

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
DOUTORADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MURILLO VETRONI BARROS

***CIRCULAR2IMPACT*: UMA FERRAMENTA PARA ESTIMULAR A ECONOMIA
CIRCULAR DE ALTA PERFORMANCE E IMPACTOS POSITIVOS EM NEGÓCIOS**

TESE

PONTA GROSSA

2022

MURILLO VETRONI BARROS

***CIRCULAR2IMPACT: UMA FERRAMENTA PARA ESTIMULAR A ECONOMIA
CIRCULAR DE ALTA PERFORMANCE E IMPACTOS POSITIVOS EM NEGÓCIOS***

**Circular2Impact: A Tool to stimulate high performance circular economy and
positive impacts on business**

Tese apresentada como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dr. Cassiano Moro Piekarski.

PONTA GROSSA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa**



MURILLO VETRONI BARROS

CIRCULAR2IMPACT: UMA FERRAMENTA PARA ESTIMULAR A ECONOMIA CIRCULAR DE ALTA PERFORMANCE E IMPACTOS POSITIVOS EM NEGÓCIOS

Trabalho de pesquisa de doutorado apresentado como requisito para obtenção do título de Doutor Em Engenharia De Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Industrial.

Data de aprovação: 21 de Junho de 2022

Dr. Cassiano Moro Piekarski, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Utfpr)

Dr. Fabio Neves Puglieri, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Joseane Pontes, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Paulo Sergio Duque De Brito, Doutorado - Instituto Politécnico de Portalegre

Dr. Roquemar De Lima Baldam, Doutorado - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 21/06/2022.

Dedico este trabalho à todos aqueles que auxiliaram e torceram por mim durante esse período, mas em especial, meus queridos pais, João (*in memoriam*) e Dejanira.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, agradeço a Deus por ter me dado à graça e a benção de poder atingir esse especial e único objetivo em minha vida. A luta de cada dia para obter esse título só ele sabe o que eu passei. Mas hoje, com muita alegria e prazer, posso agradecer.

Sem dúvida, meu orientador foi peça chave para eu chegar até aqui. Prof. Dr. Cassiano Moro Piekarski, mostrou o caminho e me guiou nessa longa e complexa trajetória do doutorado. Seu tempo, paciência, confiança, conselhos, e principalmente as conversas durante o “café” foram (e espero continuar sendo quando oportuno) momentos para refletir sobre a temática de pesquisa, mercado de trabalho, e coisas da vida. Tenho certeza que vou levar você não somente como meu orientador, mas como um grande amigo que me inspirou muito nesse período.

Agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pela oportunidade em poder cursar e concluir o meu doutorado. Agradeço a todo o corpo docente e funcionários que contribuíram de forma direta ou indireta para a conclusão deste trabalho. Um agradecimento que especial ao Laboratório de Estudos em Sistemas Produtivos Sustentáveis onde permaneci durante todo o período do doutorado, incluindo os colegas de pesquisa e professores do grupo de pesquisa. Todos vocês estão no meu coração! Mas em especial, um agradecimento fidedigno ao meu amigo de pesquisa e que levarei para a vida, Rodrigo Salvador.

Aos meus queridos e estimados pais. Palavras escritas aqui não expressam nem a metade do meu sincero agradecimento a vocês. Serei eternamente grato pelo amor e segurança que depositaram em mim durante todo o meu período de formação acadêmica. Vocês me forneceram capacidade suficiente para me tornar responsável, competente e ético naquilo que faço. Agradeço imensamente por todo o esforço que fizeram para a minha conclusão desse processo de formação.

À minha querida e amada noiva. A força e a influência foram pauta diária para eu chegar até aqui. Sou muitíssimo grato pela compreensão e conversas nesse tempo. Você estava próxima para me fazer persistir e jamais desistir do meu objetivo.

Aos meus irmãos, que mesmo na distância, sempre estiveram na torcida, cedendo-me apoio e força nesse processo de formação. A todos os meus familiares, que, sem dúvida, acreditaram em mim.

Às organizações e as pessoas no Brasil, em Portugal, e na Espanha onde realizei a coleta dos dados para a composição dos resultados deste trabalho. Vocês foram imprescindíveis para a conclusão desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro da minha bolsa de estudo.

“Apenas os que dialogam podem construir
pontes e vínculos.”
(Papa Francisco)

RESUMO

BARROS, Murillo Vetroni. ***Circular2Impact: Uma ferramenta para estimular a economia circular de alta performance e impactos positivos em negócios.*** 2022. 159 f. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2022.

A economia circular se posiciona como uma tendência positiva nos negócios. A temática vem sofrendo avanços consideráveis nas últimas décadas, e possui uma estratégia de tornar os fluxos de material e energia mais circular dentro de um sistema produtivo. Mas para, de fato, atingir as metas, o gerenciamento do sistema a partir da mensuração de circularidade é essencial. O ineditismo do trabalho refere-se a uma ferramenta para economia circular de alta performance que pode ser aplicada em negócios que envolvam qualquer sistema produtivo, com até três níveis de abrangência, desde que apresentem processos e fluxos de materiais e energia com origens e destinos. Portanto, este trabalho tem como objetivo propor uma ferramenta (*Circular2Impact*) que promova uma economia circular de alta performance para geração de impacto positivo nos negócios. A economia circular de alta performance foi caracterizada. Para a construção da ferramenta e levantamento dos critérios estabelecidos, utilizaram-se como base as revisões de literatura, relatórios de economia circular, e ferramentas existentes, identificando oportunidades para o desenvolvimento. Alguns desses critérios são: possuir fluxos de material e/ou energia classificado como sendo interno ou externo a organização; nomear e quantificar os fluxos com origens e destinos; determinar a origem do material como sendo renovável ou não renovável; e informar o(s) nível(is) de abrangência. Para gerar uma economia circular de alta performance o fluxo de um sistema é identificado como externo, logo, esse é um potencial ponto a ser tratado pela organização, com possibilidades de gerar impacto positivo no âmbito social, econômico, e ambiental da sustentabilidade por um viés qualitativo. A *Circular2Impact* direciona-se para os negócios que apresentem processos produtivos, com fluxos de material e energia, de modo que os processos (ou parte deles) atuem de maneira circular e não linear. Para a aplicação e validação da ferramenta, três estudos de casos foram desenvolvidos, um no contexto nacional, no setor de produção de frangos de corte, e dois no contexto internacional, no setor de construção civil, e no setor leiteiro. Os resultados encontrados e as contribuições direcionam-se para o meio científico, sustentado pelo aspecto teórico; e para os profissionais e organizações que possuem a visão de gerar impacto positivo nos negócios e atuar com práticas inclinadas para uma economia circular de alta performance, sustentado pelo apelo prático.

Palavras-chave: Economia circular. Circularidade. Indicador. Negócio de impacto. Impacto positivo.

ABSTRACT

BARROS, Murillo Vetroni. **Circular2Impact: A Tool to stimulate high performance circular economy and positive impacts on business**. 2022. 159 p. Thesis (Doctoral in Production Engineering) - Federal University of Technology - Paraná. Ponta Grossa, 2022.

The circular economy is seen as a positive trend in business. The topic has gone through considerable advances in recent decades, and is anchored in making material and energy flows more circular within a production system. However, to achieve those goals, systems management based on circularity measurement is essential. The novelty of this research lie on a high-performance circular economy tool that can be applied in businesses involving any production system, as long as it has processes, and material and energy flows with origins and destinations. The tool also allows up to three levels of coverage. Therefore, this research aimed to propose a tool (Circular2Impact) that promotes a high-performance circular economy to generate a positive impact on businesses. The high-performance circular economy was characterized. For building the tool, and investigating the established criteria, literature reviews, circular economy reports, and existing tools were used as a basis, identifying opportunities for development. Some of these criteria are: having material and/or energy flows classified as being internal or external to the organization; naming and quantifying flows with origins and destinations; determining the origin of the material as being renewable or non-renewable; and informing the coverage level(s). To generate a high-performance circular economy, the flow of a productive system is identified as external. Thus, this is a potential point to be addressed by the organization, allowing to generate positive impacts on the social, economic, and environmental aspects of sustainability, from a qualitative approach. Circular2Impact is aimed at businesses that present production processes, with material and energy flows, so that the processes (or parts of them) act in a circular and non-linear way. For applying and validating the tool, three case studies were carried out, one in the national context, in the chicken farming sector, and two in the international context, in the civil construction sector, and in the dairy sector. The findings and the contributions are directed to the scientific environment, supported by the theoretical aspect; and to professionals and organizations who envisage to generate positive impacts on businesses, and to work towards a high-performance circular economy, supported by a practical appeal.

Keywords: Circular economy. Circularity. Indicator. Impact business. Positive impact.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura da tese.....	24
Figura 2 - Metodologia da tese.....	25
Figura 3 - Exemplo do preenchimento da ficha de coleta de dados e como atuar com economia circular de alta performance e impacto positivo	44
Figura 4 - Imagem aérea da fazenda onde o estudo de caso 1 foi desenvolvido.....	49
Figura 5 - Processo de produção do CTB para o estudo de caso 2.....	53
Figura 6 - Processo e fluxos de materiais e energia para as fazendas produtoras de leite para o estudo de caso 3	57
Figura 7 - Mapa de impacto-chave: contribuições da economia circular para a gestão de negócio sustentável	59
Figura 8 - Desafios e oportunidades para o desenvolvimento dos indicadores de circularidade.....	67
Figura 9 - Estrutura da <i>Circular2Impact</i>	78
Figura 10 - Processos e fluxos de materiais (ton/ano) da propriedade rural para o nível 1 do estudo de caso 1	81
Figura 11 - Processos e fluxos de materiais (ton/ano) da propriedade rural para o nível 2 do estudo de caso 1	82
Figura 12 - Processos e fluxos de energia elétrica (kWh/ano) da propriedade rural para o nível 1 do estudo de caso 1	85
Figura 13 - Processos e fluxos de materiais renováveis e não renováveis (ton/ano) para a análise do estudo de caso 1	87
Figura 14 - Processos e fluxos de material (kg) para a fabricação de uma unidade do bloco CTB para o nível 1, para os três cenários avaliados do estudo de caso 2	92
Figura 15 - Processos e fluxos de materiais renováveis e não renováveis (kg) para a produção de uma unidade do CTB para a análise do estudo de caso 2	94
Figura 16 - Processos e fluxos de materiais (ton/ano) das propriedades rurais para o nível 1 do estudo de caso 3	97
Figura 17 - Processos e fluxos de materiais (ton/ano) das propriedades rurais para o nível 2 do estudo de caso 3	98
Figura 18 - Processos e fluxos de materiais renováveis e não renováveis (ton/ano) para a análise do estudo de caso 3	100
Quadro 1 - Requisitos e demandas para a ferramenta	32
Quadro 2 - Gerando uma economia circular de alta performance e impacto positivo – estudo de caso 1	89
Quadro 3 - Gerando uma economia circular de alta performance e impacto positivo - estudo de caso 2	95
Quadro 4 - Gerando uma economia circular de alta performance e impacto positivo - estudo de caso 3	102
Quadro 5 - Indicadores e ferramentas de circularidade identificada no corpo da literatura científica	129

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Percentual de circularidade da propriedade rural para os processos e para a organização em termos de material para o nível 1 e 2 do estudo de caso 1	83
Tabela 2 - Percentual de circularidade da propriedade rural para os processos e para a organização em termos de fontes renováveis do estudo de caso 1	88
Tabela 3 - Percentual de circularidade para a fabricação de uma unidade do bloco CTB para os processos e para a organização em termos de material para os três cenários do estudo de caso 2	92
Tabela 4 - Percentual de circularidade para os processos e para a fábrica em termos de fontes renováveis do estudo de caso 2.....	94
Tabela 5 - Percentual de circularidade do conjunto das propriedades rurais para os processos e para a organização em termos de material para o nível 1 e 2 do estudo de caso 3	98
Tabela 6 - Percentual de circularidade da propriedade rural para os processos e para a organização em termos de fontes renováveis do estudo de caso 3	101

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

LISTA DE ABREVIATURAS

B2B	Business to business
B2C	Business to consumer
CM	Cost management
cm ³	Centímetro cúbico
CO ₂	Dióxido de carbono
CSCM	Circular supply chain management
EM	Environmental management
Espec.	Especificação
FI	Fator de Impacto
Fornec	Fornecedor
g	Gramas
J	Joule
Kg	Quilogramas
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt hora
L&RL	Logistics and reverse logistics
m ²	Metro quadrado
NA	Não aplicável
NM	Não menciona
NR	Não renovável
PM	Process management
Perform	Performance
Quant	Quantidade
QM	Quality management
R	Renovável
R&D	Research and development
SM	Service management
Ton	Tonelada
w	Watt

LISTA DE SIGLAS

ACV	Avaliação do ciclo de vida
BI	Business Intelligence
BS	British Standards
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CTB	CleanTechBlock
EMF	Ellen MacArthur Foundation
ESG	Environmental, Social and Corporate Governance
GEE	Gases do efeito estufa
JCR	Journal Citation Reports
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PPGEP	Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE ACRÔNIMOS

CEI	Centro de Ecologia Industrial
CRETUS	Centro de Investigação Transdisciplinar em Tecnologias Ambientais
LESP	Laboratório de Estudos em Sistemas Produtivos Sustentáveis
ONU	Organização das Nações Unidas
SESCOOP	Serviço Nacional de Aprendizagem do Cooperativismo

SUMÁRIO

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	15
1.1 OBJETIVOS	19
1.1.1 Objetivo Geral	19
1.1.2 Objetivos Específicos	19
1.2 JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÕES	19
1.3 ÁREA DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO, LINHA DE PESQUISA, E GRUPO DE PESQUISA	21
1.4 ESTRUTURA DA TESE	22
2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	25
2.1 FASE 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
2.1.1 Principais Práticas de Economia Circular em Diferentes Áreas Organizacionais	26
2.1.2 Indicadores e Ferramentas Para Mensurar a Circularidade	27
2.1.3 Principais Implicações nos Negócios Para Gerar Impacto Positivo	29
2.1.4 Caracterização da Economia Circular de Alta Performance	30
2.2 FASE 2 - ESTRUTURAÇÃO DA FERRAMENTA	30
2.2.1 Contextualização, Requisitos, e Demandas Para a Ferramenta	30
2.2.2 Estrutura Para a Coleta de Dados	34
2.2.3 Indicadores de Circularidade	35
2.2.3.1 Indicador de circularidade para material e energia	35
2.2.3.2 Indicador de circularidade para material e energia proveniente de fonte renovável e não renovável	36
2.2.3.3 Abordagem de agregação de valor a partir do custo evitado	39
2.2.4 Escolha dos Níveis (Fronteira)	41
2.2.5 Visualização Gráfica Circular	42
2.2.6 Economia Circular de Alta Performance e Impacto Positivo	42
2.3 FASE 3 - VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA	45
2.3.1 Estudo de Caso 1	45
2.3.1.1 Definição do escopo do estudo de caso e local de aplicação	45
2.3.1.2 Coleta de dados no ambiente do estudo de caso 1	48
2.3.2 Estudo de Caso 2	51
2.3.2.1 Definição do escopo do estudo de caso e local de aplicação	51
2.3.2.2 Coleta de dados no ambiente do estudo de caso 2	52
2.3.3 Estudo de Caso 3	54
2.3.3.1 Definição do escopo do estudo de caso e local de aplicação	54
2.3.3.2 Coleta de dados no ambiente do estudo de caso 3	56
3 REFERENCIAL TEÓRICO	58
3.1 PRINCIPAIS PRÁTICAS DE ECONOMIA CIRCULAR EM DIFERENTES ÁREAS ORGANIZACIONAIS	58

3.2 INDICADORES E FERRAMENTAS.....	60
3.2.1 Estudos de nível acadêmico	61
3.2.2 Estudos de nível não acadêmico	64
3.2.3 Reflexão sobre circularidade: oportunidades e desafios dos indicadores.....	65
3.3 PRINCIPAIS IMPLICAÇÕES NOS NEGÓCIOS PARA GERAR IMPACTO POSITIVO	69
3.4 CARACTERIZAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR DE ALTA PERFORMANCE	72
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	77
4.1 ESTRUTURA DA FERRAMENTA	77
4.2 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA - ESTUDO DE CASO 1.....	80
4.2.1 Circularidade em Termos de Material - Estudo de Caso 1	80
4.2.2 Circularidade em Termos de Energia - Estudo de Caso 1	84
4.2.3 Circularidade em Termos de Fonte Renovável e Não Renovável - Estudo de Caso 1	86
4.2.4 Economia Circular de Alta Performance e Impacto Positivo - Estudo de Caso 1	88
4.3 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA - ESTUDO DE CASO 2.....	91
4.3.1 Circularidade em Termos de Material - Estudo de Caso 2	91
4.3.2 Circularidade em Termos de Fonte Renovável e Não Renovável - Estudo de Caso 2.....	93
4.3.3 Economia Circular de Alta Performance e Impacto Positivo - Estudo de Caso 2.....	95
4.4 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA - ESTUDO DE CASO 3.....	95
4.4.1 Circularidade em Termos de Material - Estudo de Caso 3	96
4.4.2 Circularidade em Termos de Fonte Renovável e Não Renovável - Estudo de Caso 3.....	99
4.4.3 Economia Circular de Alta Performance e Impacto Positivo - Estudo de Caso 3.....	101
4.5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	104
4.5.1 Discussão do Estudo de Caso 1	104
4.5.2 Discussão do Estudo de Caso 2	105
4.5.3 Discussão do Estudo de Caso 3.....	106
4.6 DESDOBRAMENTOS DA FERRAMENTA	107
4.6.1 Implicações da Ferramenta	107
4.6.2 Outras Aplicações Utilizando a Ferramenta e Possibilidades	109
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
5.1 CONCLUSÕES.....	111
5.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	112
5.3 OPORTUNIDADES PARA ESTUDOS FUTUROS	113
REFERÊNCIAS.....	114
APÊNDICE A - Indicadores e ferramentas de circularidade identificada no corpo na literatura científica	128

APÊNDICE B - Modelo da ficha para coleta de dados -	
Informações gerais da organização/produto	133
APÊNDICE C - Modelo da ficha para coleta de dados -	
Informações específicas da organização/produto	135
APÊNDICE D - Informações gerais da organização -	
Estudo de caso 1	137
APÊNDICE E - Informações específicas da organização -	
Estudo de caso 1	139
APÊNDICE F - Informações gerais do produto -	
Estudo de caso 2	149
APÊNDICE G - Informações específicas do produto -	
Estudo de caso 2	151
APÊNDICE H - Informações gerais da organização -	
Estudo de caso 3	155
APÊNDICE I - Informações específicas da organização -	
Estudo de caso 3	157

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A economia circular se posiciona como uma tendência positiva por ser uma abordagem amplamente discutida nas organizações públicas, privadas e no meio acadêmico. Não é trivial definir a abordagem com uma única expressão ou um único caminho. Por outro lado, alguns dos principais pesquisadores no mundo que vêm carregando o tema em pesquisas científicas, tentam defini-la. Baseada em uma estratégia para desacelerar (BOCKEN *et al.*, 2016) ou fechar os fluxos de materiais e energia, a literatura acadêmica apresenta termos e conceitos que levam o leitor a um caminho singular – transição de uma economia linear para uma circular. Para Stahel (2016), o objetivo é maximizar o valor em cada momento da vida (fases do ciclo de vida) de um produto.

Embora o conceito seja baseado em escolas de pensamento passadas, os desdobramentos da temática, inicialmente promovido por bases políticas da União Europeia e diversas instituições ao redor do mundo, tenta utilizar os ciclos da natureza para preservar materiais, energia e nutrientes para uso econômico (KORHONEN *et al.*, 2018). Não obstante, o termo refere-se a fusão das agendas de economia circular e bioeconomia, com vários graus de ênfase em bioprodutos e bioenergia (JAIN *et al.*, 2022), o foco mais proeminente da economia circular é a prosperidade econômica, seguido pela qualidade ambiental (KIRCHHERR *et al.*, 2017).

A instituição mundial com maior proatividade, de referência, e com reconhecimento internacional - *Ellen MacArthur Foundation* (EMF, 2013) tem avançado na difusão do conceito, na prática do tema, influenciando organizações privadas, formuladores de políticas públicas e acadêmicos. Com isso, devido ao elevado nível de discussão no que tange à pesquisa e aplicação de economia circular no contexto mundial, em 2017 lançou-se a norma *British Standards* (BS) 8001 (BSI, 2017), especificamente para tratar de diretrizes e apoiar princípios que incluem o projeto de disposição de resíduos, construção de resiliência por meio da diversidade, utilização de recursos renováveis, pensamento sistêmico, uso em cascata de recursos, fomentar a inovação, adoção de uma postura responsável pelas organizações, atuação em colaboração, e outros.

Um dos pilares dessa economia é reduzir o desperdício por meio da recaptura de valor, e tornar isso, no mais alto nível de circulação dentro de um

sistema produtivo. O foco da abordagem está em estreitar a entrada de matérias-primas virgens, evitar o uso de energia proveniente de fonte não renovável, e gerenciar os resíduos com foco na reutilização, para assim, permitir a criação de valor agregado por meio de serviços e soluções inteligentes de reuso (HAAS *et al.*, 2015), e promover ciclos múltiplos para estender a vida dos produtos, e, portanto, dos recursos. A conversão para um sistema econômico focado na economia e recuperação de recursos é fundamental (POPONI *et al.*, 2022). A abordagem considera vantagens ambientais e econômicas simultaneamente sob a noção de um desempenho regenerativo exigindo a circulação de nutrientes, garantindo a entrada e saída seguras desses nutrientes dentro e fora da esfera biológica (LIEDER e RASHID, 2016; NOYA *et al.*, 2017). Portanto, essa economia é restaurativa e regenerativa por natureza.

Não obstante, a economia circular não é um tema novo. Sua base teórica deriva, por exemplo, da Permacultura (MOLLISON e HOLMGREN, 1978), Ecologia Industrial (GRAEDEL, 1994; LIFSET e GRAEDEL, 2002), Design Regenerativo (LYLE, 1996), Biomimética (BENYUS, 1997), Capitalismo Natural (LOVINS *et al.*, 1999), *Cradle-to-Cradle* (MCDONOUGH e BRAUNGART, 2002), *Performance Economy* (STAHEL, 2010), Economia Azul (PAULI, 2010), e outras escolas de pensamento passadas.

Por isso, a economia circular tem avançado muito nas últimas décadas, mas ainda não se chegou a um ponto final sobre uma definição concreta e amplamente aceita pela comunidade (SALVADOR *et al.*, 2021). Desdobramentos, novas alternativas, e novos paradigmas ainda estão sendo descobertos. Com base nisso, estipula-se que para dar avanço nas práticas é necessária uma atuação de uma economia circular de alta performance, com o foco singular de gerar impacto positivo nos negócios. Isso pode ser possível a partir da mensuração da circularidade a nível organizacional e processual utilizando indicadores robustos, capazes de fornecer resultados que possam guiar o tomador de decisão a uma estratégia mais sustentável, limpa e circular.

Primeiramente, em uma economia circular de alta performance busca-se resultados que superam as expectativas através de uma simples aplicação de práticas ou conceitos baseados na economia circular. Em um sistema de alta performance os resultados são orientados pela qualidade e guiam diretrizes para a tomada de decisão, gerando assim, impacto positivo (ver DI MAIO e REM 2015;

UNGERMAN e DĚDKOVÁ 2020) em todas as fases do ciclo de vida (BARROS *et al.*, 2021).

Em termos de conceito, alta performance representa um conjunto de atributos relacionados ao desempenho em uma determinada tarefa, e os resultados positivos alcançados nela. Já o impacto positivo é representado por uma determinada tarefa, que por sua vez, gera um resultado apropriado e útil para determinado fim. Quando se fala em gerar impacto positivo nas organizações, a tendência de pensamento é gerar um impacto social ou econômico ou ambiental.

A economia de alta performance deve enxergar o todo (organização, processo, produto). Em segundo lugar, ter um negócio que gere, de fato, um impacto positivo não é trivial (SAIDANI *et al.*, 2017). Embora a medição e avaliação da performance da circularidade ainda não são uma prática comum nos negócios (SASSANELLI *et al.*, 2019), as organizações precisam endereçar as estratégias baseadas em sustentabilidade e circularidade, e buscar ferramentas densas para guiar o caminho mais sustentável e circular, com bases sólidas atreladas a inovação e a tecnologia. Aqui, o lema “só é gerenciado o que se pode medir” faz todo o sentido para atuar em uma economia circular de alta performance.

