decision-Making Processes. **Journal of Product Innovation Management**, 28: 641-661. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2011.00832.x>, 2011.

KHARAS, H. The Emerging Middle Class in Developing Countries. **OECD Development Centre Working Papers**, Paris: OECD Publishing, n. 285, 26 jan. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/5kmmp8lncrns-en>. Acesso em: 31 maio 2022.

KLABIN. *Brasil lidera ranking global de celulose*. Klabin, 25 abr. 2024. Disponível em: <https://blog.klabin.com.br/-/brasil-lider-em-celulose-no-mundo>. Acesso em: 30 abr. 2025.

KUO, Y. F.; CHEN, P. C. Constructing performance appraisal indicators for mobility of the service industries using Fuzzy Delphi Method. **Expert Systems with Applications**, v. 35, n. 4, p. 1930–1939, 2008.

LADU, Luana et al. The role of the policy mix in the transition toward a circular forest bioeconomy. **Forest policy and economics**, v. 110, p. 101937, 2020.

LAZAREVIC, David; KAUTTO, Petrus; ANTIKAINEN, Riina. Finland's wood-frame multi-storey construction innovation system: Analysing motors of creative destruction. **Forest policy and economics**, v. 110, p. 101861, 2020.

LIU, H. T.; WANG, W. K. An integrated fuzzy approach for provider evaluation and selection in third-party logistics. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 3 PART 1, p. 4387–4398, 2009.

MA, Z.; SHAO, C.; MA, S.; YE, Z. Constructing road safety performance indicators using fuzzy delphi method and grey delphi method. **Expert Systems with Applications**, v. 38 (3), 1509–1514, 2011.

MAIR, Claudia; STERN, Tobias. Cascading utilization of wood: a matter of circular economy?. **Current Forestry Reports**, v. 3, p. 281-295, 2017.

MANAKANDAN, S. K. et al. Pesticide applicators questionnaire content validation: A fuzzy delphi method. **Medical Journal of Malaysia**, v. 72, n. 4, p. 228–235, 2017.

MASTERSON, V. 4 charts to show why adopting a circular economy matters. World Economic Forum, 2024. Disponível em:

<https://www.weforum.org/stories/2024/04/circular-economy-waste-management-unepl/>. Acesso em: 26 abr. 2025.

MATTAR, F. N. **Pesquisa de marketing: metodologia, planejamento**. São Paulo: Atlas, 1996.

MICHAL, Jakub et al. Sustainable Development Model of Performance of Woodworking Enterprises in the Czech Republic. **Forests**, v. 12, n. 6, p. 672, 2021.

MIGUEL, P. A. C., Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Produção**. 2007, v. 17, n. 1, p.216-229.

MIGUEL, P. A. C.; HO, L. L. Levantamento Tipo *Survey*. Em: MIGUEL, P. A. C. (Ed.). **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Elsevier/ABEPRO, 2012 p.75.

NETO, J. A.; BARROS, M. C. L.; CAMPOS-SILVA, W. L. **Economia circular, sistemas locais de produção e ecoparques industriais: Princípios, modelos e casos (aplicações)**. São Paulo:Blucher, 2021.

OKOLIE, K. C. A critical review of Delphi method in construction management research. **Construction Innovation**, v. 20, n. 3, p. 458–478, 2020.

PAGE, Matthew J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **International journal of surgery**, v. 88, p. 105906, 2021.

PEREIRA, R.; FERREIRA, E.A.; ALVES, J.L.; et al., Circular economy and supply chain: a literature review, **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, Vol. 17, No. 04, 2020.

PITTI, Anna R.; ESPINOZA, Omar; SMITH, Robert. The case for urban and reclaimed wood in the circular economy. **BioResources**, v. 15, n. 3, p. 5226-5245, 2020.

ROBSON, S. Real World Research: A resource for social scientists and practitioner researcher. **Blackwell Publishers**, UK, 2002.

SAATY, Thomas L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European journal of operational research**, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990.

SARAVANAN, A. et al. A review on regeneration of biowaste into bio-products and bioenergy: Life cycle assessment and circular economy. **Fuel**, v. 338, p. 127221, 2023.

SCOPUS. Elsevier, 2023. Disponível em:
<https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic>. Acesso em: 17 set. 2023.