Nesse sentido, algumas ferramentas e indicadores para mensurar a economia circular estão estabelecidas no campo científico, como por exemplo, *Circular Economy Index* (DI MAIO e REM, 2015), *The Reuse Potential Indicator* (PARK e CHERTOW, 2014), *C-indicators* (SAIDANI *et al.*, 2019); e no campo não científico, como *Circle Economy* (2022), *Circularity Calculator* (2022), *Circular Economy Toolkit* (EVANS e BOCKEN, 2013), *Cradle Certified* (C2C, 2022). Cada ferramenta apresenta uma contribuição única com o objetivo de medir e apoiar uma economia circular mais eficaz. Essas métricas são valiosas para todas as partes interessadas que visam identificar e compreender como o sistema de uma organização, por exemplo, pode melhorar a circularidade.

Embora, existam ferramentas e indicadores de economia circular (como por exemplo, Índice de Economia Circular, Indicador Potencial de Reutilização, Índice Circular Sustentável), ainda falta uma ferramenta específica que promova uma economia circular mais avançada para gerar impacto positivo nos negócios, e isso se pode caracterizar como uma economia circular de alta performance. Portanto, o escopo da ferramenta proposta neste trabalho é baseado em algumas características: direciona-se para os negócios que apresentem processos

produtivos, com fluxos de material e energia, de modo que esses fluxos (ou parte deles) atuem de maneira circular e não linear dentro da organização. Os resultados da ferramenta são direcionados para os negócios e possui como objetivo possibilidade de desenvolver novos negócios (ou novos negócios circulares). A ferramenta apresenta características quantitativas em termos de apresentar os percentuais de circularidade dos processos e da organização, e um gráfico de cordas que mostra de modo circular todos os fluxos de material e energia que circulam dentro (interno) e fora (externo) da organização. Como dados de entrada da ferramenta, informações dos processos, origens e destinos dos fluxos e suas quantidades são necessárias.

Além disso, para gerar uma economia circular de alta performance, o fluxo de um sistema é identificado como externo, logo, esse é um potencial ponto para ser tratado estrategicamente pela organização. Nesse sentido, esse fluxo de origem ou destino externo da organização possui possibilidades de gerar impacto positivo no negócio levando em consideração o aspecto social, econômico, e ambiental da sustentabilidade por meio de uma iniciativa qualitativa.

Considerando a economia circular aplicada aos negócios sustentáveis, há uma necessidade constante de discutir e apresentar formas de aplicação, e assim, facilitar o desenvolvimento sustentável nas organizações. Deste modo, este trabalho traz alguns contributos: (i - teoria) proporciona a academia científica uma visão coerente sobre as principais práticas de economia circular em diferentes áreas organizacionais; relata alguns indicadores e ferramentas disponíveis na literatura e no mercado; apresenta as principais implicações nos negócios para gerar impacto positivo; e, caracteriza a economia circular de alta performance; (ii - método) fornece aos profissionais uma nova ferramenta para mensurar a circularidade a nível de processo e organização, fomentando uma economia circular de alta performance; e, (iii - prática) fornece resultados práticos referente a problemas reais do mercado em três estudos de casos utilizando a ferramenta proposta neste trabalho (nomeada de *Circular2Impact*), com diretrizes e prognósticos em termos de práticas de economia circular para gerar impacto positivo no negócio.

Além disso, a composição dos resultados deste trabalho, até o momento, teve a oportunidade de gerar uma publicação científica internacional, de relevância acadêmica para o campo da pesquisa (ver BARROS *et al.*, 2021).

Portanto, com base na atual literatura existente, este estudo parte da seguinte questão de pesquisa: **“Como promover uma economia circular de alta performance para gerar impacto positivo nos negócios?”**.

Esta questão de pesquisa moldou os objetivos deste estudo:

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Propor uma ferramenta que promova uma economia circular de alta performance para gerar impacto positivo nos negócios.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Caracterizar a economia circular de alta performance e impacto positivo;
2. Definir os requisitos da ferramenta;
3. Estruturar a ferramenta;
4. Validar a ferramenta em diferentes aplicações;
5. Indicar potenciais desdobramentos da ferramenta mediante as necessidades dos negócios para agregar uma economia circular de alta performance e impactos positivos.

1.2 JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÕES

O presente trabalho se justifica por meio de alguns aspectos:

- Lacuna de pesquisa: inicialmente as lacunas de pesquisa podem ser identificadas na literatura científica, e na necessidade das empresas em mensurar a circularidade. Por isso, alguns autores devem ser mencionados no que recorre à falta de métodos e indicadores padronizados para uma avaliação de economia circular (ELIA *et al.*, 2017; SAIDANI *et al.*, 2017; SAIDANI *et al.*, 2019; MORAGA *et al.*, 2019; KRISTENSEN e MOSGAARD, 2020).

- Originalidade e ineditismo: a novidade proposta neste trabalho refere-se no desenvolvimento de uma ferramenta com o objetivo de gerar impacto positivo e solucionar problemas reais do setor produtivo. Inicialmente, uma busca exploratória por trabalhos publicados na literatura científica e na literatura cinza (ver capítulo 3.2) mostrou que não existem ferramentas com as características e com o foco apresentadas aqui. Tendo em vista esta iniciativa como pioneira, os resultados e contribuições direcionam-se para o meio científico em termos da nova perspectiva envolvendo uma economia circular de alta performance (sustentado pelo aspecto teórico), e levando em consideração o requisito do mercado (sustentado pelo apelo prático). Ainda nessa perspectiva, com o objetivo de verificar diferentes aplicações, em diferentes setores, e em países distintos, o trabalho contou com a aplicação de três estudos de casos.
- Impacto social: a atuação da economia circular de alta performance nos negócios com o objetivo de gerar resultados de impacto positivo em termos sociais pode influenciar a geração de emprego sustentável, distribuição de renda, desenvolvimento territorial, e desenvolvimento social local e regional.
- Impacto econômico: a atuação da economia circular de alta performance nos negócios com o objetivo de gerar resultados de impacto positivo em termos econômicos pode apoiar a agregação de valor dos recursos, produtos e serviços; possibilidades de redução de custos com matéria-prima extraída da natureza; apoiar no desenvolvimento de novos negócios e novos modelos de negócios circulares.
- Impacto ambiental: a atuação da economia circular de alta performance nos negócios com o objetivo de gerar resultados de impacto positivo em termos ambientais pode atuar com a redução de uso de material virgem; influenciar o uso de material e energia proveniente de fonte renovável; internalizar e recircular os recursos dentro do sistema produtivo; tornar a cadeia produtiva mais eficiente e limpa; ampliar a eficiência energética; relatar ações de ESG (*Environmental, Social and Corporate Governance*); fomentar iniciativas de redução dos gases do efeito estufa (GEE), e então, caminhar em direção a emissões *net-zero*.

- Relevância para os negócios: a inserção de alternativas em prol da economia circular nos negócios pode trazer benefícios consistentes através da aplicação da ferramenta. As organizações podem beneficiar-se de requisitos competitivos, estratégicos e sustentáveis. A ferramenta estabelecida aqui resolve um problema real do setor produtivo. O objetivo é impulsionar o progresso tecnológico, permitindo a transição para um caminho mais sustentável e circular a médio e longo prazo.
- Agenda 2030: as aplicações que o trabalho aborda estão alinhadas com algumas metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) desenvolvido pelas Organizações das Nações Unidas (ONU, 2015) para integrar e equilibrar as contribuições socioambientais. Entre os 17 Objetivos, as aplicações estão vinculadas na promoção da agricultura sustentável (ODS 2); acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia (ODS 7); crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável (ODS 8); indústria e infraestrutura (ODS 9); padrões de produção e de consumo sustentável (ODS 12); medidas para combater a mudança climática e seus impactos (ODS 13); fortalecimento de parcerias e meios de implementação para o desenvolvimento sustentável (ODS 17).

1.3 ÁREA DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO, LINHA DE PESQUISA, E GRUPO DE PESQUISA

Primeiramente, este estudo encontra-se inserido no contexto da Engenharia de Produção, atuando na grande área nomeada Engenharia da Sustentabilidade segundo a Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO, 2008). Esta área aprofunda-se na ampla temática de sustentabilidade. Portanto, de maneira geral, o desenvolvimento deste estudo trata (mas não limitado á) de questões ambientais, como, economia circular, circularidade, recursos naturais, e resíduos; questões econômicas, como possibilidades de agregação de valor, novas oportunidades de negócios, e custo evitado; e sociais, como possibilidades de geração de emprego, renda e desenvolvimento social.

O presente estudo tem aderência com a área de concentração do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP): Gestão Industrial. O

Programa possui a missão de formar recursos humanos de alta qualidade, voltados à pesquisa, docência e extensão, a fim de promover desenvolvimento tecnológico, inovação e sustentabilidade em nível nacional e internacional na área de Engenharia de Produção. Da mesma forma, este estudo contém características atreladas ao escopo e objetivo do Programa no sentido da promoção de inovação e sustentabilidade em um viés teórico, mas principalmente prático.

Quanto à Linha de Pesquisa: Gestão do Conhecimento e Inovação. O trabalho apresenta descobertas no contexto da economia circular de alta performance e negócios de impacto. A geração de conhecimento foi baseada no levantamento da literatura científica da temática. A inovação pode ser observada diante da proposta da ferramenta para estimular essa nova economia nomeada de alta performance, além de poder gerar transferência de conhecimento nas etapas de uso e aplicação.

Por fim, o Grupo de Pesquisa que o autor deste trabalho atuou foi no Laboratório de Estudos em Sistemas Produtivos Sustentáveis (LESP). O laboratório destaca-se pela atuação em diversas temáticas, como por exemplo, pensamento do ciclo de vida, engenharia econômica para sustentabilidade, suporte a decisão para sustentabilidade, bioenergia e biocombustíveis, economia circular, temas sociais, e outros. O desenvolvimento de pesquisas científicas nacionais e internacionais, e projetos junto ao setor industrial são pautas que fazem parte da agenda do laboratório.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

O trabalho foi estruturado em cinco capítulos.

O primeiro capítulo apresentou uma introdução ao tema, a pergunta de pesquisa, o objetivo geral, os objetivos específicos, as justificativas, e a estrutura da tese.

Os procedimentos metodológicos do trabalho são descritos no segundo capítulo, segregado em três fases: revisão bibliográfica, estruturação da ferramenta, e validação da ferramenta.

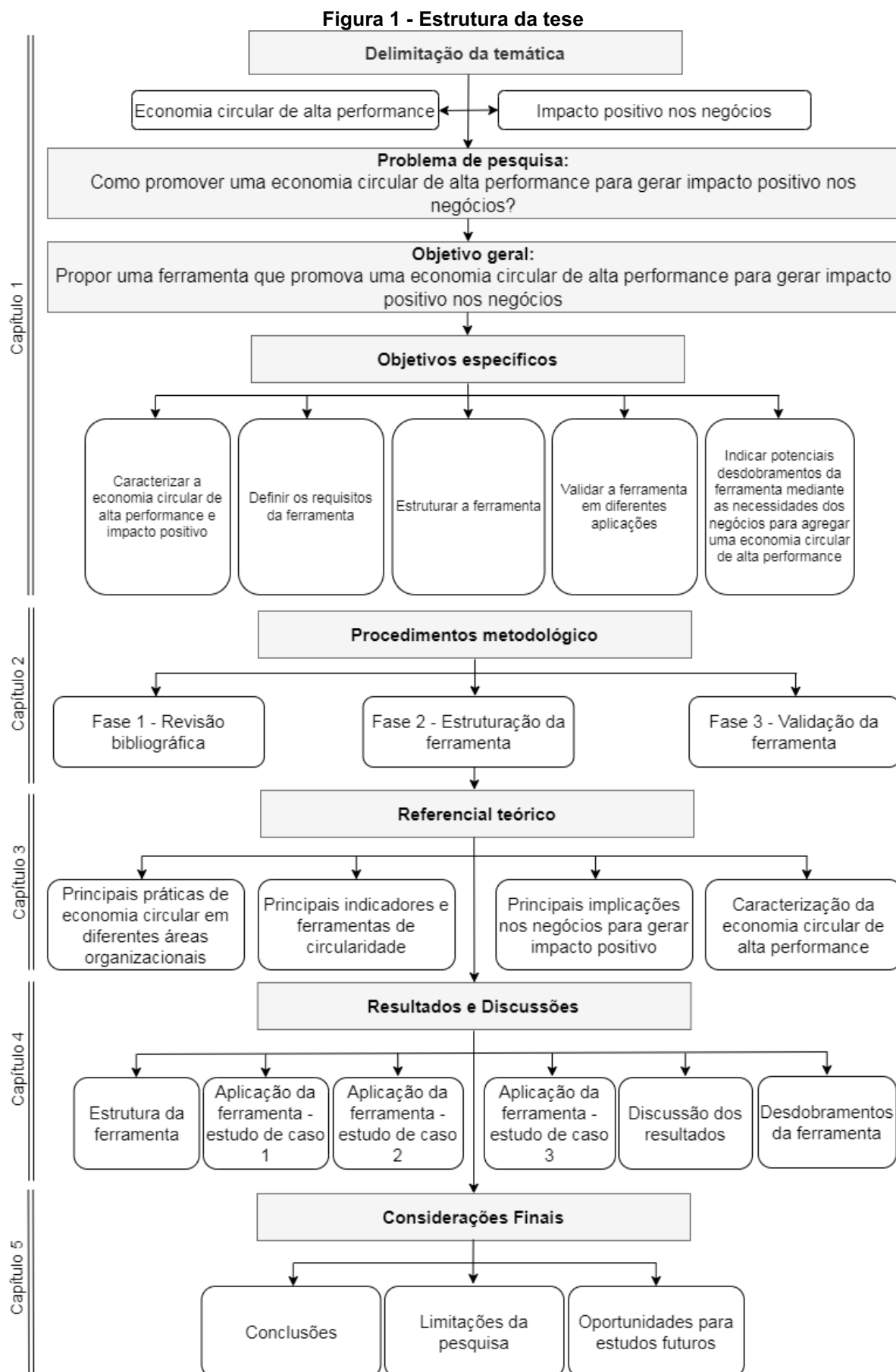
O terceiro traz à luz o referencial teórico da temática, incluindo uma discussão sobre as principais práticas de economia circular em diferentes áreas

organizacionais; os principais indicadores e ferramentas identificados na literatura científica e na literatura cinza para mensurar a circularidade; as principais implicações nos negócios para gerar impacto positivo; e caracterização da economia circular de alta performance.

Na sequência, os resultados que a ferramenta pode gerar; os resultados da aplicação da ferramenta para os três estudos de casos; as discussões dos resultados; e os desdobramentos da ferramenta estão estruturados no quarto capítulo.

Por fim, o último capítulo apresenta as conclusões, as limitações da pesquisa, e as oportunidades para estudos futuros.

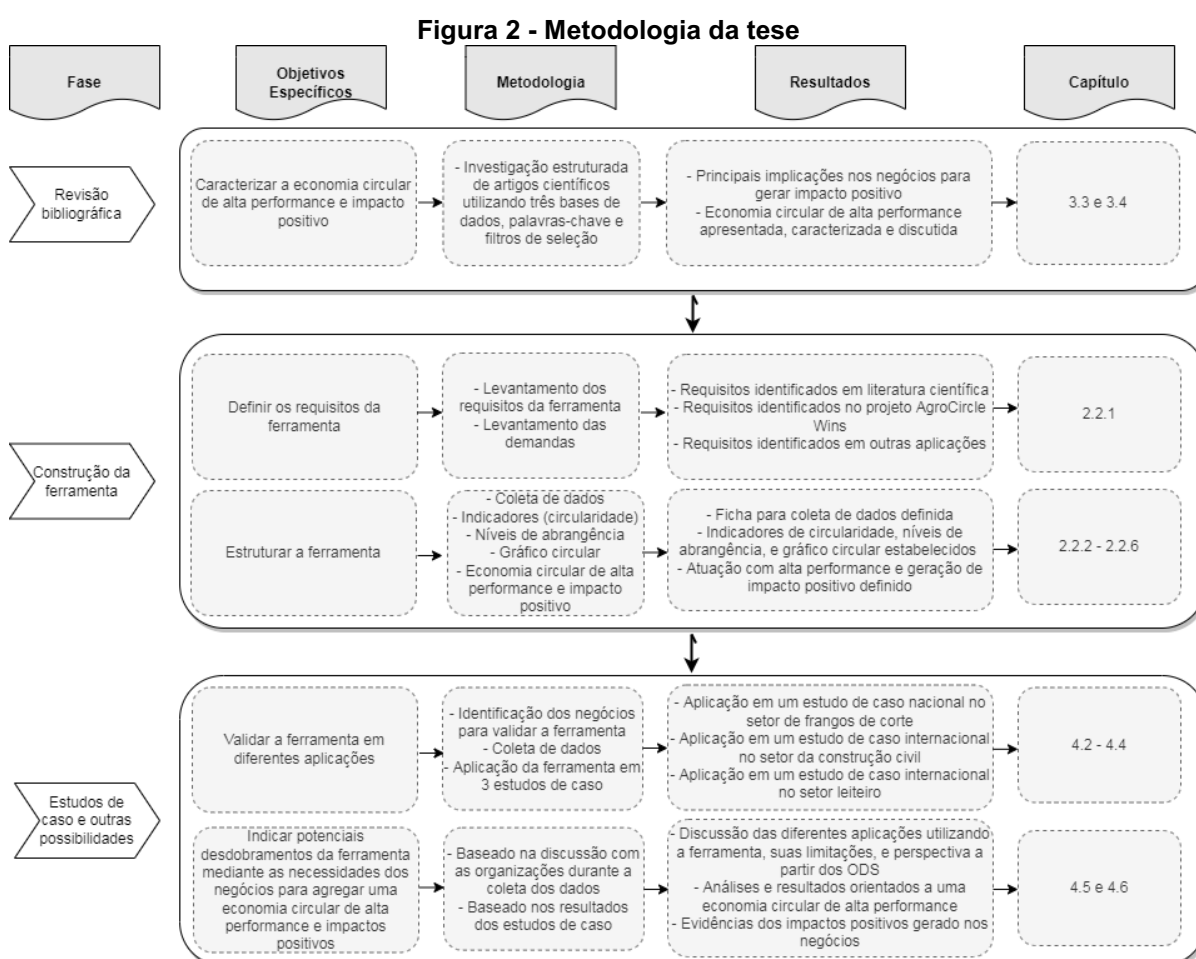
Portanto, a Figura 1 apresenta a estruturação da tese.



Fonte: Autoria própria (2022)

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O arcabouço metodológico da tese foi segregado e detalhado com o objetivo de manter o rigor metodológico de um trabalho científico. De acordo com a Figura 2, apresenta-se a revisão bibliográfica da temática, nomeada de Fase 1, e subdividida no primeiro objetivo específico do trabalho. Na sequência, a Fase 2, apresenta a estruturação da ferramenta proposta, também subdividida em dois objetivos específicos (segundo e terceiro). E por fim, a Fase 3, mostra a validação da ferramenta, contemplando os dois últimos objetivos específicos do trabalho. Portanto, a Figura 2 exibe em tópicos a metodologia adotada, os resultados, e em que capítulo se encontra cada descrição dos resultados.



Fonte: Autoria própria (2022)

2.1 FASE 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a realização do levantamento científico bibliográfico, quatro frentes foram desenvolvidas para a composição final deste trabalho. Os principais temas que sustentam o trabalho foram: as principais práticas de economia circular em diferentes áreas organizacionais (capítulo 2.1.1); os principais indicadores e ferramentas identificados na literatura científica e na literatura cinza para mensurar a circularidade (capítulo 2.1.2); as principais implicações nos negócios para gerar impacto positivo (capítulo 2.1.3); e a caracterização da economia circular de alta performance (capítulo 2.1.4).

2.1.1 Principais Práticas de Economia Circular em Diferentes Áreas Organizacionais

Uma revisão sistemática da literatura foi realizada para analisar as principais práticas de economia circular em diferentes áreas organizacionais que ajudam a nortear uma gestão sustentável dos negócios.

Em termos metodológicos, cinco etapas foram realizadas nesta revisão.

1. Três bases de dados foram utilizadas (*Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science*) com as seguintes palavras-chave: (“*circular economy*” OR CE) AND (“*sustainable business*”). Essas buscas resultaram em 182 estudos (incluindo todos os tipos de documentos, como pesquisas originais e artigos de revisão, livros e capítulos de livros e anais de conferências). A pesquisa foi realizada em outubro de 2020 e não houve a especificação de período temporal para a busca dos documentos.
2. Todos os documentos duplicados foram excluídos do portfólio bruto. Além disso, nesta etapa também foi excluído todos os documentos escritos em outros idiomas que não o inglês.
3. Os documentos remanescentes da etapa anterior tiveram seus títulos e palavras-chave triados e a seguinte pergunta decidiu manter ou não o documento no portfólio final: esta pesquisa contribui para identificar como a economia circular pode nortear a gestão sustentável dos negócios dentro das áreas organizacionais?

4. Após os títulos e palavras-chave, nesta etapa os resumos foram triados e a mesma pergunta foi realizada a fim de manter ou não o documento no portfólio final: esta pesquisa contribui para identificar como a economia circular pode nortear a gestão sustentável dos negócios dentro das áreas organizacionais?
5. Após a etapa de filtragem pelos resumos, os documentos foram lidos na íntegra e passaram, mais uma vez, pela pergunta para a decisão de manter ou não o documento no portfólio final: esta pesquisa contribui para identificar como a economia circular pode nortear a gestão sustentável dos negócios dentro das áreas organizacionais?

Ao final das etapas, o portfólio final resultou na análise de 38 documentos. Esse material serviu para identificar as principais áreas organizacionais e também para subsidiar a discussão dos impactos da economia circular em cada uma dessas áreas. Portanto, as principais áreas identificadas foram: planejamento estratégico, gestão de custos, gestão circular da cadeia de suprimentos, gestão da qualidade, gestão ambiental, gestão de processos, logística e logística reversa, gestão de serviços e pesquisa e desenvolvimento.

Esta identificação foi feita através da observação qualitativa das áreas de negócio que foram afetadas pelas iniciativas de economia circular nos diferentes enquadramentos, discussões e estudos de caso observados na literatura analisada. Por fim, após a identificação das áreas, foram discutidos os principais papéis desempenhados pela economia circular em cada uma das áreas de negócios. Os resultados encontrados para esse pilar do trabalho tiveram a oportunidade de ser publicado em um artigo científico (ver BARROS *et al.*, 2021), e também podem ser vistos, de modo resumido e referenciado, no capítulo 3.1 deste trabalho.

2.1.2 Indicadores e Ferramentas Para Mensurar a Circularidade

Como forma de sustentar as bases do referencial teórico da temática do trabalho, e ao mesmo tempo, mostrar as lacunas de pesquisa, foram levantados os principais indicadores e ferramentas (na literatura científica e na literatura cinza) para mensurar a circularidade nas organizações, processos e produtos.

A metodologia aplicada para esta revisão sistemática da literatura foi estabelecida seguindo cinco etapas, como segue a descrição.

1. Busca utilizando as seguintes palavras-chave ("*circular economy*") AND ("*circularity*" OR "*indicator*" OR "*index*") em três bases de dados: *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science*, incluindo todos os tipos de documentos, como pesquisas originais e artigos de revisão, livros e capítulos de livros e anais de conferências. A pesquisa foi realizada em abril de 2021 e não houve a especificação de período temporal para a busca dos documentos. Essas buscas resultaram em um total de 2887 documentos.
2. Todos os documentos duplicados e escritos em outros idiomas que não o inglês foi excluído. Além disso, a literatura cinza (documentos que não são artigos revisados por pares) foi excluída.
3. Nesta etapa foram lidos todos os títulos, resumos e palavras-chave, e excluídos os documentos que não tinham relação com o tema e escopo para a composição desta revisão.
4. Após a seleção por meio do filtro de título, resumo e palavras-chave, os demais documentos foram recuperados e lidos, e mais uma vez, foram excluídos os documentos que não tinham relação com o tema e escopo para esta revisão.
5. Todos os documentos restantes foram selecionados e constituíram uma análise na íntegra para dar suporte aos resultados do referencial teórico apresentado para esta abordagem.

Por fim, 51 documentos foram estabelecidos para o portfólio final e serviram de base para a análise das características dos artigos e também para uma discussão sobre circularidade. Esses documentos compõem artigos de revisão e artigos completos. Contudo, com o objetivo de identificar os indicadores e ferramentas de circularidade estabelecidas no corpo da literatura científica (n: 24 documentos), algumas características destes estão detalhadas no Quadro 5 (Apêndice A).

As características analisadas nos documentos estão descritas a seguir. O país e a instituição representam as informações do primeiro autor de cada estudo. Além disso, os documentos foram classificados em três categorias: (i) dimensão do

impacto (ambiental, econômico ou social), (ii) área de aplicação, e (iii) nível de aplicação ou potencial (macro, meso ou micro). Para as categorias (i) e (ii) cada estudo pode ter abordado mais de uma classificação ou pode não ter abordado nenhuma das classificações na categoria, portanto, o número total de observações pode não corresponder ao número total de artigos. O Fator de Impacto (FI) se refere ao ano de 2021 (ano base 2020) e foi extraído do *Journal Citation Reports* (JCR). O número de citações de cada documento foi verificado no Google Acadêmico em junho de 2022.

Para a análise dos indicadores e ferramentas de circularidade da literatura cinza (ou a nível não acadêmico) foram consultados *web sites*, relatórios e outros documentos.

Portanto, esta discussão foi realizada através da observação qualitativa nos diferentes enquadramentos dos indicadores e ferramentas identificadas tanto na revisão sistemática da literatura quanto na literatura cinza. Atrelado a isso, desafios e oportunidades puderam ser identificados e listados para o desenvolvimento e aplicação de indicadores e ferramentas de circularidade. Os resultados encontrados para esse pilar do trabalho podem ser vistos no referencial teórico deste trabalho (capítulo 3.2).

2.1.3 Principais Implicações nos Negócios Para Gerar Impacto Positivo

Com o objetivo de apresentar um panorama das principais implicações nos negócios para gerar impacto positivo, uma revisão sistemática da literatura científica foi realizada. O método empregado nesta revisão foi estabelecido seguindo os mesmos critérios apresentados no capítulo 2.1.2. De fato, a palavra chave 'impacto positivo' não consta na busca sistemática. Houve a tentativa de incluí-la, no entanto, o número de respostas de documentos foi baixo. Mesmo assim, foi possível gerar uma discussão ampla em termos de impacto positivo.

Portanto, a partir do portfólio final de documentos selecionados foram extraídas discussões baseadas nas implicações para gerar impacto positivo, tendo em vista as implicações geradas a partir da mensuração da circularidade nas organizações. Os resultados para este desdobramento do referencial teórico do trabalho pode ser visto no capítulo 3.3.

2.1.4 Caracterização da Economia Circular de Alta Performance

O trabalho trás a luz da literatura científica uma nova perspectiva envolvendo uma economia circular de alta performance e impacto positivo. Levando em conta esse importante e inédito apelo teórico, o trabalho trouxe isso como sendo o primeiro objetivo específico do estudo.

O procedimento metodológico empregado neste capítulo para compor os resultados do referencial teórico para este pilar do trabalho foi realizado seguido algumas técnicas e procedimentos, como segue a descrição.

- Análise dos documentos identificados no portfólio final da revisão do capítulo 2.1.1.
- Análise dos documentos identificados no portfólio final da revisão do capítulo 2.1.2.
- Busca utilizando as referências dos documentos identificados nas etapas anteriores.
- Busca em outras bases de dados, como por exemplo, Google Acadêmico.

Nesse sentido, uma apresentação, caracterização e discussão foram realizadas através da observação qualitativa nos documentos e materiais identificados na literatura. Os resultados estão compilados no referencial teórico deste pilar do estudo (capítulo 3.4).

2.2 FASE 2 - ESTRUTURAÇÃO DA FERRAMENTA

Este capítulo aborda dois objetivos específicos do trabalho, ou seja, “definir os requisitos da ferramenta”, e “estruturar a ferramenta”. Ambos estão descritos a seguir.

2.2.1 Contextualização, Requisitos, e Demandas Para a Ferramenta

A ferramenta proposta neste estudo possui bases no trabalho de dissertação de mestrado (ver BARROS, 2019) - autor deste trabalho. Na ocasião do exame de qualificação de mestrado, a banca avaliadora recomendou a mudança de nível de

mestrado para doutorado, com defesa de dissertação. Desta forma, optou-se por dar sequência no estudo iniciado, no sentido de justificar a mudança de nível, e avançar no estudo devido a sua importância. Portanto, este documento traz novos e inéditos indicadores de circularidade, e novas aplicações para a composição da ferramenta de economia circular de alta performance (nomeada de *Circular2Impact*). A ferramenta proposta é uma composição de indicadores de circularidade (ver capítulo 2.2.3), visualização gráfica circular (ver capítulo 2.2.5), e economia circular de alta performance e impacto positivo (ver capítulo 2.2.6).

A título de contextualização, iniciou-se a construção da presente ferramenta finalizada neste trabalho em meados de 2018, a partir da aprovação do projeto nomeado de AgroCircleWins, que compôs a chamada do CNPq/SESCOOP nº 07/2018, Faixa A, Processo 403267/2018-8, financiado pelo Serviço Nacional de Aprendizagem do Cooperativismo (SESCOOP) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). A equipe do projeto foi estabelecida pelo autor deste trabalho, seu orientador, e dois bolsistas na categoria de iniciação científica. O objetivo desse projeto foi desenvolver um modelo para economia circular em intercooperações agroindustriais que promova sustentabilidade, inovação e competitividade. Para cumprir com o objetivo do projeto, o modelo desenvolvido foi inserido em uma ferramenta disponibilizada de modo online e gratuito (agrocirlewins.com.br). O projeto desenvolveu uma ferramenta com apenas um indicador de circularidade (em termos de material e energia). O projeto ocorreu de forma paralela ao desenvolvimento da dissertação de mestrado do aluno autor deste trabalho. Ambos entregaram uma ferramenta de circularidade mais enxuta do que a desenvolvida neste trabalho, e, portanto, serviu como base para a construção da *Circular2Impact*.

Nesse sentido, a ferramenta que o autor deste trabalho traz para a composição dos resultados finais da tese avança em alguns aspectos, tais como, indicador de circularidade para material e energia proveniente de fonte renovável e não renovável; abordagem de custo evitado; oportunidade para atuar com uma economia circular de alta performance; e gerar impacto positivo no negócio.

Em termos da ferramenta, este trabalho teve a visão de estabelecer o uso para aplicações em negócios/organizações genéricas, estabeleceu novos indicadores de circularidade, de modo que os fluxos externos possam ter

possibilidades de ser internalizados, gerando assim, opções de atuar com uma economia circular de alta performance e impacto positivo.

Portanto, os objetivos da ferramenta são: apresentar de forma gráfica (gráfico de cordas) fluxos internos e externos (de material e/ou energia), com os respectivos percentuais de circularidade de cada processo, para que o usuário possa tomar decisão em termos de internalizar esses fluxos para dentro do sistema, com o foco em agregar valor no negócio, gerar uma economia circular de alta performance, e impacto positivo. Além disso, como resultado, a ferramenta tem o foco em gerar possibilidades de desenvolver novos negócios (incluindo novos negócios circulares).

Nesse sentido, o Quadro 1 foi construído baseado em perspectivas da literatura científica e literatura cinza, e apresenta os requisitos e demandas para a ferramenta. O procedimento metodológico para levantar os requisitos e demandas foi baseado na revisão sistemática de literatura a partir da leitura dos documentos estabelecidos no portfólio final descrito no capítulo 2.1.2.

Quadro 1 - Requisitos e demandas para a ferramenta

Requisitos da ferramenta	Demandas identificadas	Fonte da demanda
Mensurar a circularidade de negócios e seus processos, e gerar um diagnóstico em diferentes níveis de abrangência, como por exemplo, micro, meso e macro.	Mensurar a circularidade em diferentes níveis de abrangência em sido explorado por diversos autores na literatura científica. Portanto, os níveis de abrangência é um requisito importante para a ferramenta.	Projeto AgroCircleWins; De Pascale et al. (2021); Vinante et al. (2021); Velasco-Muñoz et al. (2021); Harris et al. (2020); Linder et al. (2017); Moraga et al. (2019).
Gerar um diagnóstico dos fluxos que atravessam os processos em termos de material, e energia.	A literatura científica também aborda de maneira geral a relevância de atuar com as três perspectivas da sustentabilidade nas avaliações de circularidade.	Projeto AgroCircleWins; Barcelos et al. (2021); Corona et al. (2019); Saidani et al. (2019).
Rastrear e quantificar as origens e destinos de todos os fluxos, permitindo uma visão da organização, do processo, do produto, ou do serviço.	Outra demanda identificada é a visão global (por inteiro) da organização e seus processos em termos de entradas e saídas de material, energia e monetário.	Moraga et al. (2019); Saidani et al. (2019); Barros et al. (2021).
Rastrear os fluxos que são provenientes de fonte renovável e fóssil.	Não faz sentido mapear os fluxos de material e energia sem considerar se estes são de origem renovável ou não renovável.	De Jesus et al. (2021); Corona et al. (2019); Barros et al. (2021).

Requisitos da ferramenta	Demandas identificadas	Fonte da demanda
Visualizar claramente os fluxos externos a organização, e ter a oportunidade de internalização.	Mapear o estado atual da organização em termos de circularidade e avaliar um estado futuro (cenário futuro) pode fomentar iniciativas para aumentar a circularidade.	Projeto AgroCircleWins; Barros <i>et al.</i> (2021); Barcelos <i>et al.</i> (2021).
Apresentar os percentuais de circularidade dos processos e da organização para todos os níveis estipulados.	O lema “só é gerenciado o que se pode medir” justifica a atuação com os percentuais de circularidade. Os indicadores apontam se o processo/fluxo está em direção a um caminho mais circular ou não.	Projeto AgroCircleWins; Saidani <i>et al.</i> (2019).
Identificar oportunidades de novos desenvolvimentos de negócios, modelos de negócios circulares, e atividades para internalização por meio dos fluxos e processos externos.	O mercado está em constante mudança, e novos modelos de negócios <i>business-to-business</i> (B2B) e <i>business-to-consumer</i> (B2C) tem surgido. Um novo modelo de negócio tentando fugir do linear tem sido substituído pelo modelo de negócio circular.	Salvador <i>et al.</i> (2020); Barcelos <i>et al.</i> (2021).
Identificar os fluxos externos, e com isso, fomentar o estabelecimento de parcerias locais e regionais, ou por meio de cooperativas, para internalizar os fluxos e consequentemente aumentar a circularidade.	Criar e atuar em parcerias e em cooperação faz todo o sentido nos negócios para potencializar o mercado local/regional, gerar mais renda e desenvolvimento territorial.	Barros <i>et al.</i> (2021); Salvador <i>et al.</i> (2020).
Identificar os processos externos, e com isso, fomentar a criação de um negócio interno baseado em uma economia circular de alta performance mediante a resultados mensurados (pelos indicadores) e não de forma qualitativa (práticas ou conceitos).	A demanda de ampliar a ferramenta existente no projeto AgroCircleWins para uma abordagem mais genérica (e não focado no agronegócio), robusta, que incluía qualquer tipo de negócio, e ofereça uma resposta rápida para a solução de um problema faz parte desse requisito identificado.	Projeto AgroCircleWins; Literatura cinza (mercado, relatórios, outras ferramentas).

Fonte: Autoria própria (2022)

Todavia, estipula-se que requisitos mínimos para poder aplicar a ferramenta são necessários, tais como:

- Informar os fluxos de material e/ou energia;
- Informar os nomes dos processos existentes na organização;
- Informar os fluxos existentes com origens e destinos;
- Informar a quantificação normalizada dos fluxos em termos de material e/ou energia;

- Selecionar os fluxos de origem renovável e não renovável;
- Delimitar o(s) nível(is) de abrangência;
- Selecionar quais fluxos são internos e quais são externos em cada nível.

Os próximos capítulos apresentam um passo a passo de como aplicar a ferramenta seguindo uma ordem cronológica, e atua na resposta do terceiro objetivo específico do trabalho “estruturar a ferramenta”. O capítulo 2.2.2 relata o formato da coleta de dados e dá um guia para isso. O capítulo 2.2.3 mostra todos os indicadores que estão contidos na ferramenta, e como fazer uso deles (material e energia; material e energia proveniente de fonte renovável e não renovável). O capítulo 2.2.4 apresenta como escolher/identificar os níveis de abrangência/fronteira. O capítulo 2.2.5 exhibe o gráfico circular desenvolvido para a ferramenta, e opções de como construí-lo. Por fim, o capítulo 2.2.6 mostra como atuar com uma economia circular de alta performance, e como gerar impacto positivo no negócio.

2.2.2 Estrutura Para a Coleta de Dados

O presente capítulo apresenta a forma de estruturação da ficha para a coleta de dados. A primeira etapa para iniciar o uso da ferramenta a coleta dos dados. Nesse sentido, desenvolveu-se uma estrutura padrão para a coleta de dados (ver Apêndice B e C). Essa estrutura é uma orientação para facilitar a coleta de dados. As informações coletadas precisam ser legítimas e confiáveis, com o objetivo de gerar um resultado mais próximo da realidade, por isso, recomenda-se que a coleta seja realizada em campo, auxiliando a visualização e o entendimento dos processos, dos fluxos e da organização de maneira geral. Além disso, espera-se que o(s) sujeito(s) da pesquisa detenha o conhecimento de todos os processos, fluxos e sistema produtivo do negócio e possa(m) transmitir todas as informações necessárias para a condução na aplicação da ferramenta.

A estrutura da coleta de dados é baseada, inicialmente, em identificar informações da organização, como nome da empresa, ramo de atuação, localização, responsável e contato do gestor da empresa, responsável e contato do sujeito da pesquisa, número de processos existentes no sistema produtivo, cobertura temporal das informações coletadas, data da coleta de dados, e campo livre para

observações (ver Apêndice B). Na sequência, o objetivo é identificar os processos existentes, os fluxos de material, energia, suas origens e destinos (fornecedor e cliente), tipo de material (renovável, não renovável), valor monetário, possibilidade de internalizar (economia circular de alta performance), e o âmbito da sustentabilidade para gerar impacto positivo (ver Apêndice C).

2.2.3 Indicadores de Circularidade

Os indicadores são considerados um conjunto de indicadores de circularidade, e, portanto, compõe o estabelecimento da ferramenta desenvolvida neste trabalho nomeada de *Circular2Impact*. O capítulo 2.2.3.1 mostra o indicador de circularidade para material e energia, o capítulo 2.2.3.2 mostra o indicador de circularidade para material e energia proveniente de fonte renovável e não renovável, e o capítulo 2.2.3.3 apresenta a abordagem de agregação de valor a partir do custo evitado.

2.2.3.1 Indicador de circularidade para material e energia

O indicador de circularidade em termos de material e energia foi desenvolvido previamente na dissertação de Barros (2019), autor deste trabalho, e foram utilizadas nesse trabalho para a avaliação da circularidade em termos de material e energia.

As informações necessárias para aplicar esse indicador recorrem a ficha para coleta de dados (ver Apêndice C), principalmente as informações que constam nas colunas de entrada: “fornecedor”, “material/energia”, “quantidade/especificação”, e nas colunas de saída: “material/energia”, “quantidade/especificação”, e “cliente”.

O fornecedor representa o nome do processo que determinado material/energia (fluxo) tem origem. O material/energia é, de fato, o nome dado a determinado material ou tipo de energia. A quantidade/especificação representa a quantidade mensurada em massa (kg, ton, por exemplo) em termos de material; e a quantidade mensurada em energia (kWh, J, por exemplo), podendo ser caracterizada em energia elétrica, térmica, ou outro tipo. Vale ressaltar que todas as quantidade/especificação em massa precisam ser inseridas na mesma unidade de

medida, ou seja, normalizada. O mesmo vale para a quantidade/especificação em termos de energia.

Como resultado, o indicador apresenta uma circularidade (entre 0 e 100%) para todos os processos da organização, levando em consideração material e energia; e também apresenta uma circularidade (entre 0 e 100%) para a organização, levando em consideração material e energia.

Por fim, destaca-se, que o usuário pode aplicar esse indicador, ou somente para material, ou somente para energia, ou para ambos. Não é um pré-requisito haver a aplicação para as duas abordagens.

2.2.3.2 Indicador de circularidade para material e energia proveniente de fonte renovável e não renovável

Inicialmente, identificou-se a necessidade de novos indicadores de circularidade para a composição dos resultados da *Circular2Impact*. Nesse sentido, esse indicador possui como base as características levantadas no Quadro 1.

Foi desenvolvido um indicador de circularidade para segregar as fontes dos materiais e energia em termos de renovável e fóssil. As informações necessárias para aplicar esse indicador recorrem a ficha para coleta de dados (ver Apêndice C), principalmente as informações que constam nas colunas “fonte (R ou NR)”, além das informações que constam nas colunas de entrada: “fornecedor”, “material/energia”, “quantidade/especificação”, e nas colunas de saída: “material/energia”, “quantidade/especificação”, e “cliente”.

O usuário precisa ter um conhecimento prévio ou fazer uma pesquisa para preencher a informação na ficha de coleta de dados se determinado material/energia é proveniente de fonte renovável ou fóssil.

Esse indicador é aplicado (i) nos processos existentes da organização, e (ii) na organização, como está explicado a seguir.

(i) O indicador é aplicado para os processos individuais (cada processo da organização apresenta um percentual de uso de fonte renovável. O percentual faltante até os 100% representa o uso da fonte não renovável). O cálculo da circularidade de cada processo com origem de fluxo renovável deve ser feito de acordo com a Equação (1).

A quantidade/especificação representa a quantidade mensurada em massa (kg, ton, por exemplo) em termos de material; e a quantidade mensurada em energia (kWh, J, por exemplo), podendo ser caracterizada em energia elétrica, térmica, ou outro tipo. Todas as quantidade/especificação em massa precisam ser inseridas na mesma unidade de medida, ou seja, normalizada. O mesmo vale para a quantidade/especificação em termos de energia.

$$Circ_{p\ ren} = \frac{\sum_1^n (Cp_{ren\ j})}{[(EI_n + SI_n)] + [(EE_n + SE_n)]} \times 100 \quad (1)$$

Onde,

$Circ_{p\ ren}$: Percentual de circularidade de fonte renovável por processo;

$Cp_{ren\ j}$: Fluxo de fonte renovável;

EI_n : Fluxo de entrada proveniente de um processo interno da organização;

SI_n : Fluxo de saída direcionado para um processo interno da organização;

EE_n : Fluxo de entrada proveniente de um processo externo da organização;

SE_n : Fluxo de saída direcionado para um processo externo da organização;

n : Número de processos da organização;

j : Número de fluxos (j : 1, 2, 3,...).

De modo geral, a Equação (1) divide a parte pelo todo, ou seja, no numerador é inserido o somatório de todos os fluxos renováveis de determinado processo. No denominador é inserido o somatório de todos os fluxos do processo (renovável e não renovável).

Aplica-se essa equação para todos os processos existentes na organização, e cada processo irá gerar um resultado que é expresso em termos de circularidade (entre 0 e 100%). Novamente, o percentual faltante até os 100% representa o uso da fonte não renovável. O usuário pode aplicar a equação em cada processo somente para a abordagem de material, somente para a abordagem de energia, ou para ambos.

(ii) Após os resultados por processos, o indicador deve ser aplicado na organização, ou seja, a organização irá apresentar um percentual de uso de fonte renovável. Da mesma forma, o percentual faltante até 100% representa o uso da fonte não renovável pela organização. O cálculo da circularidade da organização com origem de fluxo renovável deve ser feito de acordo com a Equação (2).

$$Circ_{org\ ren} = \frac{\sum_1^n [(Circ_{p\ ren}) * (EI_i + SI_i + EE_i + SE_i)]}{\sum_1^n [EI_i + SI_i + EE_i + SE_i]} \quad (2)$$

Onde,

$Circ_{org\ ren}$: Percentual de circularidade de fonte renovável da organização;

$Circ_{p\ ren}$: Percentual de circularidade de fonte renovável por processo;

EI_i : Fluxo de entrada interno de fonte renovável do processo;

SI_i : Fluxo de saída interno de fonte renovável do processo;

EE_i : Fluxo de entrada externo de fonte renovável do processo;

SE_i : Fluxo de saída externo de fonte renovável do processo;

n : Número de processos da organização.

Como resultado, o indicador apresenta uma circularidade (entre 0 e 100%) para a organização em termos de fonte renovável, levando em consideração material e energia. Novamente, o percentual faltante até 100% representa o uso da fonte não renovável pela organização.

Nessa análise, não é levado em consideração o nível de abrangência (ver capítulo 2.2.5), ou seja, levam-se em consideração todos os processos e fluxos do sistema, não importando o nível que está cada processo. Aqui, o que interessa é se o material é renovável ou fóssil.

Além disso, o usuário da ferramenta precisa definir o escopo da análise em termos de energia elétrica (caso seja aplicada). Três opções podem ser consideradas: (i) não considerar as fontes de energia da composição da rede de eletricidade (concessionária) do país onde está sendo desenvolvido o estudo, e toda a quantidade consumida pela organização é considerado um fluxo não renovável; (ii)

realizar uma pesquisa para identificar qual o percentual de fonte de eletricidade renovável e não renovável do país onde a análise está sendo realizada. Nesse sentido, o fluxo de entrada de consumo de energia na organização pode ser segregado em parte proveniente de fonte fóssil, e parte proveniente de fonte limpa; e (iii) a terceira opção é quando a organização possui uma autogeração de eletricidade. Nesse caso a origem é interna, mas a fonte vai depender do tipo de energia que é gerado (solar, eólica, proveniente do biogás como sendo renovável, por exemplo, ou proveniente de combustíveis fósseis, como sendo não renovável, por exemplo).

Por fim, destaca-se, que o usuário pode aplicar esse indicador, ou somente para material, ou somente para energia, ou para ambos. Não é um pré-requisito haver a aplicação para as duas abordagens.

2.2.3.3 Abordagem de agregação de valor a partir do custo evitado

Nessa etapa de uso da *Circular2Impact* é possível traçar perspectivas para a esfera econômica, como por exemplo, o custo evitado. As ramificações da abordagem de custo evitado são estudadas há um tempo (ver, por exemplo, WOODS, 1989), mas com as mudanças de mercado a nível competitivo e custos de produção mais elevados, o tema carrega discussões atuais (ver, por exemplo, ELLRAM e TATE, 2021).

De fato, tratar de custo evitado vai depender de organização para organização a partir dos levantamentos e análise de circularidade de seus processos e seus fluxos de materiais e energia, levando em consideração as origens e os destinos. O custo evitado pode ser baseado em alguns parênteses, dentre outras, redução do gasto orçado (substituição de um material como fonte de matéria prima por outro mais barato e com as mesmas (ou próximas) características); crédito (implantação de uma usina para gerar energia elétrica, e vender/gerar crédito para a rede); nova receita (desenvolver um novo negócio no mesmo ambiente da organização).

Para exemplificar isso, outros exemplos podem ser descritos. Um resíduo que antes tinha um destino incerto pode ganhar valor e ter como destino uma lavoura ou um biodigestor, por exemplo. Outro tipo de resíduo que antes tinha um

destino incerto (aterro sanitário, por exemplo), pode gerar valor através do desenvolvimento de novas aplicações, dentre outras, remanufatura, reparo, reforma. Esses resíduos evitam a compra de um material virgem extraído da natureza e contribuem para a geração de menos resíduos. Em termos de energia, um exemplo típico para evitar custos é a implantação de um sistema gerador de eletricidade, como solar, eólica ou motor gerador (por meio da geração do biogás). A energia elétrica pode ser usada na própria organização ou vendida em forma de crédito para a rede.

A ferramenta não é engessada no sentido de ser um requisito obrigatório coletar os dados monetários, no entanto, é recomendada essa informação, para que a organização possa atuar em prol de uma economia circular de alta performance e gerar impacto positivo. Isso é permitido, por exemplo, quando se sabe um custo de um fluxo que é externo, e a organização tem uma perspectiva do custo se fosse internalizar. Nesse sentido, o negócio consegue identificar possibilidades de internalizar um fluxo de material/energia sabendo o valor gasto ou economizado (custo evitado).

As informações necessárias para aplicar essa abordagem recorrem a ficha para coleta de dados (ver Apêndice C), principalmente as informações que constam nas colunas “monetário”, além das informações que constam nas colunas de entrada: “fornecedor”, “material/energia”, “quantidade/especificação”, e nas colunas de saída: “material/energia”, “quantidade/especificação”, e “cliente”. Os dados monetários precisam ser expressos em uma mesma unidade de moeda (real, dólar, euro, etc.), e ter como denominador o mesmo período de tempo (por exemplo, 1.000,00 reais/ano), portanto os dados precisam ser normalizados.

A ferramenta desenvolvida neste trabalho, em específico a presente etapa, leva em consideração a abordagem econômica em termos de agregação de valor a partir de custo evitado. O custo evitado precisa ser analisado de modo específico. Após os resultados identificados nos indicadores de circularidade, é preciso traçar potenciais rotas para internalizar o fluxo. Essa abordagem está diretamente relacionada na forma que a organização vai gerar uma economia circular de alta performance e impacto positivo. E isso está detalhado no capítulo 2.2.6.

2.2.4 Escolha dos Níveis (Fronteira)

A identificação dos níveis de circularidade da ferramenta é baseada nos limites (territoriais ou de processo) que a organização possui, e é uma etapa extremamente importante e cautelosa. A ferramenta permite até três níveis de circularidade (ou fronteiras de circularidade). Essa identificação é estabelecida de forma livre ao usuário que pretende fazer uso. De modo geral, o nível 1 (menor nível de abrangência) corresponde a uma organização principal, ou seja, o epicentro da análise, e a partir desta, pode ocorrer a expansão de limites e trocas de fluxos de material e energia até o nível 3. No nível 2, os limites ultrapassam o nível 1, e portanto, o nível 2 é maior que o 1. No nível 3, os limites ultrapassam o 1 e o 2, logo, por característica, o nível 1 está dentro do 2, e por consequência, o nível 2 está dentro do 3. As trocas de material/energia que estão fora do nível 3, e não tem relação com o nível 1 ou 2 não são levadas em consideração, pois a ferramenta tem como base uma perspectiva a partir do nível 1 (centro/foco da análise).