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**, 18(1), 35-62, 2019.

SILVA, Vitor Uemura et al. Circular vs. linear economy of building materials: A case study for particleboards made of recycled wood and biopolymer vs. conventional particleboards. **Construction and Building Materials**, v. 285, p. 122906, 2021.

SILVEIRA, D. T.; CORDOVA, F.P. Unidade 2—A pesquisa científica. **Métodos de pesquisa**, v. 1, 2009.

SOUZA, Eduardo. *Painéis de madeira: as diferenças entre MDF, MDP, Compensado e OSB*. ArchDaily Brasil, 13 out. 2020. Disponível em:
<https://www.archdaily.com.br/br/926416/paineis-de-madeira-as-diferencas-entre-mdf-mdp-compensado-e-osb>. Acesso em: 4 maio 2025.

SRIVASTAVA, Rajesh K. et al. Valorization of biowastes for clean energy production, environmental depollution and soil fertility. **Journal of environmental management**, v. 332, p. 117410, 2023.

STEFANO, N. M.; CASAROTTO FILHO, N.; DUARTE, M. DO C. F. Proposta De Um Instrumento De Pesquisa Para Avaliar a Gestão De Periódicos Científicos : Utilizando O Método Fuzzy Delphi. **Iberoamerican Journal of Project Management**, v. 5, n. 2, p. 39–69, 2014.

SUN, Qiming et al. Recycling potential comparison of mass timber constructions and concrete buildings: A case study in China. **Sustainability**, v. 14, n. 10, p. 6174, 2022.

SUSANTY, Aries; TJAHJONO, Benny; SULISTYANI, Rahayu Eka. An investigation into circular economy practices in the traditional wooden furniture industry. **Production Planning & Control**, v. 31, n. 16, p. 1336-1348, 2020.

SNYDER, H. Literature review as a research methodology: an overview and guidelines. **Journal Of Business Research**. Oslo, p. 333-339. nov. 2019.

TASKHIRI, Mohammad Sadegh et al. Optimising cascaded utilisation of wood resources considering economic and environmental aspects. **Computers & Chemical Engineering**, v. 124, p. 302-316, 2019.

THOMÉ, A.M.T., SCAVARDA, A., CERYNO, P.S. AND REMMEN, A. (2016), "Sustainable new product development: a longitudinal review", **Clean Technologies and Environmental Policy**, Vol. 18 No. 7, pp. 2195-2208.

THOMÉ, A. M. T; SCAVARDA, L. F; SCAVARDA, A. J. Conducting systematic literature review in operations management. **Planejamento e Controle da Produção**, v. 27, ed. 5, 408-420, 2016.

TIMBAU ESTRUTURAS. Projetos. [Imagem]. Disponível em: <https://timbauestruturas.com.br/projetos/>. Acesso em: 4 maio 2025.

WEETMAN, C. **Economia Circular**: conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligente, sustentável e lucrativa. 1. ed. São Paulo: Autêntica Business, 2019.

WINSAVVY. Circular Economy Adoption: Who's Leading the Shift? [S.I.], 2025. Disponível em: <https://www.winsavvy.com/circular-economy-adoption-whos-leading-the-shift-with-data/>. Acesso em: 26 abr. 2025.

WORLD BANK. World Bank releases its first report on the circular economy. [S.I.], 2022. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2022/12/06/world-bank-releases-its-first-report-on-the-circular-economy-says-decoupling-growth-from-resource-use-in-europe-achievable>. Acesso em: 26 abr. 2025.

YANG, Danren; ZHU, Jiangang. Recycling and Value-added Design of Discarded Wooden Furniture. **BioResources**, v. 16, n. 4, 2021.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v.8, p. 338-353, 1965.

ZUIN, Vânia G.; RAMIN, Luíze Z. Green and sustainable separation of natural products from agro-industrial waste: Challenges, potentialities, and perspectives on emerging approaches. **Chemistry and Chemical Technologies in Waste Valorization**, p. 229-282, 2018.

5. PRÁTICAS NA INDÚSTRIA

CONVERSA COM ESPECIALISTA

- Considerando sua experiência no setor, em que medida os resultados deste estudo refletem a realidade da indústria madeireira no que tange à implementação da Economia Circular?



9



Obrigada



10