O nível define o limite do sistema que o usuário está adotando para a análise, ou seja, é a delimitação dos processos que estão dentro e fora (do nível 1, 2 ou 3). A escolha dos níveis define a abrangência da aplicação da ferramenta, seja em uma organização, parque industrial, cooperativa agroindustrial, integração de propriedades, cidade, região, e outros limites. A literatura científica discute esses níveis em três abrangências, nomeadamente micro, meso, e macro. Não existe um padrão comum de como medir a circularidade em cada nível. Cada ferramenta estabelecida e estudo científico aborda isso de modo particular e seguindo uma metodologia própria. Nesse sentido, o capítulo 3.3 (dentre outros assuntos) apresenta uma organização e uma discussão da literatura científica sobre os níveis de abrangência para mensurar a circularidade.

O usuário é livre para delimitar quantos níveis (limitado a três) e quais os limites de processos que estão dentro ou fora de cada nível. No entanto, isso precisa estar claro, descrito, e desenhado (se possível) com uma imagem apresentando os limites de abrangência de todos os processos.

2.2.5 Visualização Gráfica Circular

A ferramenta também conta com uma visualização gráfica circular (baseada em um gráfico de cordas), gerada a partir do software R juntamente com o pacote de extensão nomeado de *Circlize*, desenvolvido por Gu *et al.* (2014). O gráfico é elaborado a partir de programação matemática computacional. Como informação de entrada, o software recebe dados quantitativos por meio de um código de programação. Como resposta, ele gera um gráfico circular que apresenta rotas interconectadas e circulares em diferentes tamanhos e cores.

A estrutura do gráfico é nomeada de circular devido às informações visuais de eixos longos e grande quantidade de categorias, representadas por informações de entrada (origem) e saída (destino). A oportunidade de usar esse tipo de gráfico na composição da ferramenta torna-se mais fácil e interessante para o usuário visualizar as rotas dos recursos, suas quantidades, e externalidades.

Cada processo é apresentado em uma cor diferente. O processo considerado externo a organização preferencialmente deve aparecer na cor cinza. O tamanho da espessura do fluxo representa a quantidade de recurso, logo podem existir fluxos mais grossos e outros mais finos. Cada gráfico desse tipo pode ser gerado para cada indicador diferente em cada nível de abrangência.

Para gerar o resultado da visualização gráfica circular, o usuário pode fazer uso do gráfico de cordas utilizando o software R juntamente com o pacote de extensão *Circlize*, ou gerar o gráfico utilizando outro software que resulte em um gráfico de cordas, diferenciando os processos e os fluxos em termos de entradas e saídas. O gráfico tem a função de apresentar ao usuário de uma forma visual os processos da organização e os fluxos de material/energia. O gráfico não gera um resultado específico do percentual de circularidade (dos processos e da organização), isso é obtido nos indicadores de circularidade.

2.2.6 Economia Circular de Alta Performance e Impacto Positivo

A última etapa da ferramenta é fazer com que o negócio possa atuar com uma economia circular de alta performance, e gerar um impacto positivo nas esferas da sustentabilidade. Aqui, o impacto positivo gerado leva em consideração uma

abordagem qualitativa, isto é, uma descrição completa em qual processo, em qual atividade, e em quais esferas da sustentabilidade o impacto pode ser gerado.

O principal ponto a ser olhado são os fluxos externos da organização, isto é, aqueles fluxos de material e energia que tem como origem ou destino o ambiente externo (fora) da organização. Para isso uma sequência de passos foi desenvolvida para atuar com uma economia de alta performance, e assim, gerar impacto positivo.

(i) A ficha de coleta de dados (ver Apêndice C) é essencial para iniciar o preenchimento, principalmente as informações que constam na coluna de entrada: “fornecedor”, e na coluna de saída: “cliente”. A informação de fornecedor representa o nome do processo que determinado material/energia (fluxo) tem como origem, e o cliente representa o nome do processo que determinado material/energia (fluxo) tem como destino. E esses processos precisam ser diferenciados entre processos internos a organização, e processos externos a organização.




(ii) Na sequência, quando todos os fluxos externos estiverem definidos, é preciso verificar se esse fluxo tem potencialidade de ser internalizado (para dentro da organização). Essa definição precisa ser tratada de modo estratégico, ou seja, o usuário da ferramenta (e sua equipe) precisa ter noção da viabilidade técnica e econômica desse fluxo que antes tinha uma origem/destino fora da organização, e agora, pode ser que tenha uma possibilidade de internalização. Caso os fluxos possuam possibilidade de ser internalizado, um símbolo (no formato de uma explosão, por exemplo - ver Figura 3) deve ser inserido na coluna “economia circular de alta performance”.

(iii) Portanto, se o usuário demonstrou interesse nesse fluxo externo, esse é um potencial ponto estratégico do negócio para ser tratado na tentativa de internalizar o fluxo, gerar uma economia circular de alta performance, e agregar valor ao processo e ao negócio.

(iv) Após isso, o impacto positivo pode ser gerado diante de algumas opções. Como o fluxo externo foi tratado estrategicamente para ser internalizado, isso pode resultar em impactos positivos substanciais para a organização/negócio. Esses impactos estão relacionados com o prisma da sustentabilidade, nomeadamente, econômico (E), social (S), e ambiental (A) (ver Figura 3). Nesse sentido, o usuário precisa inserir na coluna “impacto positivo” a abordagem de atuação desse fluxo que antes era externo, e agora pode vir a se tornar interno.

(v) Por fim, é preciso detalhar, em termos qualitativos, a forma que o impacto positivo vai ser gerado no negócio, e agir na efetivação desse impacto.

Figura 3 - Exemplo do preenchimento da ficha de coleta de dados e como atuar com economia circular de alta performance e impacto positivo

Fluxos de entrada							Fluxos de saída						
Fonte (R ou NR)	Fornec.	Material/Energia	Quant./Espec.	Monetário	Economia circular de alta perform.	Impacto positivo (S, E, ou A)	Fonte (R ou NR)	Cliente	Material/Energia	Quant./Espec.	Monetário	Economia circular de alta perform.	Impacto positivo (S, E, ou A)
R	Externo	Material A	550 kg/mês	R\$ 100,00		S, E	R	Externo	Material A	900 kg/mês	R\$ 80,00		E
NR	Externo	Energia A	1.000 kWh/mês	R\$ 120,00		S, A							

Fonte: Autoria própria (2022)

Alguns exemplos da geração de impacto positivo podem ser mencionados a seguir para guiar o usuário nessa etapa.

No prisma econômico da sustentabilidade, muitas alternativas positivas podem ocorrer quando se internaliza um fluxo ou um processo. Um exemplo, mediante a uma necessidade de um produto/matéria-prima, é desenvolver um novo negócio dentro de um conjunto de organizações (parque industrial ou associação de cooperativa, etc.), e esse novo negócio, fornecer a matéria-prima para as outras organizações instaladas na proximidade (ou dentro desse complexo industrial). Esse exemplo pode ser identificado na ferramenta devido ao fluxo do material ter origem o ambiente externo, e ser pago por esse material um valor monetário, de modo que, se houvesse o desenvolvimento de um novo negócio que fornecesse o material, o valor de compra poderia ser reduzido (pela proximidade ou pela parceria de mercado), e o custo do material externo seria evitado. Por isso, a importância da coleta de dados dos valores monetários, pois o usuário consegue ter uma visão mais clara do valor gasto e do potencial de economia que poderia ter se o fluxo fosse internalizado. No entanto, o custo evitado precisa ser analisado de modo específico para cada negócio.

O aspecto social é fundamental, e o exemplo citado anteriormente se encaixa muito bem em termos sociais para gerar impacto positivo. Desenvolver um novo negócio, ou criar um novo processo dentro do ambiente produtivo pode influenciar na geração de emprego, distribuição de renda, desenvolvimento territorial, e desenvolvimento social local e regional.

Em termos ambientais, a ferramenta deixa claro (por meio dos indicadores de circularidade), e visível (por meio da visualização gráfica circular) como os materiais e energia apresentam interações nos processos internos e externos, e como ocorrem as trocas com o ambiente natural. O diagnóstico de uma organização gerado pela ferramenta permite tomar decisões ambientais e gerar, impacto positivo, como por exemplo, buscar alternativas viáveis para internalizar e recircular os recursos para dentro do sistema produtivo; buscar parcerias organizacionais próximas para unir esforços (recebendo ou enviando materiais), e tornar a cadeia produtiva mais limpa.

2.3 FASE 3 - VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA

O processo de validação da ferramenta foi construído levando em consideração o quarto objetivo específico do trabalho: “validar a ferramenta em diferentes aplicações”. Nesse sentido, foi realizado três diferentes estudos de caso, um a nível nacional no setor de produção de frangos de corte, nomeado de estudo de caso 1 (capítulo 2.3.1), um a nível internacional no setor da construção civil, nomeado de estudo de caso 2 (capítulo 2.3.2), e o terceiro, também a nível internacional no setor leiteiro, nomeado de estudo de caso 3 (capítulo 2.3.3). Os procedimentos metodológicos para a coleta dos dados e a análise de circularidade dos estudos de casos estão descritos na sequência.

2.3.1 Estudo de Caso 1

2.3.1.1 Definição do escopo do estudo de caso e local de aplicação

A composição do primeiro estudo de caso neste trabalho ocorreu em uma propriedade rural produtora de frangos de corte como principal atividade devido ao contexto, as características, a disponibilidade, e ao ambiente ter como pauta práticas de economia circular.

A fazenda e a proprietária da unidade rural vêm ganhando destaque no Brasil nos últimos anos devido à produção sustentável e a prêmios obtidos. Eleita pela Bloomberg Línea (2020) como uma das 500 pessoas mais influentes da América

Latina, e vencedora dos prêmios Mulheres do Agro (Bayer/ABAG) Grandes Propriedades 2020, e Mulheres do Agro (Bayer/ABAG) 2021, a proprietária da fazenda onde o estudo foi realizado é referência de mulher no agro atualmente no país. O notório reconhecimento das práticas sustentáveis utilizadas na fazenda e pela liderança feminina podem ser vistas em algumas entrevistas: Terraviva (2021), Globo (2021), Globo rural (2021), Exame (2021), Canal Rural (2020), Nação agro (2020).

A unidade de negócio faz parte de um ambiente nomeado de integração, ou seja, uma agroindústria processadora fornece as propriedades rurais práticas sustentáveis, equipamentos e insumos seguindo um padrão de qualidade.

A propriedade rural está localizada no município de Sales Oliveira, estado de São Paulo, região de Ribeirão Preto. A propriedade rural atua em multicultura nas atividades de avicultura, bovinocultura e lavoura, e possui uma área total de 267 hectares. No total, a fazenda emprega 19 funcionários. A produção de aves ocorre seguindo as características de uma granja terminadora de frango de corte. O ciclo possui uma média de 42 dias alojados e 14 dias de intervalo sanitário, totalizando 6 ciclos por ano. A propriedade contém 14 aviários “*dark house*” com iluminação dimerizável e lâmpadas 9w sendo:

- 3 aviários com 2100m² cada de bloco cerâmico e lã de vidro sobre o forro, com 11 exaustores, 4 linhas de comedouros, 6 linhas de bebedouros e aquecimento à gás com 10 campânulas;
- 1 aviário com 2100m² de bloco de concreto, com 8 exaustores, 4 linhas de comedouro, 5 linhas de bebedouro e aquecimento à lenha;
- 1 aviário com 2970m² de isopainel com lã de vidro sobre o forro, com 15 exaustores, 5 linhas de comedouros, 6 linhas de bebedouro e aquecimento à gás com 16 campânulas;
- 6 aviários com 2400m² cada de bloco de concreto, com 10 exaustores, 4 linhas de comedouros, 6 linhas de bebedouros e aquecimento à lenha;
- 3 aviários de 2970m² cada de bloco cerâmico, com 13 exaustores, 4 linhas de comedouros, 5 linhas de bebedouros e aquecimento à gás com 12 campânulas.

A bovinocultura possui características destinadas a gado de corte. A produção anual é de aproximadamente 344 animais. O sistema de criação é do tipo semiconfinado, com uma área de pastagem de 30 hectares.

A lavoura da propriedade conta com duas safrinhas para milho por ano, sendo toda a produção destinada para a silagem. O sistema de plantio é direto, com uso de maquinários como tratores, plantadeiras e colheitadeiras. No total de lavoura, a fazenda possui 50 hectares de terra. O milho colhido é destinado a silagem (processo nomeado de silo), que são enleirados em seis leiras cobertos por lona. O material é utilizado como alimentação dos bovinos, pois possuem componentes importantes com alta digestibilidade e rico em energia, resultando na produção da carne do animal. A alimentação dos animais é suplementada nutricionalmente com ração conforme necessidade.

Além disso, a unidade rural possui um biocompostador, uma cisterna, um centro de reutilização dos materiais (depósito de reciclagem), e painéis solares para produzir eletricidade, que são descritos na sequência.

Inicialmente, o biocompostador é um maquinário que acelera a compostagem (aeróbico) das mortalidades de rotinas de animais (frangos), oferecendo uma solução econômica e ambientalmente correta, eliminando potenciais riscos de biosegurança e preocupações de métodos tradicionais de descarte de animais mortos. O biocompostador instalado na fazenda (em ambiente coberto e vedado) possui 10 metros de comprimento, 3 metros de largura e 2,8 metros de altura, funcionando a uma temperatura de 60 graus Celsius, e conta com um sistema de fluxo contínuo e automatizado. A capacidade é de seis toneladas de mortalidade por semana. A entrada do material é realizada de modo manual, e após a transformação, a saída do material é de modo automático (depositado no local específico para o composto). Em 14 dias (período de transformação do composto) o material é compostado e pronto para o uso como composto orgânico.

A propriedade rural também possui uma cisterna, isto é, um reservatório que serve para captar, armazenar e conservar a água da chuva. O sistema possibilita uma economia de água (em relação a compra da rede de abastecimento ou extração de poço artesiano), já que viabiliza o aproveitamento da água da chuva. A cisterna da fazenda possui 3.000m³, e conta com uma estrutura de largura superior de 10 metros, largura inferior de 6 metros, comprimento superior de 8 metros, comprimento inferior de 7,5 metros, e profundidade de 5 metros. A captação da água

é feita de modo seguro. Os locais de armazenamento são vedados para evitar a contaminação e a proliferação de mosquitos e insetos. A cisterna é revestida por geomembrana, e conta com sistema de filtragem na entrada por três caixas de filtros. A coleta é realizada por calhas localizadas em três galpões (produção de aves) de 165 metros por 18 metros cada um. Toda água tratada é destinada ao aviário (para consumo e limpeza).

O depósito de reciclagem (centro de reutilização dos materiais) é um local coberto, com uma área total de 750m², servindo para depositar e armazenar materiais já utilizados na fazenda, e que podem servir para outros fins (reuso), pois permanecem em bom estado de uso. Exemplos desses materiais: ferro, aço, madeira, lona, linhas de comedouro, linhas de bebedouro, placas evaporativas, pás de exaustores, equipamento diversos, e outros. Esse processo também serve para armazenar as embalagens provenientes dos processos de aviário, bovinocultura e lavoura. Após um volume considerável, ocorre o envio das embalagens para a integradora que realiza a logística reversa dos materiais.

Além disso, a unidade rural possui geração própria de energia elétrica através de energia solar por meio de placas solares (energia solar fotovoltaica). A fonte de energia é renovável e limpa, e utiliza a radiação solar para gerar eletricidade, e então é transformada para o uso na fazenda. A área para a instalação das placas é de 2000m² por usina, sendo que duas delas estão instaladas em solo, e uma, instalada no telhado de um dos aviários.

2.3.1.2 Coleta de dados no ambiente do estudo de caso 1

Para a realização da coleta de dados, o autor deste trabalho teve a oportunidade de conhecer e coletar os dados no local do estudo de caso. Os dados foram coletados em campo com o objetivo de observar, conhecer e analisar o sistema produtivo da fazenda. Realizou-se, portanto, uma entrevista semiestruturada para orientar o foco do estudo e, também, para dar espaço ao entrevistado em elaborar e responder questões que considerasse importante. A análise foi baseada em dados primários, sendo o sujeito da pesquisa a proprietária da unidade rural.

Para a coleta de dados estipulou-se que a fazenda possui 12 processos que troca materiais e energia, nomeadamente, aviário, biocompostador, bovinocultura,

cisterna, lavoura, depósito de reciclagem, silo, integradora, externo, própria fazenda, origem renovável, e painel solar. As informações dos processos, fluxos de entradas (origem) e saídas (destino) e as quantidades foram coletadas no mês de fevereiro de 2022, e os dados representam como base o ano de 2021. Todas as informações foram coletadas em termos de massa (ton) e energia elétrica (kWh), e podem ser observados no Apêndice D e E. Algumas informações, como por exemplos os líquidos, foram coletadas em unidade de volume e não de peso. Portanto, utilizou-se o valor da densidade de alguns materiais, como água ($1,0 \text{ g/cm}^3$), desinfetante líquido ($1,0 \text{ g/cm}^3$), inseticida líquido ($1,0 \text{ g/cm}^3$), diesel ($0,880 \text{ g/cm}^3$) para transformar para massa.

A Figura 4 apresenta uma imagem aérea da fazenda onde o estudo de caso 1 foi desenvolvido.

Figura 4 - Imagem aérea da fazenda onde o estudo de caso 1 foi desenvolvido



Fonte: Fazenda do estudo de caso (2022)

A descrição dos processos: aviário, biocompostador, bovinocultura, cisterna, lavoura, depósito de reciclagem, silo, e painel solar estão contemplados no capítulo 2.3.1.1, e a seguir, apresenta-se uma descrição dos processos: integradora, externo, própria fazenda, e origem renovável.

A unidade de negócio faz parte de um ambiente nomeado de integração, ou seja, a integradora fornece insumos para a propriedade rural (baseado em um

sistema de cooperativa agroindustrial), e ela produz as aves com base nas características do modelo de produção e qualidade estabelecido pela empresa integradora. O processo nomeado de externo representa que os fluxos de materiais possuem origens e destinos estabelecidos no ambiente externo (fora dos limites) da propriedade e da integradora. Muitos desses materiais são comprados ou vendidos do/para o ambiente externo. O processo nomeado de própria fazenda representa alguns materiais são extraídos (origem) ou são usados (destino) na própria propriedade rural. O processo chamado de origem renovável significa que a água que entra na cisterna é proveniente de água da chuva e, portanto tem por característica a origem renovável.

As limitações para esse estudo de caso merecem ser destacadas. As embalagens geradas nos processos de aviário, lavoura, e bovinocultura representam uma estimativa da fazenda. Os materiais para reuso dentro da propriedade, como metal, madeira, e ferro também representam quantidades aproximadas. Os animais (bovinos) mortos (por causas naturais) não foram estimados. Os valores monetários também representa uma estimativa.

Após coletar os dados foi realizada a tabulação para a utilização nos indicadores de circularidade proposto no estudo. Na sequência, foram gerados os gráficos circulares para todos os indicadores e níveis definidos. Ainda, foi gerado os resultados em termos da abordagem de economia circular de alta performance e impacto positivo. Os resultados da aplicação para o estudo de caso 1 estão contemplados no capítulo 4.2.

Além disso, durante a coleta dos dados, uma discussão foi conduzida na abordagem dos fluxos e processos existentes na fazenda, e o que pode ser incorporado de novo para gerar impacto positivo no negócio. Devido o contexto da propriedade rural, interessantes oportunidades puderam surgir por meio da discussão de narrativas estratégicas centrais de circularidade em termos de mensuração e atuação com ações inclinadas com a economia circular na fazenda. Essas e outras abordagens estão discutidas no capítulo 4.5 e 4.6.

2.3.2 Estudo de Caso 2

2.3.2.1 Definição do escopo do estudo de caso e local de aplicação

A composição do segundo estudo de caso do estudo ocorreu no ambiente internacional, mais especificamente em Portugal. O escopo desta análise refere-se a um produto utilizado no setor da construção civil, nomeado *CleanTechBlock* (CTB), que pode substituir o tijolo convencional de barro. O CTB incorpora resíduos de outros produtos e apresenta elevado desempenho energético para a construção civil.

O bloco é um sanduíche multifuncional patenteado (YUE *et al.*, 2016) baseado na junção de duas conchas de tijolos de barro e vidro espumado reciclado por meio de uma combinação interdisciplinar de tecnologia avançada, materiais reciclados e produção mais limpa (GÖSWEIN *et al.*, 2020). Possui propriedades como mínima manutenção, combinadas com boas propriedades de isolamento, e estabelece um produto competitivo e moderno com propriedades fortes, tanto visual quanto materialmente, formando uma construção com estética atraente e longa vida útil.

Além disso, o produto apresenta outros benefícios, como uma redução no tempo total de construção das paredes da casa (em média cinco vezes mais rápido do que o tijolo tradicional), redução de manutenção e custos de transporte, sendo impermeável à água, e resistente ao fogo. O objetivo do CTB é criar uma nova geração de alvenaria que contribua significativamente para resolver uma crescente necessidade de energia (CLEANTECHBLOCK, 2018). A unidade de negócio faz parte de um ambiente tecnológico, com potenciais ganhos de vantagem competitiva no mercado interno (Europa) e mercado externo (exportação) a nível B2B e B2C, além de estar alinhada em atingir os objetivos da política ambiental e energética da Europa.

Para a montagem do bloco CTB, um processo anterior é necessário, nomeado de espuma de vidro. Neste processo, materiais como vidro reciclado (92% da espuma de vidro é composta por vidro reciclado), carbono negro, óxido de manganês, nitrato de potássio, eletricidade, e gás natural são necessários para a produção da espuma. Todas essas matérias primas são obtidas por fornecedores a

uma localidade distante da fábrica (na Dinamarca), portanto foram considerados externos (fora dos limites da fábrica). A eletricidade, água, e o gás natural são provenientes da rede. No processo de montagem do CTB, a espuma de vidro é utilizada, além de outros materiais como tijolo de argila (tijolo convencional), adesivo (cola de cimento), e eletricidade. E como saída, tem-se o bloco CTB pronto para ser utilizado na construção de edifícios.

2.3.2.2 Coleta de dados no ambiente do estudo de caso 2

Para a realização da coleta de dados, o autor deste trabalho teve a oportunidade de coletar as informações no ambiente onde o projeto deste estudo foi desenvolvido. Logo, os dados foram coletados no Centro para Ecologia Industrial (CEI), localizado no Departamento de Engenharia Mecânica, da Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade de Coimbra com o objetivo de observar, conhecer e analisar as características do produto. Os dados foram coletados no mês de abril de 2022, de modo presencial.

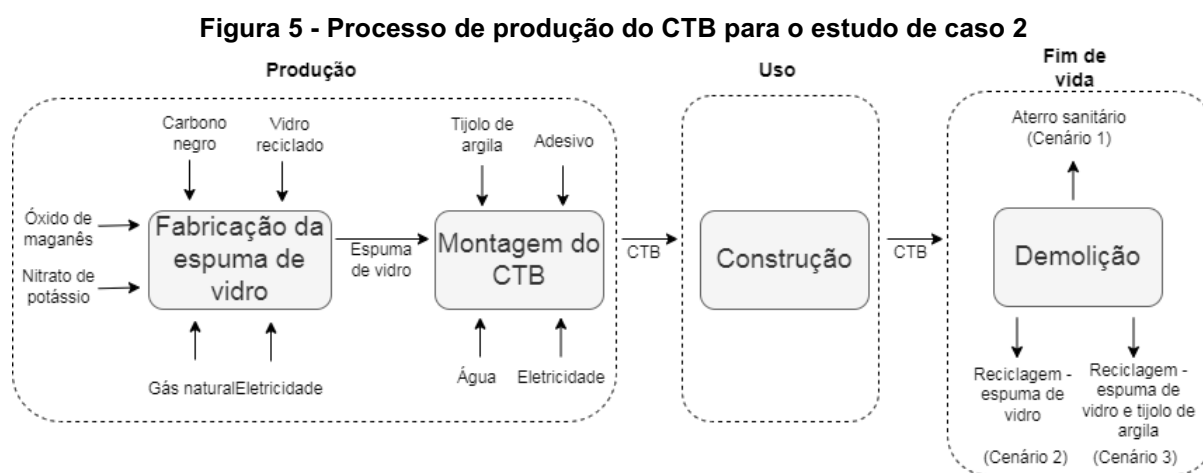
Realizou-se, portanto, uma entrevista semiestruturada para orientar o foco do estudo e, também, para dar espaço ao entrevistado em elaborar e responder questões que considerasse importante. A análise foi baseada em dados primários, sendo o sujeito da pesquisa os componentes do CEI que fizeram parte do desenvolvimento do projeto CTB, financiado pelos órgãos da União Europeia (CEI, 2016). Todo o projeto para o desenvolvimento do bloco foi iniciado na Dinamarca, na empresa *Graasten Teglvaerk A/S*, com afiliação na Universidade de Aalborg (AALBORG UNIVERSITY, 2019), no departamento de Engenharia Civil.

Para a coleta de dados estipulou-se que o produto possui 5 processos que troca fluxos de materiais, nomeadamente fabricação da espuma de vidro, montagem do CTB, construção, reciclagem, e processo externo. As informações dos processos, fluxos de entradas (origem) e saídas (destino) e as quantidades foram representadas para a produção de 1 unidade do bloco CTB. Todas as informações foram coletadas em termos de massa (kg) e energia elétrica (kWh), e podem ser observados nos Apêndices F e G.

Para a coleta de dados foi considerado três diferentes cenários (na etapa de fim de vida) para a análise da circularidade, como é descrito a seguir.

- Cenário 1: Fluxos de origens e destinos para os processos: fabricação da espuma de vidro, montagem do CTB, e 100% dos resíduos do CTB (após a demolição) é destinado ao aterro sanitário.
- Cenário 2: Fluxos de origens e destinos para os processos: fabricação da espuma de vidro, montagem do CTB, e parte dos resíduos do CTB (após a demolição) é destinado ao aterro sanitário, e parte, é realizada a reciclagem da espuma de vidro.
- Cenário 3: Fluxos de origens e destinos para os processos: fabricação da espuma de vidro, montagem do CTB, e parte dos resíduos do CTB (após a demolição) é destinado ao aterro sanitário, parte é realizado a reciclagem da espuma de vidro, e parte é reciclado o tijolo de argila.

A Figura 5 apresenta os processos e os fluxos de materiais e energia para a fabricação do CTB, e também mostra a composição para os três cenários avaliados na fase de fim de vida.



Fonte: Autoria própria (2022)

As limitações para esse estudo de caso merecem ser destacadas. A quantidade de eletricidade, água, e gás natural consumida para a produção de 1 unidade do bloco CTB representa dados aproximados. Os percentuais de reciclagem para os cenários 2 e 3 foi o fabricante que estipulou. Dados monetários não foram informados.

Após coletar os dados, foi realizada a tabulação para a utilização nos indicadores de circularidade proposto no estudo. Com isso, foram elaborados os

gráficos circulares para os indicadores de material, e material proveniente de fonte renovável. Ainda, foi gerado os resultados em termos da abordagem de economia circular de alta performance e impacto positivo. A composição dos resultados da aplicação do estudo de caso 2 está contemplada no capítulo 4.3.

Ademais, durante a coleta dos dados, uma discussão foi conduzida levando em consideração o escopo da ferramenta, e o que pode ser incorporado de novo para gerar impacto positivo no negócio, além da identificação de limitações e desdobramentos da ferramenta. Devido o contexto do ambiente acadêmico (instituição de ensino superior) da coleta de dados e da especificidade do produto, interessantes oportunidades puderam surgir por meio da discussão de narrativas estratégicas centrais de circularidade em termos de mensuração e atuação de práticas inclinadas com a economia circular deste produto no setor da construção civil. Essas e outras abordagens estão discutidas no capítulo 4.5 e 4.6

2.3.3 Estudo de Caso 3

2.3.3.1 Definição do escopo do estudo de caso e local de aplicação

A composição do terceiro estudo de caso do trabalho ocorreu no setor agroindustrial cooperativista com o foco na produção de leite, devido ao contexto das fazendas produtoras, as características do estudo, a disponibilidade dos dados, e ao ambiente apresentar potenciais perspectivas para avançar com algumas práticas de economia circular.

O estudo de caso contou com dados de 50 fazendas produtoras de leites distribuídas por toda a região da Galícia, Espanha. Essa região é a principal produtora de leite na Espanha, e conta com 39% da produção de leite do país, sendo que em 2020, todo o país totalizou uma produção de 7.405.215 ton de leite (MAPA, 2021).

Todos esses dados partem de um projeto maior, financiado por órgãos público-privado de fomento a pesquisa da Espanha e pela associação Associação Galega de Cooperativas Agrícolas, com o objetivo geral de avaliar a ecoeficiência da produção de leite em 100 explorações leiteiras localizadas na Comunidade Autônoma da Galícia. E objetivos específicos: avaliar os impactos ambientais

derivados da produção de leite utilizando a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida; avaliar a eficiência técnica da produção de leite por meio da Análise Envoltória de Dados; estudar as oportunidades de melhoria do sistema produtivo, com especial ênfase na promoção das atividades que possam oferecer um serviço ecossistêmico em termos de sequestro de carbono atmosférico; e propor um manual de boas práticas para implementar uma estratégia de melhoria contínua e desenvolvimento sustentável na produção de leite. O projeto teve uma duração de aproximadamente cinco anos, e teve a oportunidade de resultar em publicações científicas (ver, por exemplo, REBOLLEDO-LEIVA *et al.*, 2022; CORTÉS *et al.*, 2021).

Portanto, a coleta de dados desse projeto utilizou um questionário pré-definido com informações somadas de todas as 50 fazendas referente a quantidade de fertilizante, pesticidas, diesel, esterco, embalagem, materiais de limpeza, forro de silicone (proteção para realizar a extração do leite durante a ordenha), quantidade de animais, suplementação alimentar, água, energia elétrica, produção de leite, e produção de carne.

Todas as fazendas leiteiras estudadas possuem área agrícola para cultivo principalmente de milho e capim (alimentação), que posteriormente é armazenado em silos e utilizado como ração para o gado. A alimentação dos animais é suplementada nutricionalmente com ração conforme necessidade. A terra agrícola é gerida pelos próprios agricultores rurais. Além disso, todas as propriedades compõem uma associação de cooperação, e formam uma cooperativa agroindustrial para o fornecimento e beneficiamento do leite a uma agroindústria. Do mesmo modo, a agroindústria fornece insumos para as fazendas.

O tamanho das diferentes fazendas é variável tanto no número de animais, volume produção, e hectares de terra. Embora o leite seja o principal objetivo das propriedades, a produção de carne não é negligenciada, e é vendida para frigoríficos da região (que não fazem parte da cooperativa agroindustrial de leite). Em relação ao manejo do esterco, devido à sua alta quantidade de nutrientes, o material é utilizado como fertilizante orgânico nas terras agrícolas. Todas elas fazem uso de maquinários agrícolas como tratores, plantadeiras e colheitadeiras, portanto o consumo de diesel foi contabilizado nas fazendas. Em termos de produção de leite, grande parte das fazendas conta com um sistema de ordenha automática, e sistema de produção do tipo confinado.

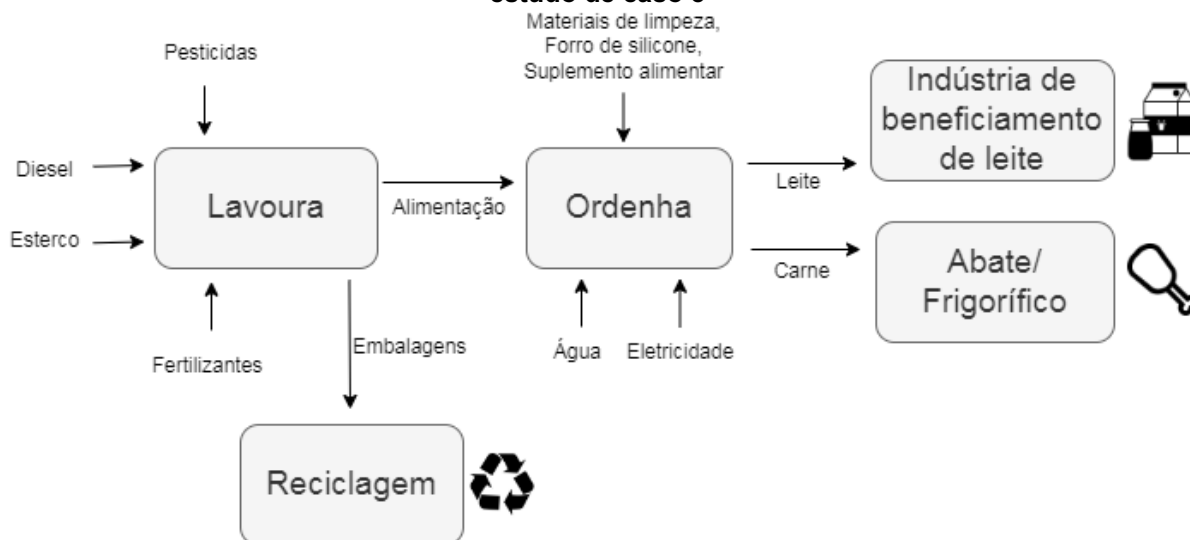
2.3.3.2 Coleta de dados no ambiente do estudo de caso 3

Para a realização da coleta de dados, o autor deste trabalho teve a oportunidade de coletar os dados no ambiente onde o projeto deste estudo foi desenvolvido. Deste modo, as informações foram coletadas no Centro de Investigação Transdisciplinar em Tecnologias Ambientais (CRETUS), localizado no Departamento de Engenharia Química, da Escola de Engenharia, da Universidade de Santiago de Compostela. Realizou-se, portanto, uma entrevista semiestruturada para orientar o foco do estudo e, também, para dar espaço ao entrevistado em elaborar e responder questões que considerasse importante. A análise foi baseada em dados primários, sendo o sujeito da pesquisa os componentes do CRETUS que desenvolveram o projeto na região da Galícia. Os dados foram coletados no mês de abril de 2022, de modo presencial.

Para a coleta de dados estipulou-se que as fazendas possuem 8 processos que trocam fluxos de materiais, nomeadamente lavoura, ordenha, cooperativa agroindustrial, reciclagem, rede de eletricidade, rede de abastecimento de água, própria fazenda, e processo externo. As informações dos processos, fluxos de entradas (origem) e saídas (destino) e as quantidades representam como base o ano de 2021. Todas as informações foram coletadas em termos de massa (ton), e podem ser observados no Apêndice H e I.

A Figura 6 apresenta os processos e os fluxos de materiais e energia para esse sistema de produção.

Figura 6 - Processo e fluxos de materiais e energia para as fazendas produtoras de leite para o estudo de caso 3



Fonte: Autoria própria (2022)

As limitações para esse estudo de caso merecem ser destacadas. A quantidade de semente, e potenciais perdas da lavoura não foram estimadas. Os animais que morrem no processo por causas naturais, e a quantidade de vacinas não foram estimados. Etapas de manuseio e preparação do milho, como por exemplo, a silagem não foi considerada. Informações monetárias não estão disponíveis para esse estudo de caso.

Após coletar os dados, foi realizada a tabulação para a utilização nos indicadores de circularidade em termos de material, e material proveniente de fonte renovável. A seguir, foram gerados os gráficos circulares para esses indicadores. Ainda, foi gerado os resultados em termos da abordagem de economia circular de alta performance e impacto positivo. Os resultados da aplicação para o estudo de caso 3 estão contemplados no capítulo 4.4.

Além disso, durante a coleta dos dados, apontamentos foram realizados pelo sujeito da pesquisa tanto em termos de oportunidades para o estudo de caso, quanto para a ferramenta proposta. Portanto, discussões estratégicas e pontuais para o estudo de caso e outros comentários gerais puderam contemplar os capítulos 4.5 e 4.6 deste trabalho.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico do estudo foi abordado seguindo algumas linhas complementares na temática de economia circular. Inicialmente, o capítulo 3.1 mostra as principais práticas de economia circular em diferentes áreas organizacionais. O capítulo 3.2 relata alguns indicadores e ferramentas disponíveis na literatura e no mercado. Uma reflexão sobre a circularidade incluindo oportunidades e desafios dos indicadores são discutidos neste capítulo também. O capítulo 3.3 apresenta as principais implicações nos negócios para gerar impacto positivo. Por fim, o capítulo 3.4 finaliza a teoria do trabalho com uma caracterização da economia circular de alta performance. Todo o desenvolvimento deste capítulo buscou um encaminhamento para responder o primeiro objetivo específico do trabalho: “caracterizar a economia circular de alta performance e impacto positivo”.

3.1 PRINCIPAIS PRÁTICAS DE ECONOMIA CIRCULAR EM DIFERENTES ÁREAS ORGANIZACIONAIS

Esse tema moldou o estabelecimento do desenvolvimento de uma revisão sistemática da literatura para identificar e apresentar as principais práticas de economia circular em diferentes áreas organizacionais que ajudam a nortear uma gestão sustentável dos negócios. Essa parte do trabalho resultou em um artigo de revisão sistemática, e teve a oportunidade de ser publicado em um periódico internacional (ver BARROS *et al.*, 2021).

O problema a ser respondido nesta revisão remete que a literatura científica atual considera a economia circular como um guia para modelos de negócios mais sustentáveis, por outro lado, não está claro as principais implicações para as principais áreas de negócios. Portanto, uma revisão sistemática de literatura foi desenvolvida seguindo uma metodologia detalhada (ver capítulo 2.1.1). Após uma série de filtros de seleção de documentos, restaram no portfólio final para a análise 38 artigos.

Com isso, foram identificadas as principais áreas de negócios: planejamento estratégico (*strategic planning* - SP), gestão de custos (*cost management* - CM), gestão ambiental (*environmental management* - EM), gestão da cadeia de

suprimentos circular (*circular supply chain management - CSCM*), gestão da qualidade (*quality management - QM*), gestão de processos (*process management - PM*), logística e logística reversa (*logistics and reverse logistics - L&RL*), gestão de serviços (*service management - SM*), e pesquisa e desenvolvimento (*research and development - R&D*), como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Mapa de impacto-chave: contribuições da economia circular para a gestão de negócio sustentável



Fonte: Barros *et al.* (2021)

As nove áreas identificadas permitiram uma discussão a nível gerencial sobre as principais contribuições da economia circular em cada uma delas, com foco em guiar uma gestão de negócios em direção a uma maior sustentabilidade. Com isso, sinergias entre as áreas identificadas e os modelos de negócios foram discutidas. As conclusões mostram que é importante que as organizações entendam e pratiquem os princípios da economia circular e da circularidade em seu plano estratégico. A adoção de um pensamento circular nos negócios pode permitir resultados econômicos e ambientais mais sustentáveis e direcionados a gerar impactos positivos.

Em linha com a tese, o presente artigo sustenta a premissa na identificação de potenciais demandas (ver Quadro 1) para a ferramenta proposta neste trabalho.

Devido o trabalho estar publicado, informações mais específicas e a leitura na íntegra pode ser feita em Barros *et al.* (2021).

3.2 INDICADORES E FERRAMENTAS

Esse é um importante pilar que sustentou o desenvolvimento deste trabalho e moldou uma análise da literatura científica para identificar os principais indicadores e ferramentas de circularidade. Este capítulo, portanto, seguiu os procedimentos metodológicos para uma revisão sistemática, como pode ser visto no capítulo 2.1.2, e os principais resultados estão descritos na sequência.

Quantificar a circularidade de produtos e serviços é importante na concepção de políticas e estratégias de negócios (CORONA *et al.*, 2019). Bons indicadores são métricas valiosas para avaliar a solidez das organizações/processos e fornecer orientação aos tomadores de decisão (SU *et al.*, 2013). No entanto, o que deve ser medido, na perspectiva da economia circular é assunto para debate (MORAGA *et al.*, 2019). A partir disso, indicadores e ferramentas estão sendo abordados por entidades privadas, públicas e acadêmicas para, primeiro entender o sistema (ter um diagnóstico), e depois, tomar decisões para reduzir a geração de resíduos, o consumo de material e energia fóssil, o consumo de água, emissões, e outros. E com isso, agregar valor nos produtos, com oportunidades de dar um destino ao resíduo, evitar a compra de uma matéria-prima virgem, e evitar custos.

Na tentativa de estabelecer um conceito para um indicador, Moraga *et al.* (2019), mencionam que é uma variável ou um conjunto de variáveis que fornecem informações sobre a circularidade ou a modelagem de causa e efeito, podendo ser o resultado da informação composta sobre dados qualitativos e/ou quantitativos. Em corroboração, Linder *et al.* (2017) argumentam que não existe um método padronizado para medir a circularidade dos produtos, no entanto, usar a razão entre o valor econômico recirculado e o valor total do produto como métrica de circularidade pode ser uma opção.

Aprofundando essa discussão, os dois próximos capítulos tratam de alguns indicadores identificados na literatura científica - estudos de nível acadêmico (capítulo 3.2.1), e identificados no mercado ou em *websites* - fora da literatura científica - estudos de nível não acadêmico (capítulo 3.2.2). Aprofundando ainda

mais nessa abordagem, o capítulo 3.2.3 apresenta uma reflexão sobre a circularidade baseado na identificação de oportunidades e desafios dos indicadores.

3.2.1 Estudos de nível acadêmico

Inicialmente, a China parece ter sido o primeiro país a divulgar indicadores de economia circular com foco nacional (GENG *et al.*, 2012). Desde então, muitos outros indicadores (e métricas) estão surgindo com o objetivo de mensurar e apoiar uma economia circular mais efetiva.

Essas métricas são valiosas para todas as partes interessadas que visam identificar e entender como o sistema de uma organização, por exemplo, está agindo (ou procurando fazê-lo) com essas práticas. O sistema de indicadores de avaliação de economia circular chinês publicado fornece 22 indicadores para a avaliação no nível macro, categorizados em quatro grupos, e outros 12 indicadores são categorizados nos mesmos quatro grupos (taxa de produção de recursos, taxa de consumo de recursos, taxa de utilização abrangente de recursos, e emissão de poluentes) em nível de parque industrial (GENG *et al.*, 2012). Além disso, Wen e Meng (2015) combinaram a abordagem de análise de fluxo de substâncias com o indicador de produtividade de recursos para avaliar a contribuição da simbiose industrial para o desenvolvimento da economia circular no país.

Uma combinação dos métodos de entropia global e coeficiente de variação foram usados para calcular o índice abrangente de desenvolvimento industrial de economia circular na China em termos de uma perspectiva espaço-temporal (TANG *et al.*, 2020). Avaliar a economia circular nos centros urbanos também é essencial para o desenvolvimento sustentável. Nesse caminho, Wang *et al.* (2018) apresentaram um sistema de índice para o ambiente urbano, incluindo um conjunto de critérios, como produção de recursos, circularidade industrial, circularidade residencial, mecanismo e cultura (índice de desenvolvimento circular urbano), que foi testado em 40 cidades na China, e concluiu que o nível de economia circular urbano aumentou significativamente ao longo de um período de cinco anos.

Nos últimos anos, a União Europeia tem desenvolvido políticas, planos e medidas regulatórias para incentivar e facilitar a transição para uma economia circular (VÖLKER *et al.*, 2020). Nesse aspecto, Silvestri *et al.* (2020) propuseram

dois indicadores compostos diferentes para medir o desempenho da economia circular em nível regional, a saber, o índice estático da economia circular e o índice dinâmico da economia circular, que foram aplicados em regiões da Europa Central.

Alguns indicadores foram desenvolvidos especialmente para a reciclagem, e podem ser observados a seguir. No estudo de Di Maio e Rem (2015), a taxa de reciclagem é calculada medindo a quantidade de material que entra nas instalações de reciclagem. Pires e Martinho (2019) desenvolveram um indicador (índice de hierarquia de resíduos), que permite calcular o nível de implementação da hierarquia de resíduos considerando diferentes tipos de reciclagem e incineração para medir a implementação da hierarquia de resíduos, tendo como pano de fundo o conceito de economia circular. As taxas de perda atuais, a vida útil dos produtos, e os padrões comerciais impedem o fechamento do ciclo do aço; assim, Pauliuk *et al.* (2017) aplicaram uma ferramenta chamada MaTrace Global para quantificar as compensações e desafios associados à reciclagem de metal em circuito fechado. Steinmann *et al.* (2019) propuseram o uso de um indicador de qualidade do material (circularidade da qualidade do material) baseado no uso de energia de produtos reciclados e suas peças produzidas a partir de insumos de matéria prima. Os autores Linder *et al.* (2017) propuseram uma nova métrica de circularidade em nível de produto, que varia de 0% a 100% de peças recirculadas, e é definida como a fração de um produto proveniente de produtos usados.

Além disso, Huysman *et al.* (2017) desenvolveram um indicador baseado na qualidade técnica do fluxo de resíduos plásticos e extração cumulativa de exergia do método do ambiente natural para quantificar o desempenho de economia circular de diferentes opções de tratamento de resíduos plásticos. Uma estrutura para uma avaliação biofísica abrangente e econômica de uma economia circular, com estatísticas oficiais sobre extração e uso de recursos e fluxos de resíduos em uma abordagem de massa balanceada, foi desenvolvida por Mayer *et al.* (2019). Os autores Molina-Moreno *et al.* (2017) apresentaram os primeiros indicadores de eficiência da economia circular para a suinocultura que podem ser levados em consideração pelos gestores das plantas de produção para aumentar a eficiência do uso de recursos e a redução da geração de resíduos. Por fim, o índice de desperdício zero prevê a quantidade de materiais virgens, como água, energia e emissões de GEE, substituídos pelos recursos que são recuperados de fluxos de resíduos e podem ser usados em diferentes cidades (ZAMAN e LEHMANN, 2013).

De fato, a maioria das pesquisas parece estar mais preocupada em propor indicadores de circularidade relacionados ao aspecto ambiental. Mesmo assim, algumas métricas levaram em conta aspectos econômicos e sociais. O Índice de Economia Circular proposto por Di Maio e Rem (2015) utiliza o valor econômico dos materiais incorporados nos produtos de consumo como propriedade a ser mensurada e contabilizada, considerando alguns aspectos econômicos, sociais e ambientais da reciclagem. O Índice Circular Sustentável é formado por quatro dimensões (econômica, social, ambiental e circularidade), e fornece às empresas *insights* sobre seu comportamento sustentável, respeitando as preocupações da economia circular quanto ao uso de materiais reciclados e reutilizados, a vida útil e a intensidade dos produtos, e a eficiência dos processos de reciclagem (AZEVEDO *et al.*, 2017). Além disso, uma estrutura multissetorial de avaliação da circularidade da água usa uma integração de modelos e abordagens para avaliação da circularidade em princípios de economia circular, como aspectos físicos, técnicos, ambientais e econômicos (NIKA *et al.*, 2020). Rossi *et al.* (2020) desenvolveram um conjunto de indicadores ligando princípios de economia circular, modelos de negócios circulares e as dimensões ambiental, econômica e social, e o testaram em três estudos de caso em diferentes setores no Brasil, como empresa de plástico, têxtil, e eletrônicos.

Como os fluxos circulares (*loops*) não podem ser completamente fechados, uma economia circular (totalmente) não pode existir (ZOTTI e BIGANO, 2019). Assim, algumas estratégias acabam surgindo para tentar aproximar os resultados de uma economia circular mais viável. Por isso, o indicador de longevidade pode ser interessante, pois considera não apenas a circularidade, mas o tempo em que o recurso permanece circular. Em um novo indicador proposto por Figge *et al.* (2018), tanto a longevidade (período de tempo) quanto a circularidade (incluindo taxas de retorno, reutilização, reciclagem e recuperação) são levadas em consideração. Os autores Franklin-Johnson *et al.* (2016) forneceram um novo indicador (considerando três componentes genéricos, que são vida útil inicial, vida útil recuperada, e vida útil reciclada) para o desempenho da avaliação ambiental vinculada à economia circular, onde o indicador de longevidade mede a contribuição para a retenção de material com base na quantidade de tempo que um recurso é mantido em uso.

Por fim, o Quadro 5 (Apêndice A) apresenta todos os estudos práticos (n: 24) do portfólio final desta revisão sistemática da literatura, e os classifica em uma série de atributos, incluindo os indicadores de economia circular.

3.2.2 Estudos de nível não acadêmico

Estudos de nível não acadêmico são documentos que não estão no portfólio final desta revisão, porém merecem ser apresentados, pois estão disponíveis em *websites*, relatórios e fazem parte de ferramentas existentes.

A *Ellen MacArthur Foundation* é atualmente a organização mais proativa na continuidade do desenvolvimento da economia circular no mundo, portanto não poderia deixar de desenvolver um indicador que permita às empresas identificar valor adicional e circular de seus produtos e materiais (EMF, 2020). Os autores Evans e Bocken (2013) propuseram o *Circular Economy Toolkit*, uma ferramenta online que consiste em apoiar organizações em melhoria contínua. Essa ferramenta inclui 33 perguntas em sete categorias, como reparo, reutilização, remanufatura, reciclagem, modelos de produção, uso, e negócios para economia circular.

O *Cradle to Cradle Certified* é uma organização reconhecida mundialmente que certifica produtos (C2C, 2021). Muitas organizações e clientes têm usado *Cradle to Cradle* para oferecer boas práticas ambientais e decisões de compra responsáveis. Além disso, a Calculadora de Circularidade (2021) usa indicadores como captura de valor, conteúdo reciclado e índice de reutilização para melhorar a circularidade entre gerações de produtos. Nessa calculadora, o usuário pode escolher entre uma licença gratuita ou paga, e para utilizá-la, precisa definir o produto, e ajustar ciclos.

O *Agrocirclewins* (2021) está disponível online e gratuitamente para organizações que buscam mensurar a circularidade (0% a 100%) em nível de processo e organizacional, utilizando como premissa fluxos internos e externos de materiais e energia do nível escolhido (micro, meso ou macro). Além deste, a norma BS 8001 também pode ser um interessante guia para as organizações, fornecendo princípios, estratégias, diretrizes para aplicação e controle de questões voltadas para a economia circular (BSI, 2017), bem como os relatórios, guias e documentos do EMF (2013), e da Circle Economy (2018).

A Circular Berlin (2021), uma organização sem fins lucrativos que busca acelerar a transição de Berlim para uma cidade circular, apresenta em sua *website* uma coleção de ferramentas na temática de economia circular e áreas correlatas em algumas áreas de negócios, como por exemplo, ferramentas de design, ferramentas

de análise de impacto, ferramentas de modelagem de negócios circulares e sociais, ferramentas da indústria da moda, e ferramentas relacionadas à cidade.

O projeto Agrocycle (2022) adota uma abordagem para entender a gama de fluxos de resíduos associados à indústria agroalimentar, com o objetivo de reduzir o desperdício de alimentos em 50% até 2030. A plataforma desse projeto cria novas oportunidades de negócios (como compra e venda de produtos), compartilha conhecimentos, e atua na perspectiva da economia circular no ambiente agroalimentar.

Os indicadores apresentados são relevantes para que as organizações tenham informações baseadas na circularidade e, então, possíveis melhorias possam ser analisadas para definir metas mais concretas para atuar com a economia circular.

3.2.3 Reflexão sobre circularidade: oportunidades e desafios dos indicadores

A União Europeia (HAAS *et al.*, 2015; VÖLKER *et al.*, 2020) e a China (SU *et al.*, 2013; WEN e MENG, 2015; MATHEWS e TAN, 2016) estão entre as regiões que lideram em relação às políticas de desenvolvimento sustentável e uso sustentável de recursos. Adotar práticas de economia circular é uma forma de resolver o conflito entre desenvolvimento industrial e proteção ambiental (ZHU *et al.*, 2010). No entanto, ainda há expectativas a serem cumpridas em relação à circularidade e à economia circular. Um fato é a circularidade mundial, onde apenas 8,6% da economia global é dita como circular (CIRCLE ECONOMY, 2021). Isso apresenta uma imensa oportunidade para organizações, governos, universidades, e sociedade buscarem novas e interessantes práticas para tornar o mundo mais circular.

Como sinal de tentativa de reverter esse cenário, pesquisa e desenvolvimento, iniciativas atreladas a ISO 14000 (ABNT, 1996), análise laboratorial de materiais, desenvolvimento de novos modelos de negócios circulares, envolvimento da sociedade e *stakeholders*, e o desenvolvimento de concursos com premiação para abordagens de economia circular podem ser estratégicos e interessantes soluções.

Em particular, o último exemplo parece ter sido explorado nos últimos anos (ver, por exemplo, GREEN ALLEY AWARD, 2021; FL2CI, 2021; GLOBAL CHANGE

AWARD, 2021; THE CIRCULARS, 2019; CIRCULAR ECONOMY IDEA COMPETITION, 2017). Isso cria um envolvimento nomeado *win-win-win*, de modo que, as organizações podem se beneficiar com melhoria na circularidade de produtos e processos; os alunos e as instituições de ensino podem ter vantagens na participação dos projetos, e obter prêmios e títulos; e a sociedade pode tirar proveito pelo desenvolvimento de uma tecnologia que possa tornar o mundo mais sustentável, circular e limpo.

O debate sobre indicadores de circularidade está aberto, e aparentemente nenhuma métrica foi identificada como a mais representativa e amplamente aceita em nível de produto, processo e serviço. Algumas métricas e indicadores apresentam alguma contradição tanto na forma quanto no conteúdo, o que pode causar confusão tanto na aplicação quanto na tomada de decisão (CORONA *et al.*, 2019). De fato, a aplicação e a validação de grande parte dos indicadores propostos ocorrem em áreas específicas, e a seleção dos *stakeholders* ou organizações é motivada pela proximidade ou facilidade na recolha de informação. Aparentemente, poucos trabalhos exploraram aplicações de um mesmo indicador em áreas totalmente diferentes, por exemplo, automotiva e serviços, componentes de madeira e celulares, ou aluguel de carros e indústria química. Por isso, recomenda-se que os indicadores de economia circular sejam estudados em diferentes setores industriais (RINCÓN-MORENO *et al.*, 2021).

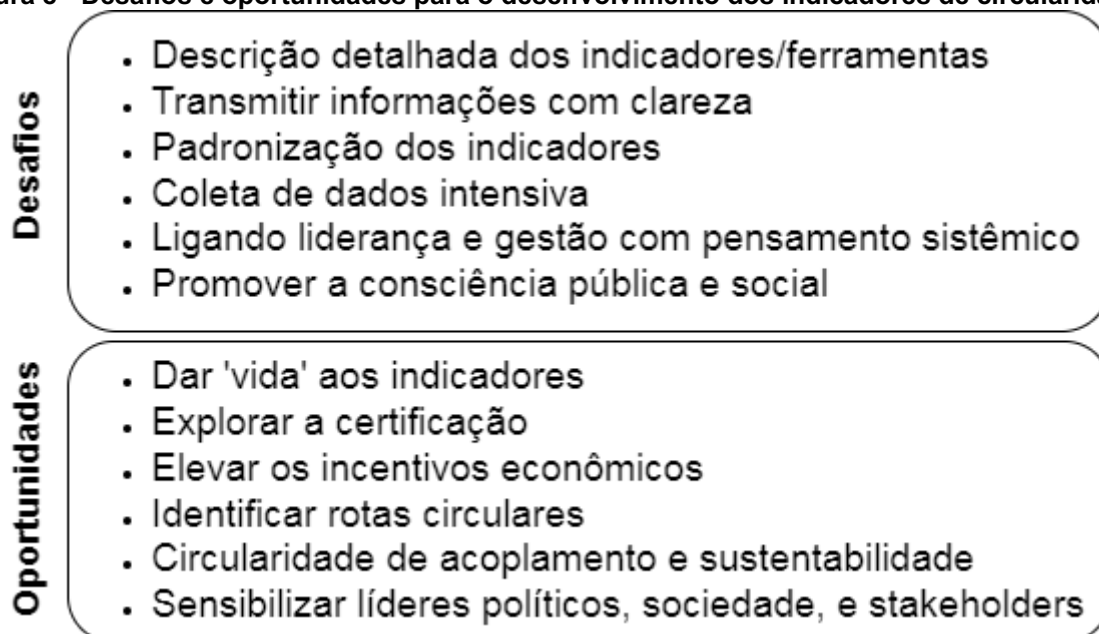
A partir desse panorama, a economia circular inclui muitas dimensões, portanto, dificilmente um indicador seria capaz de abordar todas elas (MORAGA *et al.*, 2019). Por isso, alguns autores trazem à tona alguns indicadores de circularidade acompanhados de abordagens interessantes, como longevidade (FRANKLIN-JOHNSON *et al.*, 2016; FIGGE *et al.*, 2018), método de decisão multi-critério (NIERO e KALBAR, 2019; GARCIA-BERNABEU *et al.*, 2020; ALAMEREW *et al.*, 2020), sustentabilidade (DI MAIO e REM, 2015; AZEVEDO *et al.*, 2017; ROSSI *et al.*, 2020), avaliação do ciclo de vida (ACV) (SCHEEPENS *et al.*, 2016; HAUPT e HELLWEG, 2019; RUFÍ-SALÍS *et al.*, 2021), e outros.

A partir deles, algumas discussões podem ser incitadas. Indicadores e estruturas para medir o nível de aplicação das estratégias de economia circular ainda estão em seus estágios iniciais no nível micro (ELIA *et al.*, 2017), mas já existem ferramentas adequadas em cada nível (HARRIS *et al.*, 2020). Para Pinto *et al.* (2020), o uso de metodologias consolidadas como a avaliação da

sustentabilidade do ciclo de vida em paralelo com indicadores de circularidade pode ser um avanço importante para uma perspectiva de sistemas circulares. No entanto, ainda há alguns ajustes para permitir uma medição mais precisa em nível de produto, serviço, processo, local, regional ou nacional em termos de ACV e circularidade.

Pontos potenciais para o desenvolvimento futuro de economia circular podem ser implantados a partir de desafios e oportunidades com base na revisão da literatura (como pode ser visto na Figura 8 e detalhado a seguir) para o desenvolvimento e uso de indicadores. Assim, de modo geral, alguns deles podem ser mencionados.

Figura 8 - Desafios e oportunidades para o desenvolvimento dos indicadores de circularidade



Fonte: Autoria própria (2022)

Desafios:

- Fornecer uma descrição detalhada por meio de um guia para coleta de dados, metodologia de cálculo, e análise das informações fornecidas como saída (ver, por exemplo, SAIDANI *et al.*, 2019).
- Transmitir informações de forma clara, correta, transparente e com o menor nível de incerteza possível, para que o indicador represente um resultado compatível com a realidade, e possa ser utilizado para a tomada de decisão estratégica (ver, por exemplo, SU *et al.*, 2013; SAIDANI *et al.*, 2017; SAIDANI *et al.*, 2019).

- Expectativas para a padronização dos indicadores (ver, por exemplo, KRISTENSEN e MOSGAARD, 2020; DE OLIVEIRA *et al.*, 2020; CORONA *et al.*, 2019; PARCHOMENKO *et al.*, 2019).
- A coleta de dados precisa ser intensiva, podendo exigir conhecimento técnico, baseado nas informações a serem coletadas sobre os processos, fluxos de entrada e saída de materiais e energia, quantidade e unidade de medida, entre outros.
- Vincular liderança e gestão com pensamento sistêmico e inclinando-se para abordagens de economia circular.
- Promover a conscientização do público e da sociedade sobre a compreensão e a importância de ser circular.

Oportunidades:

- Transformar indicadores que foram idealizados (no papel) em ferramentas e aplicativos online (ver, por exemplo, SU *et al.*, 2013).
- Aprofundar em sistemas de certificação de produtos relacionado à circularidade (SASSANELLI *et al.*, 2019).
- Incentivos econômicos para medir a circularidade. Muitas vezes não é simples, rápido ou barato apontar até que ponto (%) um material é circular. Os orçamentos podem ser endereçados a isso (SAIDANI *et al.*, 2019).
- Identificar rotas circulares. Alguns materiais apresentam mais circularidade do que outros. Isso ocorre devido a tecnologia disponível, viabilidade técnica e econômica, ou elevado consumo de energia elétrica, por exemplo. Portanto, outras práticas (além da reciclagem) podem surgir, como por exemplo, remanufatura, remodelação, reparo, e reconstrução (ver, por exemplo, KRISTENSEN e MOSGAARD, 2020).
- A circularidade precisa ser considerada sustentável simultaneamente para o meio ambiente, economia e sociedade (CORONA *et al.*, 2019; SAIDANI *et al.*, 2019). Logo, mais indicadores são necessários para retratar os aspectos sociais de uma economia circular (GENG *et al.*, 2012), incluindo a geração de empregos (LINDER *et al.*, 2017; KRISTENSEN e

MOSGAARD, 2020), e avaliação do recursos humanos (VINANTE *et al.*, 2020).

- Mudar a visão dos líderes políticos, da sociedade e da empresa, bem como dos clientes, sensibilizando-os para uma visão mais limpa e circular (BARROS *et al.*, 2021).

3.3 PRINCIPAIS IMPLICAÇÕES NOS NEGÓCIOS PARA GERAR IMPACTO POSITIVO

O presente capítulo aborda outro pilar que sustentou o desenvolvimento desta pesquisa e endereçou uma análise da literatura para investigar as principais implicações nos negócios para gerar impacto positivo. Os procedimentos metodológicos para esta análise pode ser visto no capítulo 2.1.3, e os principais resultados estão descritos a seguir.

Todas as organizações têm um propósito. Algumas se concentram apenas no lucro, outras desejam conquistar novos mercados, e outras podem querer ser eficientes. Os três exemplos, de alguma forma, incluem gerar um impacto positivo, caracterizado pelo impacto social, desenvolvimento sustentável e lucro. Os esforços de muitas empresas parecem estar inclinados a promover uma economia circular que contribua para a dimensão social, ambiental, e econômica, e feche os ciclos de materiais e energia através de uma maior circularidade. Esse engajamento é fundamental e urgente. Portanto, o debate sobre circularidade, economia circular, e como isso pode gerar impacto positivo deve ser levado adiante.

Para gerar impacto positivo, antes de tudo, é preciso definir a abrangência da aplicação em uma organização, e com isso, possibilidades de impacto positivo podem surgir. No que diz respeito ao nível de aplicação da circularidade, no nível micro estão às organizações ou clientes individuais (GHISELLINI *et al.*, 2016; KIRCHHERR *et al.*, 2017). Não existe um padrão comum de como medir a circularidade em nível micro (KRISTENSEN e MOSGAARD, 2020), no entanto, a literatura mostra uma carência de estudos sobre a avaliação de estratégias de economia circular no nível micro. Para isso, quatro níveis delineados (processos a monitorar, ações envolvidas, requisitos a serem medidos, e níveis de implementação

da economia circular) para a fase de monitoramento de uma estratégia de economia circular foi proposto por Elia *et al.* (2017).

O nível meso descreve as interações entre as organizações, formando uma rede de organizações em um determinado conglomerado industrial (por exemplo, um parque eco-industrial) (GENG *et al.*, 2009; GHISELLINI *et al.*, 2016; KIRCHHERR *et al.*, 2017). O nível macro é o maior deles e apresenta um conjunto ainda maior de entidades (por exemplo, uma rede eco-industrial), que pode ser caracterizada dentro de um estado, ou em nível nacional, ou mesmo global (GENG *et al.*, 2009; GHISELLINI *et al.*, 2016; KIRCHHERR *et al.*, 2017).

Após definido o nível de abrangência da organização, o alinhamento das expectativas de todos aqueles que circundam a organização precisa ser mencionado. Nessa perspectiva, é posto que os negócios circulares são um ramo dos negócios sustentáveis (BARROS *et al.*, 2021), e quando se pensa em negócios sustentáveis, uma série de ações e estratégias baseadas em diversas abordagens pode ser levada em conta para gerar impacto positivo. *Hybrid organizations*, *B Corp*, *for-benefit companies*, e ESG são alguns dos exemplos. No entanto, a integração da circularidade na estratégia de negócios ainda é limitada (EIKELENBOOM e DE JONG, 2021). O trabalho de Salvador *et al.* (2021) listaram alguns pensamentos gerenciais das estratégias de economia circular com maior influência para gerir cada bloco de construção do modelo de negócio em negócios circulares, como experimentar um modelo de negócio em outras abordagens; estabelecer parcerias estratégicas para a circularidade; promover *design* para a necessidades de circularidade; manter os requisitos do cliente à vista; e outros. Essas percepções gerenciais mostram que as empresas tendem a atuar em práticas baseadas não apenas na circularidade, mas também no alinhamento das expectativas dos clientes, *stakeholders* e da proposta de valor da empresa.

Embora o impacto no desempenho dos negócios tenha sido estudado há um tempo (ver HARRISON-WALKER *et al.*, 2001; BARŠAUSKAS *et al.*, 2008), novos (modelos de) negócios de impacto e certificações vêm sendo desenvolvidos nos últimos anos devido as mudanças e orientações de mercado, como por exemplo, *hybrid organizations*, que combinam as características de estado, mercado e sociedade (BRANDSEN e KARRÉ, 2011); *B Corp* (Corporação B) são organizações que possuem um modelo de negócio, seguindo padrões de transparência, responsabilidade e desempenho para atuar com o desenvolvimento social e

ambiental (MOROZ *et al.*, 2018); *for-benefit companies*, empresas com fins lucrativos integrando um novo modelo de negócio social inovador e competitivo com o foco em gerar impacto por meio das decisões de gestão sobre o bem-estar da sociedade e *stakeholders* (CZINKOTA *et al.*, 2020); e um forte e exponencial apelo as realizações de ESG em produtos, pessoas, e desempenho financeiro das corporações (LEE *et al.*, 2022), e que tendem a crescer no futuro próximo.

Ações sustentáveis são possíveis quando realizadas em conjunto com práticas baseadas na economia circular nos diferentes setores da economia, a fim de gerar impacto positivo. Em termos de estratégias de *design* de produto e inovação de modelo de negócios, Bocken *et al.* (2016) desenvolveu uma estrutura de estratégias para uma economia circular, para dar clareza e direção aos *designers* e tomadores de decisões nos negócios. Conforme relatado por Salvador *et al.* (2019), fechar os ciclos de materiais e energia em uma empresa é uma estratégia possível para minimizar potenciais impactos ambientais e aumentar os ganhos financeiros. Na indústria química, por exemplo, a polimerização reversível pode ser um grande impulsionador para o desenvolvimento de plásticos renováveis, sendo uma das ações dentro de um contexto de economia circular (KEIJER *et al.*, 2019). No setor agrícola, as ações de economia circular podem reduzir a geração de resíduos animais e agrícolas (DONNER *et al.*, 2021), redirecionar os materiais de saída para uma valorização mais sustentável (DONNER *et al.*, 2020), gerar energia limpa, produzir biofertilizante e combustível de origem renovável (KUMAR e VERMA, 2021), e tornar a cadeia produtiva agrícola mais sustentável (KOKKINOS *et al.*, 2020). No campo acadêmico, a economia circular também se tornou um importante tópico de pesquisa com um aumento acentuado no número de publicações e revistas que cobrem esse tema nos últimos anos e possam contribuir para a geração de impacto positivo (GEISSDOERFER *et al.*, 2017).

De fato, medir a circularidade da organização, bem como de produtos faz sentido se a empresa objetiva atuar com práticas circulares para gerar impacto positivo. Como já mencionado em uma das oportunidades para o desenvolvimento dos indicadores de circularidade, a circularidade precisa ser considerada sustentável simultaneamente para o meio ambiente, economia e sociedade (CORONA *et al.*, 2019; SAIDANI *et al.*, 2019) para gerar impacto positivo.

O discurso “é preciso medir para poder gerenciar” é válido. No entanto, a visão geral do sistema precisa ser levada em consideração. É importante que as

empresas atuem e discutam esse tema, e percebam a importância de integrar a circularidade na estratégia da organização. Um caminho é investigar como o estabelecimento de interações circulares em rede em diferentes organizações (por exemplo, *benchmark*) opera nos mercados B2B e B2C. Portanto, a circularidade pode ser uma importante oportunidade para as organizações que buscam soluções de negócios inovadoras com o foco em gerar impacto positivo.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR DE ALTA PERFORMANCE

A mudança de paradigma de um modelo linear para um modelo circular nos sistemas de produção avança para a produção e consumo sustentável, intervindo nos modos de extração de matéria-prima, processamento, produção, distribuição, uso, destino e disposição final dos produtos. Embora a transição do modelo linear para o circular seja complexo, observa-se que um movimento está ocorrendo em muitas organizações no atual cenário mundial na busca de práticas de produção mais sustentável, redução de emissões, e uso de material e energia proveniente de fonte limpa. Isso requer um novo tratamento baseado na economia circular, podendo ser caracterizada pela economia circular de alta performance.

O conceito de economia circular tornou-se uma proposta para promover o crescimento econômico, considerando a escassez de matérias-primas e energia, além de ser um novo modelo de expansão de negócios (MURRAY *et al.*, 2017). Em termos de princípios, a economia circular caracteriza-se como restauradora e regeneradora. Ela que procura imitar os sistemas naturais diminuindo, estreitando ou fechando os fluxos de recursos para evitar o desperdício (SALVADOR *et al.*, 2020; SCHULTE, 2013).

Direcionando a visão para uma economia circular de alta performance, a abordagem tenta auxiliar no uso dos recursos do planeta de forma menos extrativista e mais circular - reaproveitamento, e no ritmo em que eles não se esgotam. O incentivo das atividades humanas a fomentar a restauração do estado natural desses recursos também faz parte. Assim, os sistemas naturais são regenerados e as atividades sociais buscam se integrar a tais sistemas em vez de simplesmente esgotá-los. Nesse sentido, a estrutura de alta performance promove o crescimento sustentável por meio do desenvolvimento dos prisms sociais e

econômicos, e paralelamente, a redução dos impactos ambientais. Assim, economia circular de alta performance pode permitir o aumento as características competitivas das organizações e reestruturar os modelos de negócio (circulares).

A partir dessa breve introdução a economia circular de alta performance, alguns exemplos e desmembramentos podem ser considerados a seguir.

A economia linear tem desempenhado um papel importante no desenvolvimento econômico nas últimas décadas (PAES *et al.*, 2019), com isso, o setor industrial representou importantes avanços na produção manufatureira. No entanto, os modelos tradicionais de economia linear no uso e descarte de resíduos e subprodutos não são mais viáveis (VASKALIS *et al.*, 2019). Do ponto de vista de extração de matéria-prima e disposição final de resíduos, a economia linear não costuma apresentar boas vantagens. Essas questões estão se tornando cada vez mais preocupantes e discutidas no contexto atual. É ímpeto repensar na forma de obtenção de matéria-prima e disposição final de resíduos, de modo a promover uma maior circularidade dos recursos em um sistema produtivo, podendo ser caracterizado como uma economia circular de alta performance.

Alguns autores criticam que a economia circular parece ser uma compilação de ideias vagas e separadas de vários campos e conceitos semi-científicos, (KORHONEN *et al.*, 2018). Não obstante, a abordagem não é um tema novo. O termo é uma expressão usada apenas nos últimos anos para descrever práticas que, além dos benefícios ambientais, podem trazer vantagens estratégicas, operacionais e competitivas (HEYES *et al.*, 2018), e demanda consciência, responsabilidade e atuação envolvendo todo o ciclo de vida e todos os *stakeholders* da organização (BARROS *et al.*, 2021).

De fato, o termo economia circular é novo, contudo, a essência da teoria é a mesma de escolas de pensamento passadas, como por exemplo, Permacultura (MOLLISON e HOLMGREN, 1978), Ecologia Industrial (GRAEDEL, 1994; LIFSET e GRAEDEL, 2002), Biomimética (BENYUS, 1997), e *Cradle-to-Cradle* (MCDONOUGH e BRAUNGART, 2002). Nesse sentido, avançar e desdobrar o termo para uma chamada economia circular de alta performance parece fazer sentido devido a prosperidade da temática em décadas passadas e perpetuando até hoje com tendências futuras.

Inicialmente, estipula-se que para dar avanço nas práticas de economia circular é necessária uma atuação de alta performance, com o foco singular de gerar

impacto positivo nos negócios. Diante disso, algumas características na tentativa de obter resultados de alta performance são necessários serem explanados.

Nos tempos atuais, e principalmente no período de pós-pandemia (do novo coronavírus), a informação é gerada e transmitida de maneira muito rápida, seja para uma coleta de dados em acesso remoto, uma reunião a distância, ou os próprios sistemas computacionais para gerar resultados instantâneos. Nessa tentativa de abrir caminho para tecnologias emergentes (como a Indústria 4.0 e suas ramificações, por exemplo) e melhorar a eficiência dos recursos e do desempenho ambiental da produção (como a economia circular) uma conexão entre as abordagens é relevante (ver, por exemplo, RAJPUT e SINGH, 2019; TSENG *et al.*, 2018). A abordagem, portanto, exige que tecnologias digitais, como internet das coisas, big data, rede 5G e muitos outros termos derivados da grande temática nomeada de Indústria 4.0 sejam utilizados, e carreguem isso para a efetivação da economia circular de alta performance.

A fala de Morseletto (2020) parece ser verdadeira quando o autor aborda que a reciclagem é o alvo mais comum para promover a economia circular. Embora existam alguns R's a serem utilizados nas práticas de economia circular, a reciclagem está realmente mais presente no diálogo das pessoas e nos estudos como, por exemplo, Di Maio e Rem (2015), Pires e Martinho (2019) Pauliuk *et al.* (2017), Steinmann *et al.* (2019). No entanto, a economia circular de alta performance tenta explorar outros desdobramentos, além da reciclagem, como por exemplo, remanufatura, reutilização, redistribuição, e reparo. Todos esses pontos podem gerar elevada lucratividade e ecoefetividade devido a uma relação econômica e ecológica favorável (ESAIN *et al.*, 2016; LÜDEKE-FREUND *et al.*, 2019).

Nessa tentativa, a remanufatura e o condicionamento, por exemplo, abrange uma série de produtos que possuem peças (e necessitam de substituição) que estão falhando ou que em breve podem vir a falhar (KING *et al.*, 2006; LÜDEKE-FREUND *et al.*, 2019). A estratégia de reparar corrige falhas específicas para que o produto volte a ser utilizado em uma condição normal (DEN HOLLANDER *et al.*, 2017). Contudo, o aumento no número de R's pode nem sempre aumentar a clareza, ao mesmo tempo em que gera sobreposições confusas, podem gerar complexidade inútil na narrativa da economia circular (GHISELLINI e ULGIATI, 2020).

Questões culturais dentro da organização também podem afetar ou promover uma economia circular de alta performance. Mudar para uma perspectiva baseada em economia circular requer mudanças dinâmicas nos aspectos comportamentais (pessoas) e técnicos (sistema produtivo). A cultura é um elemento chave para o desenvolvimento de inovações em direção à economia circular para alcançar a sustentabilidade (BERTASSINI *et al.*, 2021). Com isso, a introdução de um novo modelo de negócio, como uma economia circular, é frequentemente afetada pela cultura de uma organização (KWARTENG *et al.*, 2021; JABBOUR *et al.*, 2019). Portanto, os líderes em negócios têm um papel importante nessa jornada e precisam levar essa abordagem para todos os níveis de colaboradores da organização para que eles estejam alinhados a essa perspectiva e atuem de modo colaborativo e contínuo. Todo esse engajamento e colaboração pode levar a patamares em direção a uma economia circular de alta performance.

Em resumo, todos os temas tratados anteriormente estão integrados e devem ser destacados em negrito em uma narrativa de economia circular de alta performance. Não existe uma definição singular para economia circular, e tampouco para economia circular de alta performance. As interações entre os recursos e os sistemas produtivos são (e estão) estabelecidas no ambiente natural. A regeneração do sistema, o desenvolvimento econômico e social, e o cuidado com os aspectos ecológico são alicerces para a abordagem. O uso de indicadores adequados capazes de gerar resultados qualificados que possam endereçar uma tomada de decisão sustentável e circular que compõe os pilares dessa economia.

Portanto, a aplicação requer uma visão geral do sistema produtivo. Essa aplicação é interessante para analisar mais profundamente as possibilidades (da organização ou do produto) de modo a pensar além da reciclagem. Por isso, a crítica é baseada na ideia de que a organização, de fato, atue em uma frente importante da economia circular e que gere resultados significativos para o sistema, e não fique apenas no discurso simples de que, por exemplo, uma reciclagem ou separar o lixo é uma prática de economia circular. As organizações podem (e devem) fazer mais na tentativa de uma atuação de alta performance.

Tudo isso requer o aporte da alta gestão. Logo, mudanças culturais inclinadas para uma perspectiva de circularidade e práticas sustentáveis são necessárias. Por fim, o uso da conectividade e de tecnologias digitais existem para

facilitar a troca de informação, conhecimento, e gerar inovação e desenvolvimento econômico na busca de uma economia circular de alta performance.

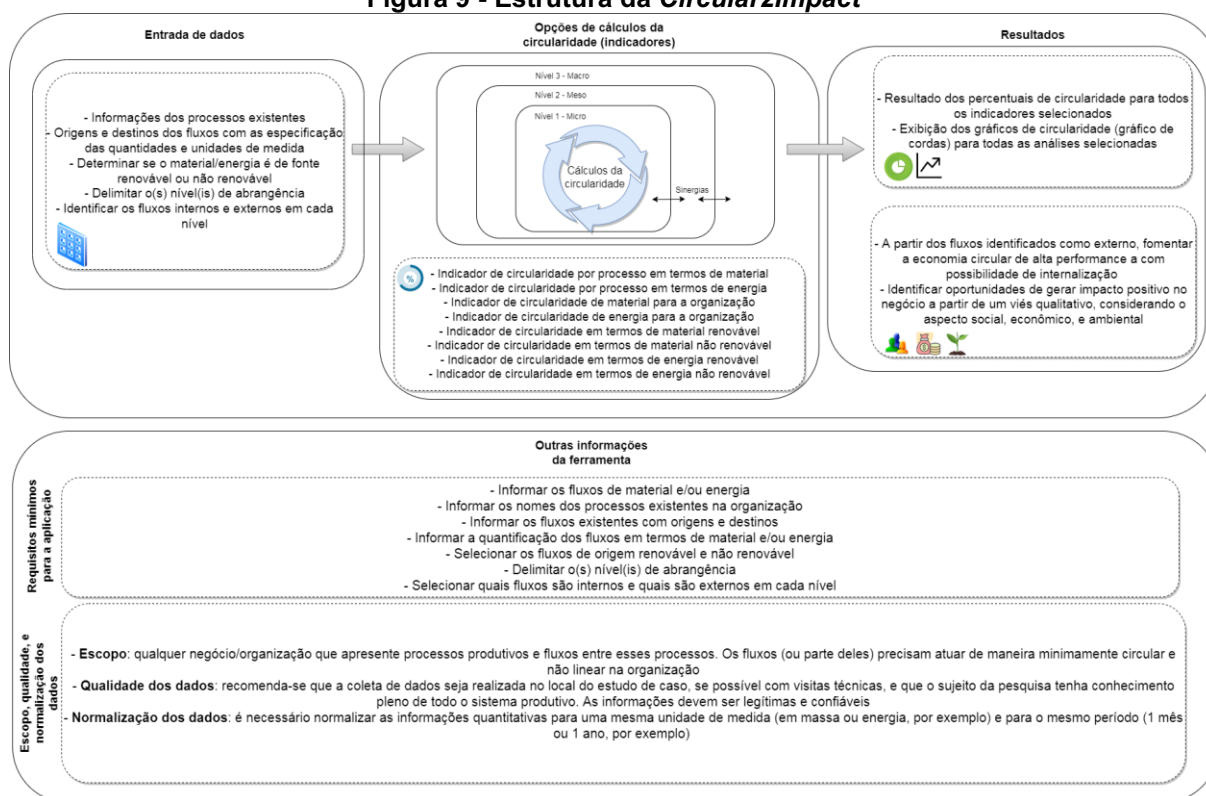
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados e discussões do trabalho. Inicialmente, o capítulo 4.1 apresenta a estrutura da ferramenta *Circular2Impact* desenvolvida. O capítulo 4.2 aborda os resultados do estudo de caso 1, desenvolvido no Brasil, em uma propriedade rural produtora de frangos de corte, inserida em uma integradora. O capítulo 4.3 apresenta os resultados do estudo de caso 2, desenvolvido internacionalmente, em um produto do setor da construção civil. O capítulo 4.4 mostra o estudo de caso 3, aplicado no ambiente internacional, no setor produtor de leite, com fazendas inseridas em uma cooperativa agroindustrial. O capítulo 4.5 discute os resultados atingidos neste trabalho. Por fim, o capítulo 4.6 busca indicar os desdobramentos da ferramenta.

4.1 ESTRUTURA DA FERRAMENTA

Inicialmente, a Figura 9 apresenta um esquema da estrutura da ferramenta, levando em consideração as potenciais entradas de dados; o processamento dos dados referente as informações de circularidade; as saídas das informações, ou seja, as possibilidades de resultados que a ferramenta pode entregar; e, por fim, recomendações são dadas.

Figura 9 - Estrutura da Circular2Impact



Fonte: Autoria própria (2022)

O escopo da ferramenta é baseado em algumas características que estão mencionadas na sequência.

- Tipo de negócio para a aplicação: direciona-se para os negócios que apresentem processos produtivos, com fluxos de material e energia, de modo que esses fluxos (ou parte deles) atuem de maneira minimamente circular e não linear dentro da organização.
- Dados de entrada: como dados de entrada da ferramenta, informações dos processos, origens e destinos dos fluxos, e suas quantidades, são necessárias. Além disso, é preciso determinar quais fluxos tem origem interna e externa a organização.
- Dados de saída: a ferramenta apresenta características quantitativas em termos de apresentar os percentuais de circularidade dos processos e da organização, e um gráfico de cordas que mostra de maneira circular todos os fluxos de material e/ou energia que circulam dentro (interno) e fora (externo) da organização. Além disso, a ferramenta possibilita a identificação de impactos positivos na abordagem da sustentabilidade de

maneira qualitativa, e com isso, uma atuação em perspectiva com a economia circular de alta performance pode ser gerado.

- Nível da organização: os resultados da ferramenta são direcionados para uma perspectiva a nível estratégico das organizações, de modo a atuar na tomada de decisão.
- Limitações: a ferramenta não possui bases aprofundadas para mensurar a circularidade dos materiais que são recuperados, reciclados ou compartilhados. A ferramenta não leva em considerações as emissões para o meio ambiente. O balanço de massa e energia não é considerado, logo, os cálculos são baseados exatamente a partir dos dados de entrada, inserido pelo usuário. No máximo é permitido definir até três níveis de abrangência/fronteira. O transporte não é levado em consideração, mas o consumo do combustível, sim. Infraestrutura e equipamentos não são levados em consideração. Os resultados finais dos cálculos dos indicadores sofrem o processo de arredondamento para cima ou para baixo, pois se optou por não usar casa decimal.

Nos próximos capítulos, os resultados para os três estudos de caso são apresentados. Para as três análises, os gráficos circulares (gráfico de cordas) foram gerados. Portanto, uma breve explicação de como analisá-lo é importante, no entanto, o capítulo 2.2.5 apresenta isso de forma mais completa.

A estrutura do gráfico é nomeada de circular devido às informações visuais representadas por informações de entrada (origem – seta entrando em um determinado processo) e saída (destino – seta saindo de um determinado processo). Cada processo é apresentado em uma cor diferente. O processo considerado externo a organização aparecem na cor cinza (o que indica que esse processo pode ser internalizado). O tamanho da espessura do fluxo representa a quantidade de recurso (em massa ou em energia elétrica), logo podem existir fluxos mais grossos e outros mais finos. Cada gráfico pode ser gerado para cada indicador diferente em cada nível de abrangência.

4.2 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA - ESTUDO DE CASO 1

A mensuração da circularidade para o estudo de caso 1 foi realizada seguindo os procedimentos metodológicos da ferramenta desenvolvida neste trabalho (ver capítulo 2.2). O estudo de caso foi desenvolvido em uma propriedade rural localizada na região de Ribeirão Preto, estado de São Paulo, com produção de frangos de corte, pecuária de corte, e lavoura. A organização apresenta mais de 50 fluxos de material e energia elétrica que interagem nos processos internos da propriedade rural, na integradora, e na externalidade. Para a aplicação do estudo de caso na ferramenta, ao todo, a organização apresenta/troca fluxos de materiais e energia com 12 processos, isto é, aviário, biocompostador, bovinocultura, cisterna, lavoura, depósito de reciclagem, silo, integradora, externo, própria fazenda, origem renovável, e painel solar. Os procedimentos metodológicos da coleta de dados estão descrito no capítulo 2.3.1.

Tais processos foram segregados a aqueles que contêm somente fluxos de material (massa) e energia (energia elétrica). Portanto, utilizando os dados de entrada da ferramenta contidos no Apêndice E, os resultados mostram a circularidade em termos de material (capítulo 4.2.1) para os processos aviário, biocompostador, bovinocultura, cisterna, lavoura, depósito de reciclagem, silo, integradora, externo, própria fazenda, origem renovável; a circularidade em termos de energia (capítulo 4.2.2) para os processos painel solar, aviário, biocompostador, e própria fazenda; a circularidade em termos de fonte renovável e não renovável (capítulo 4.2.3); e a abordagem de economia circula de alta performance e impacto positivo (capítulo 4.2.4).

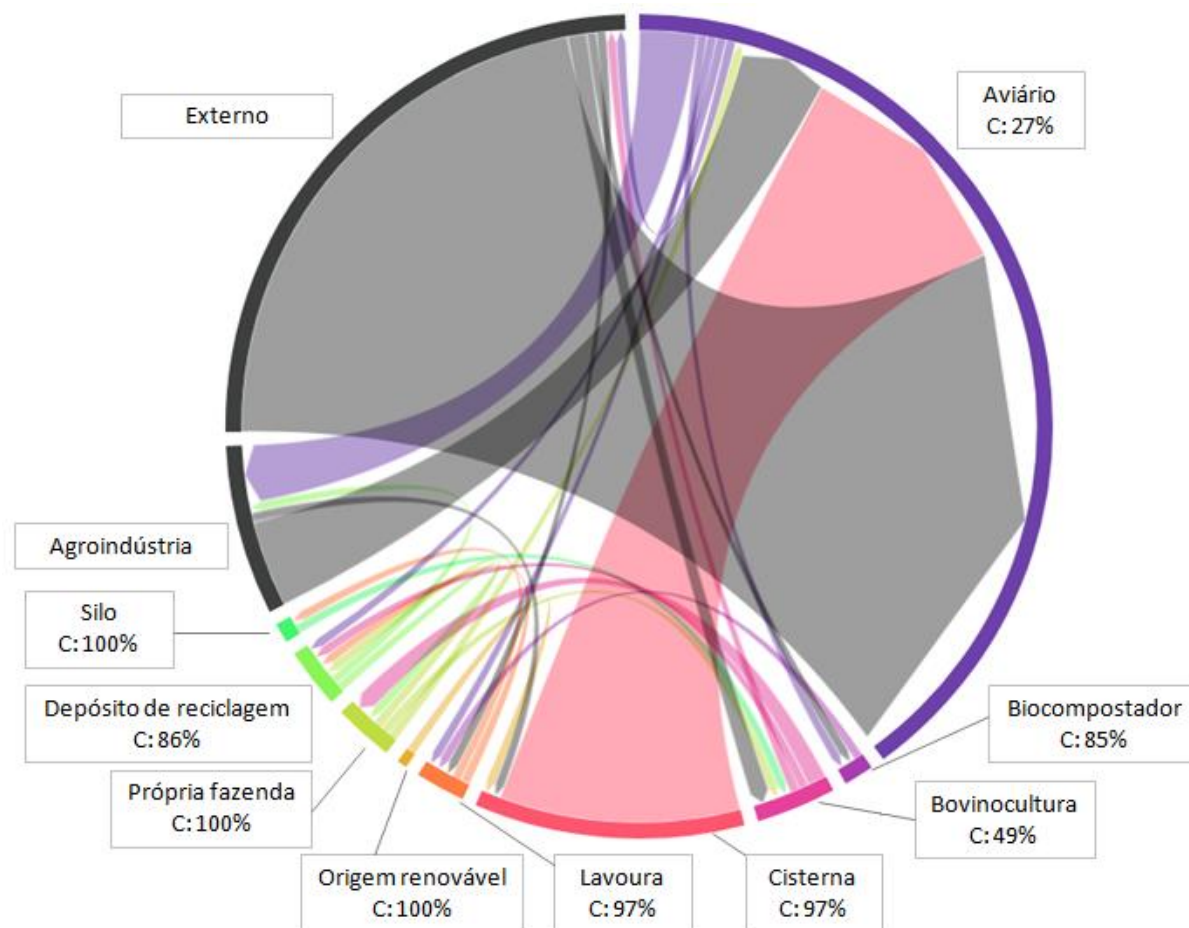
4.2.1 Circularidade em Termos de Material - Estudo de Caso 1

Para a mensuração da circularidade em termos de material, dois níveis de abrangência foram definidos, e os resultados estão apresentados neste capítulo.

Para o nível 1 foi estabelecido os limites da propriedade rural, ou seja, incluiu os processos aviário, biocompostador, bovinocultura, cisterna, lavoura, depósito de reciclagem, silo, própria fazenda, e origem renovável como processos internos a esse nível. Nesse sentido, os processos nomeados de integradora, e

externo foram considerados externos, pois estão fora dos limites de abrangência definido para o nível 1. Portanto, o resultado da circularidade para o nível 1, expresso pelo gráfico circular de cordas pode ser visto na Figura 10.

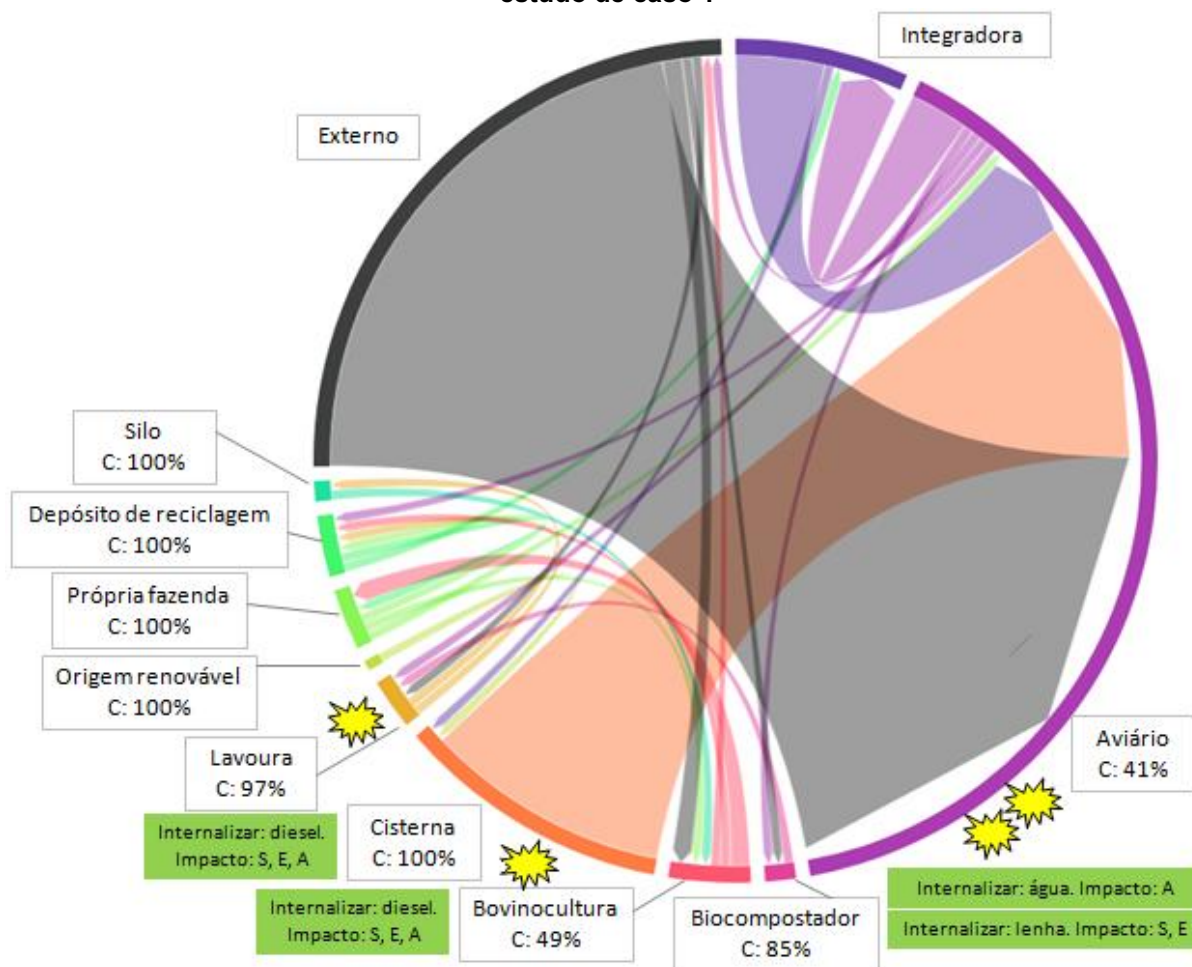
Figura 10 - Processos e fluxos de materiais (ton/ano) da propriedade rural para o nível 1 do estudo de caso 1



Fonte: Autoria própria (2022)

Para o nível 2 foi estabelecido os limites da propriedade rural e da integradora, isto é, houve a inclusão dos processos aviário, biocompostador, bovinocultura, cisterna, lavoura, depósito de reciclagem, silo, própria fazenda, origem renovável, e integradora como processos internos a esse nível. O processo externo foi considerado, por característica, externo (fora dos limites de abrangência) definido para o nível 2. Em resumo, a Figura 11 exibe o resultado da circularidade para o nível 2, em termos de material, expresso pelo gráfico circular de cordas.

Figura 11 - Processos e fluxos de materiais (ton/ano) da propriedade rural para o nível 2 do estudo de caso 1



Fonte: Autoria própria (2022)

A partir disso, a Tabela 1 mostra os percentuais de circularidade para os processos e para a organização em termos de material para o nível 1 e 2.

Tabela 1 - Percentual de circularidade da propriedade rural para os processos e para a organização em termos de material para o nível 1 e 2 do estudo de caso 1

Processo	Nível 1	Nível 2
Aviário	27%	41%
Biocompostador	85%	85%
Bovinocultura	49%	49%
Cisterna	97%	100%
Lavoura	97%	97%
Origem renovável	100%	100%
Própria fazenda	100%	100%
Depósito de reciclagem	86%	100%
Silo	100%	100%
Circularidade da organização	44%	59%

Fonte: Autoria própria (2022)

O destaque do resultado da circularidade, levando em consideração o nível 1 (somente propriedade rural - 44% de circularidade) e o nível 2 (propriedade rural e integradora - 59% de circularidade) ocorre devido a ampla relação de troca de materiais entre as duas organizações, principalmente os insumos para a alimentação dos animais do aviário, e como saída, os próprios animais que tem como destino a integradora. Isso justifica o processo aviário apresentar como resultado do nível 1 uma circularidade de 27%, e no nível 2, uma circularidade de 41%.

A relação de integração agroindustrial possui características empresariais (e de mercado), além das típicas questões agrícolas do produtor integrado. Nesse sistema, o produtor rural possui algumas vantagens, como, garantia de venda da produção, acesso as tecnologias para a produção, acesso a credito e financiamento, e outros. Para o integrador, garantia de recebimento da produção, controle da produção, controle da qualidade, redução de custos de trabalho e custo no preço final do produto, e outros são alguns dos benefícios.

Outro fluxo de material importante é a água. Cerca de 30% do consumo de água no aviário é proveniente da cisterna, e o restante (70%) tem como origem o poço artesiano da fazenda. Além disso, aproximadamente 90% da água que entra no aviário é destinado ao consumo dos animais, e cerca de 10% para lavar e higienizar o ambiente de produção.

A bovinocultura apresentou 49% de circularidade em ambos os níveis, pois para esse processo, a propriedade rural não troca fluxos de materiais com a integradora, logo, o resultado de circularidade será o mesmo. Em específico a esse processo, o número de animais existentes na fazenda é de 344 cabeças, diversificado entre idade, tamanho, e gênero. Nesse sentido, a propriedade estimou

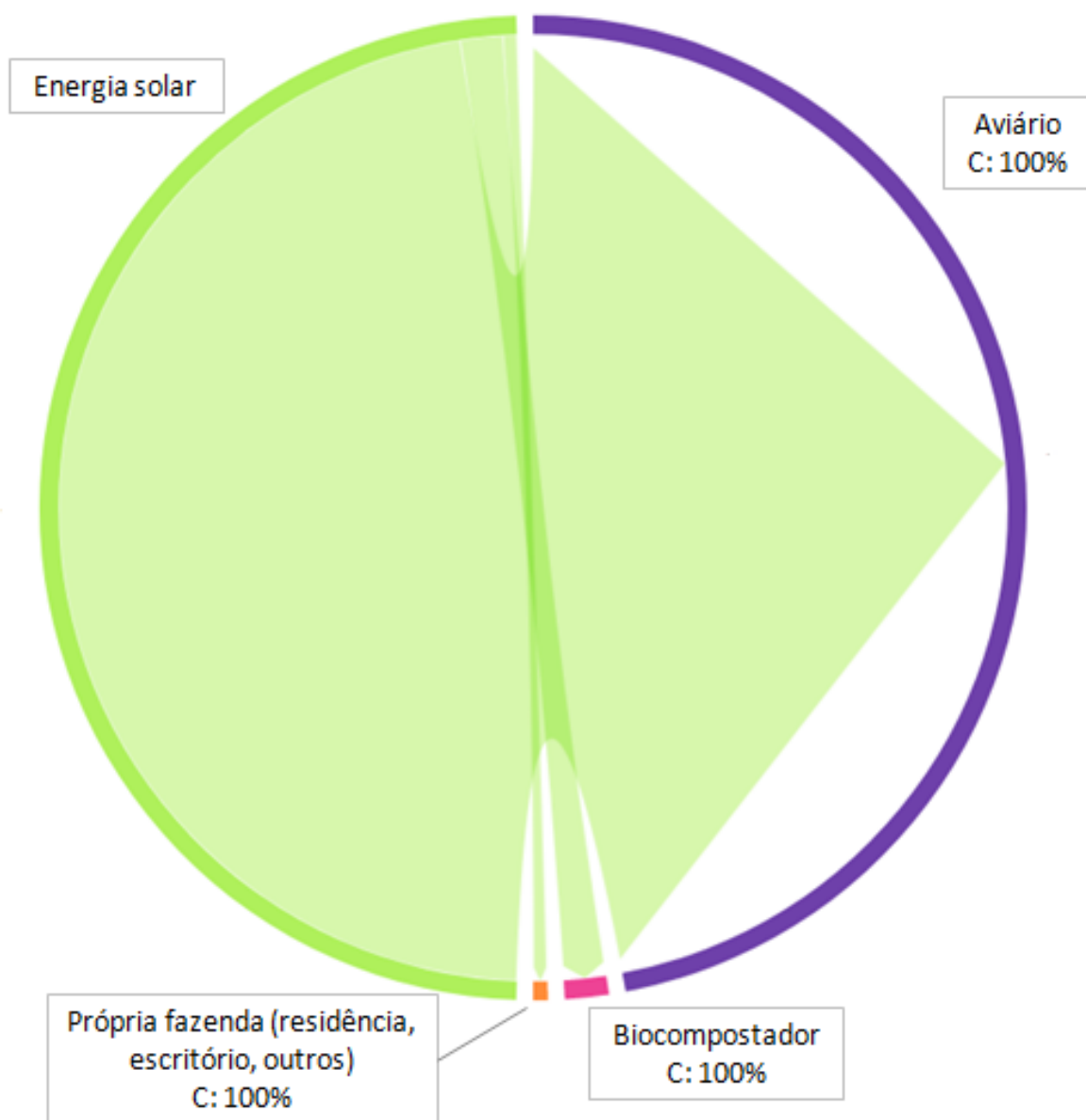
o peso médio do rebanho, o consumo de alimento, água, e a geração de resíduos. Os animais consomem a silagem (produzido dentro da fazenda), o suplemente alimentar (tem origem no externo), e a água que é proveniente de poço artesiano. Certa quantidade de diesel também é utilizada nesse processo em tratores e maquinários. A fazenda não estimou a quantidade de animais mortos. Como fluxo de saída desse processo, os animais são vendidos para o abate para a produção de carne bovina para o ambiente externo da fazenda.

O processo nomeado de própria fazenda (100% de circularidade para ambos os níveis) apresenta alguns materiais com destino a própria fazenda, por exemplo, resíduos orgânicos da bovinocultura (permanecem no pasto); metal, ferro e madeira (permanecem na fazenda para reuso/reutilização). Alguns materiais também apresentam origem nesse processo, como parte da lenha usada do aviário; e a reprodução dos bovinos, que também ocorre na própria propriedade.

4.2.2 Circularidade em Termos de Energia - Estudo de Caso 1

Para a mensuração da circularidade em termos de energia, um nível apenas de abrangência foi definido, pois a organização troca fluxos de energia elétrica somente com processos internos, e não com integradora, nem com o ambiente externo. Portanto, os processos que compõe a análise de circularidade em termos de energia foram painel solar (produtor de energia), e os recebedores (consumidores) foram aviário, biocompostador, e própria fazenda. Deste modo, o resultado da circularidade para o nível 1 em termos de energia elétrica, expresso pelo gráfico circular de cordas pode ser visto na Figura 12.

Figura 12 - Processos e fluxos de energia elétrica (kWh/ano) da propriedade rural para o nível 1 do estudo de caso 1



Fonte: Autoria própria (2022)

A propriedade rural possui três usinas geradoras de energia elétrica através de placas fotovoltaicas. Nesse sentido, a fazenda se destaca na circularidade em termos de energia elétrica, e apresenta uma circularidade de 100%, ou seja, a demanda mensal da fazenda para os processos internos que usam energia é suprida pela produção da energia solar. Além disso, o cálculo da viabilidade econômica foi realizado pela unidade produtora e resultou em aproximadamente cinco anos de retorno do investimento.

O biocompostador, também apresenta uma circularidade de 100% em termos de energia, pois todo o consumo é proveniente de energia solar, não sendo

necessária a compra de eletricidade da rede. Esse processo é extremamente importante para a fazenda, de modo que é realizado a compostagem do material orgânico da fazenda, direcionando-o para um destino ambientalmente correto, e acima de tudo, agregando valor no material, pois após o processamento, o destino do composto orgânico é a lavoura da propriedade rural. Por isso, o processo adere perfeitamente nas abordagens estabelecidas pela economia circular.

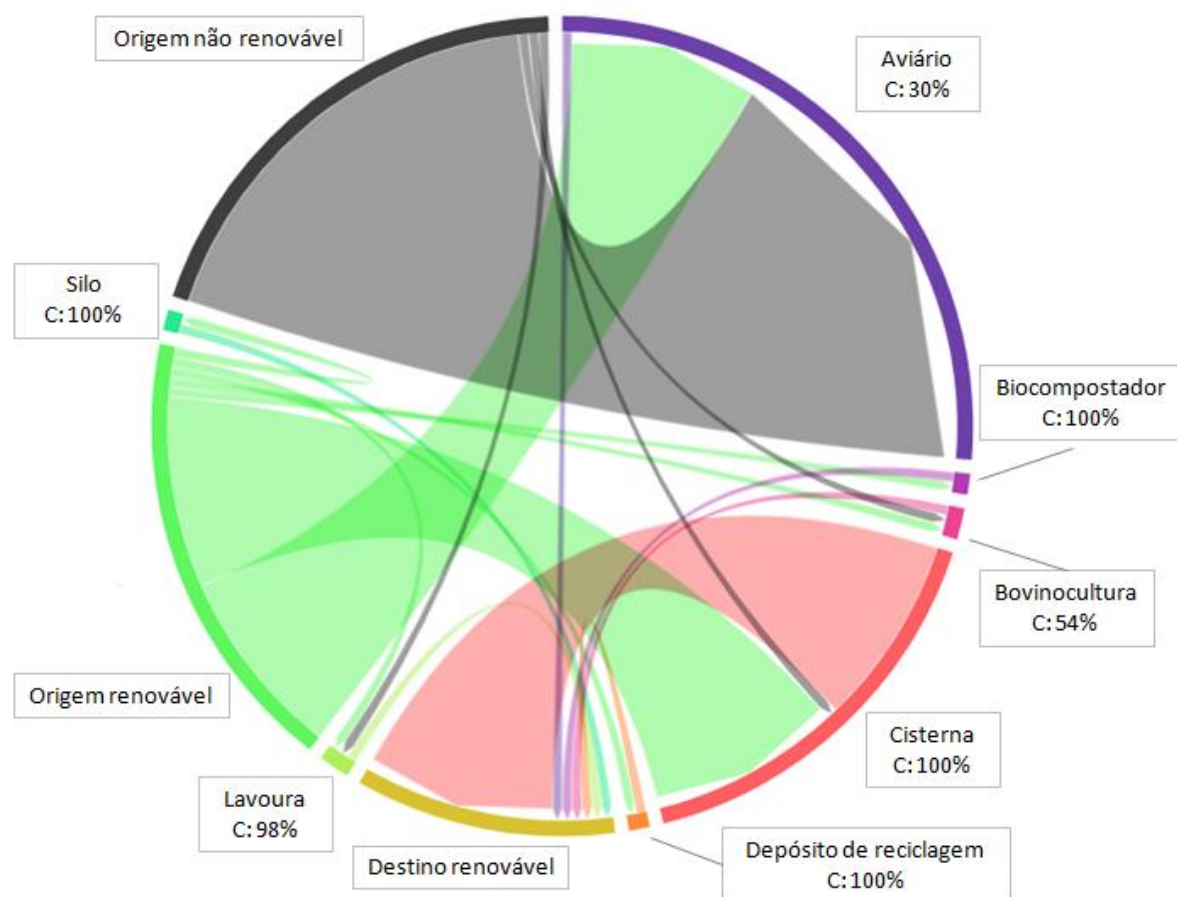
Outro fluxo de energia elétrica, em menor quantidade, é usado no processo nomeado de própria fazenda. Isso representa outros locais da propriedade que usam energia, como cisterna, residência, escritório, e outros. Para essa análise não houve a atuação de alta performance, pois como a circularidade em termos de energia resultou em 100%, não existe fluxo externo (origem e destino).

4.2.3 Circularidade em Termos de Fonte Renovável e Não Renovável - Estudo de Caso 1

Para a mensuração da circularidade em termos de fontes renovável e não renovável, foi levado em consideração somente a análise de materiais, e não a análise de energia, pois como apresentado no capítulo 4.2.2, a energia elétrica da fazenda é proveniente de 100% da fonte solar, logo, de origem renovável e interna. A análise também leva em consideração o último nível de abrangência, ou seja, o nível 2, de modo que todos os processos são avaliados em termos de fonte renovável e fóssil.

Portanto, a Figura 13 mostra os processos e fluxos de materiais renováveis e não renováveis da propriedade rural.

Figura 13 - Processos e fluxos de materiais renováveis e não renováveis (ton/ano) para a análise do estudo de caso 1



Fonte: Autoria própria (2022)

O maior fluxo de origem não renovável, em termos de quantidade, é a água que tem origem no externo da propriedade (poço artesiano). Embora a fazenda tenha uma cisterna que fornece água para ser utilizada no aviário (limpeza e consumo dos animais), a quantidade não é suficiente. Outros fluxos, de origem fóssil, em menores quantidades, também devem ser mencionados, tais como, desinfetante, inseticida líquido, inseticida pó, raticida, cloro, ácido orgânico, cal virgem, gás GLP, diesel, fertilizante, e defensivo agrícola.

Na sequência, a Tabela 2 apresenta os resultados do percentual de circularidade dos processos e da propriedade rural em termos de fontes renováveis.

Tabela 2 - Percentual de circularidade da propriedade rural para os processos e para a organização em termos de fontes renováveis do estudo de caso 1

Processo	Fonte renovável
Aviário	30%
Biocompostador	100%
Bovinocultura	54%
Cisterna	100%
Depósito de reciclagem	100%
Lavoura	98%
Própria fazenda	100%
Silo	100%
Circularidade da organização	72%

Fonte: Autoria própria (2022)

A organização é 72% circular em termos de fonte renovável, e por consequência, 28% circular em termos não renovável. Isso representa que grande parte dos materiais que estão circulando (incluindo as entradas e saídas) possuem, como característica, origem renovável. Além disso, todos os processos apresentam um percentual de circularidade, em termos de fonte renovável (Tabela 2).

4.2.4 Economia Circular de Alta Performance e Impacto Positivo - Estudo de Caso 1

Neste estudo de caso algumas oportunidades são viáveis e interessantes para atuar com alta performance e gerar impacto positivo na fazenda e na integradora, como foi destacado na ficha de coleta de dados (Apêndice E), e está detalhado no Quadro 2.

Quadro 2 - Gerando uma economia circular de alta performance e impacto positivo – estudo de caso 1

Processo	Atuando com a economia circular de alta performance	Impacto positivo		
		Social	Econômico	Ambiental
Aviário	A principal oportunidade de internalizar é referente ao consumo de água. Cerca de 33 milhões de litros por ano são consumidos nesse processo, sendo que 23 milhões é proveniente do externo (poço artesiano), e 10 milhões é proveniente de uma cisterna instalada na fazenda. Como a propriedade já possui uma cisterna para captar e reservar a água da chuva, iniciativas em prol da economia circular de alta performance é viável nesse caso. Instalar mais uma ou duas unidades seria uma solução para reduzir substancialmente o consumo de água do externo, e ao mesmo tempo, aumentar a circularidade, tanto a nível de material, quanto a nível de fonte renovável.	-	-	O impacto positivo gerado é destinado especialmente para o setor ambiental, pois evita de extrair um recurso da natureza, e faz uso da água da chuva.
	A lenha também é um ponto estratégico no negócio para ser internalizada. A lenha é considerada renovável, pois é proveniente de madeira de reflorestamento. Isso pode ser internalizado mediante a destinar uma área de terra para fazer o plantio da árvore. Além disso, a propriedade possui uma área total de aproximadamente 267 hectares. Destinar um espaço para isso é uma opção interessante.	O prisma social apresenta um impacto positivo, pois um número maior de funcionários é necessário para o manuseio e corte das lenhas (seja de característica fixa ou temporária). Isso auxilia na geração de emprego, renda e desenvolvimento social.	O impacto positivo é destinado ao aspecto econômico, pois a fazenda tem um custo anual de quase 100 mil reais com a compra de lenha do externo. Internalizar para uma produção local pode ser benéfico em termos de custo evitado.	-

Processo	Atuando com a economia circular de alta performance	Impacto positivo		
		Social	Econômico	Ambiental
Bovinocultura e lavoura	O diesel consumido na bovinocultura e na lavoura, melhor que internalizá-lo, é substituí-lo. Embora o consumo não seja tão elevado (5 toneladas ao ano em cada processo), o combustível é um material fóssil, e provoca emissões de GEE para a atmosfera durante a queima. Nesse sentido, devido a fazenda estar inserida em um sistema de integração, é possível viabilizar uma união com outras fazendas da região, e providenciar a instalação de um biodigestor, com a finalidade de produzir biometano para abastecer os veículos e equipamentos.	O impacto social refere-se ao desenvolvimento local e regional, pois um movimento para obter e transportar os resíduos até o biodigestor pode gerar novos empregos e difusão de renda para a comunidade produtora.	O impacto econômico é apresentado principalmente após o <i>payback</i> (tempo de retorno) do investimento. De fato, a instalação de um biodigestor não é simples e barato, no entanto, o sistema de integração colaborativo pode providenciar formas de pagamento/financiamento.	O impacto positivo é baseado em questões ambientais, devido a redução de emissões de GEE, e também em dar um destino aos resíduos agrícolas para a geração do biogás e do biometano, por exemplo.

Fonte: Autoria própria (2022)

4.3 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA - ESTUDO DE CASO 2

A mensuração da circularidade para o estudo de caso 2 foi realizada seguindo os procedimentos metodológicos da ferramenta desenvolvida neste trabalho (ver capítulo 2.2). O estudo de caso foi desenvolvido para avaliar a circularidade de 1 unidade do bloco nomeado CTB, para a construção de edifícios.

Para a produção do CTB, mais de 15 fluxos de material e energia elétrica interagem nos processos internos e externos da fábrica. Para a aplicação do estudo de caso na ferramenta, ao todo, a organização apresenta/troca fluxos de materiais e energia com 5 processos, ou seja, fabricação da espuma de vidro, montagem do CTB, construção, externo, e rede de eletricidade. Como estabelecido nos procedimentos metodológicos da coleta de dados desse estudo de caso (ver capítulo 2.3.2), três cenários de fim de vida foram levados em consideração na tentativa de gerar novas oportunidades de destino do resíduo, e com perspectivas de aumentar a circularidade do produto.

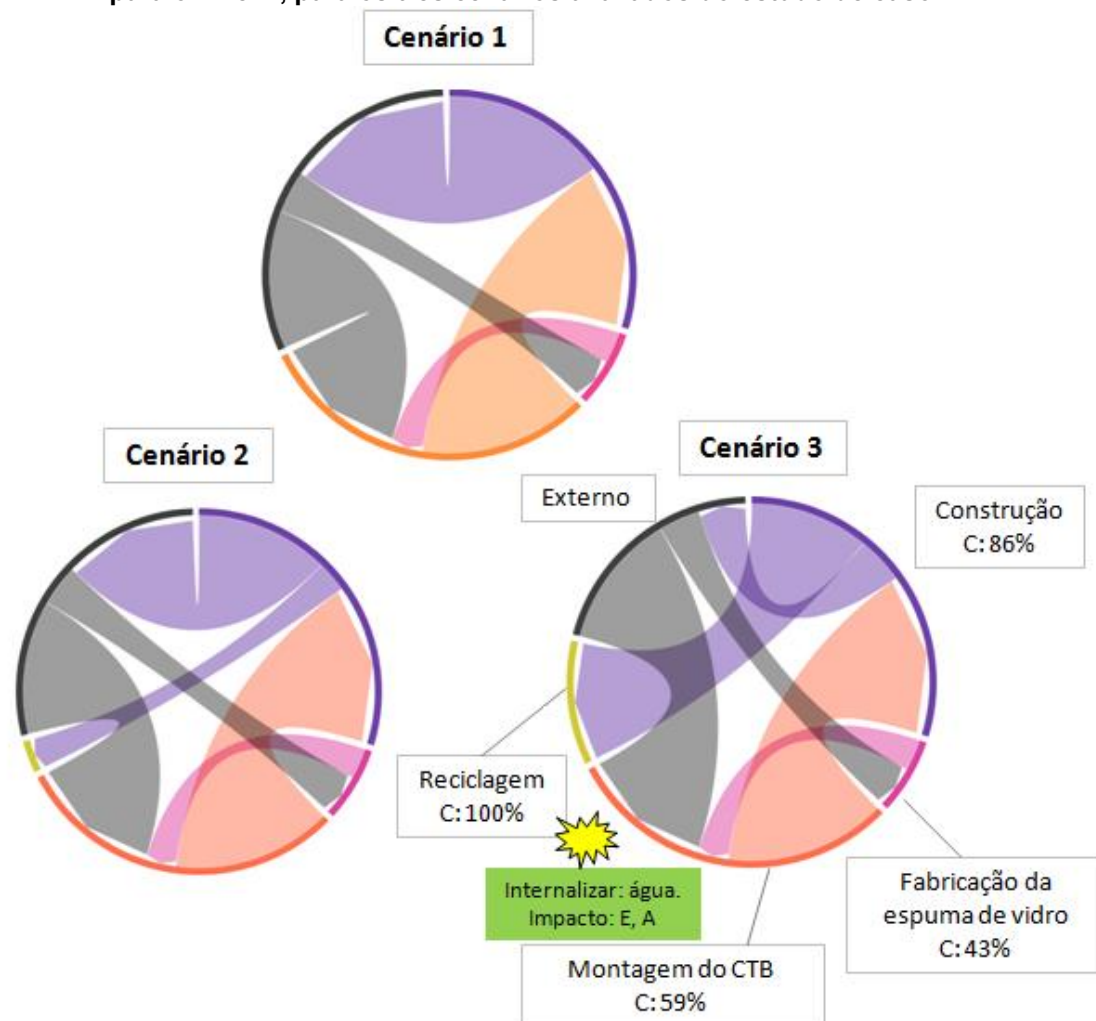
Tais processos foram segregados a aqueles que contem fluxos de material (massa). A análise em termos de energia (energia elétrica) não foi realizada neste estudo de caso, pois a eletricidade é proveniente da rede, e nenhuma quantidade de energia tem origem o ambiente interno da fábrica. Portanto, utilizando os dados de entrada da ferramenta contidos no Apêndice G, os resultados mostram a circularidade em termos de material (capítulo 4.3.1), a circularidade em termos de fonte renovável e não renovável (capítulo 4.3.2); e a abordagem de economia circular de alta performance e impacto positivo (capítulo 4.3.3).

4.3.1 Circularidade em Termos de Material - Estudo de Caso 2

Para a mensuração da circularidade em termos de material, um nível de abrangência foi definido, e os resultados estão apresentados neste capítulo.

A Figura 14 mostra os resultados dos três cenários estabelecidos para a avaliação da circularidade para a fabricação de uma unidade do bloco CTB. Todos os cenários possuem como limite de abrangência somente um nível, pois a fábrica trabalha de modo particular, e não atua em cooperação com outras fábricas ou rede industrial, por exemplo.

Figura 14 - Processos e fluxos de material (kg) para a fabricação de uma unidade do bloco CTB para o nível 1, para os três cenários avaliados do estudo de caso 2



Fonte: Autoria própria (2022)

Para uma análise de circularidade por processo, a Tabela 3 apresenta os resultados percentuais para os processos separados nos três cenários.

Tabela 3 - Percentual de circularidade para a fabricação de uma unidade do bloco CTB para os processos e para a organização em termos de material para os três cenários do estudo de caso 2

Processo	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Fabricação da espuma de vidro	43%	43%	43%
Montagem do CTB	59%	59%	59%
Construção	50%	58%	86%
Reciclagem	0%	100%	100%
Circularidade da fábrica	53%	59%	74%

Fonte: Autoria própria (2022)

O processo de fabricação do bloco para os três cenários avaliado é o mesmo. O que difere um cenário de outro são as opções de fim de vida. O cenário 1

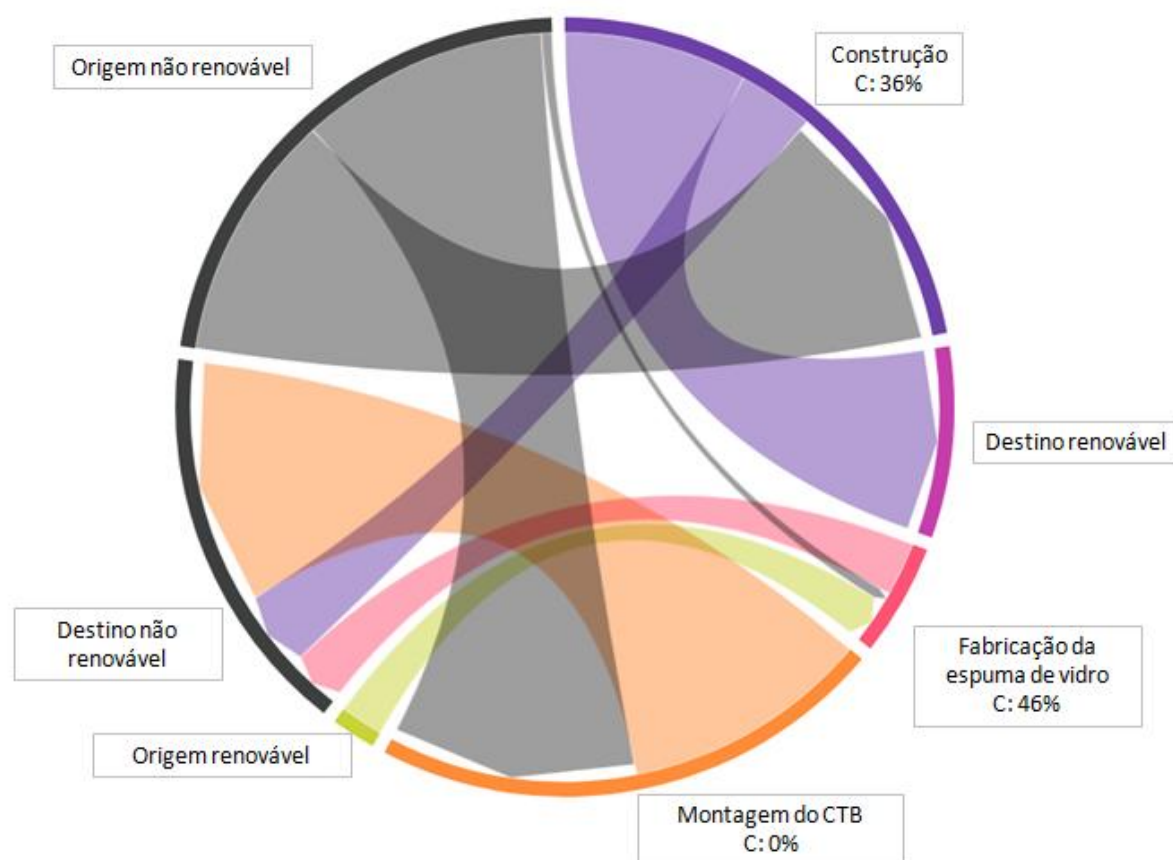
resultou em uma circularidade total de 53%, de modo que após a demolição da construção, 100% dos resíduos são destinados ao aterro sanitário. A premissa adotada no cenário 2 foi que parte da espuma de vidro é realizada a reciclagem. Com isso, esse cenário obteve uma circularidade de 59%. Já o cenário 3, amplia a quantidade e o tipo de material que é destinado para a reciclagem. Nesse, parte da espuma de vidro e do tijolo de argila são reciclados, portanto a circularidade sobe para 74%.

4.3.2 Circularidade em Termos de Fonte Renovável e Não Renovável - Estudo de Caso 2

Para a mensuração da circularidade em termos de fontes renovável e não renovável foi levado em consideração a análise de materiais. A parte de energia elétrica não foi analisada, pois a fábrica usa energia proveniente da rede, e não possui geração própria. A análise leva em consideração o nível 1 de abrangência, pois no escopo deste estudo de caso foi definido para conter somente um nível. Mesmo assim, todos os processos existentes nessa abrangência foram avaliados em termos de fonte renovável e fóssil.

Nesse sentido, a Figura 15 mostra os processos e fluxos de materiais renováveis e não renováveis da fábrica para a produção de uma unidade do bloco CTB. Essa análise leva em consideração o cenário 3 (nível 1) (definido no capítulo 2.3.2.2, ou seja, parte dos resíduos do CTB (após a demolição) é destinado ao aterro sanitário, parte é realizado a reciclagem da espuma de vidro, e parte é reciclado o tijolo de argila.

Figura 15 - Processos e fluxos de materiais renováveis e não renováveis (kg) para a produção de uma unidade do CTB para a análise do estudo de caso 2



Fonte: Autoria própria (2022)

A seguir, a Tabela 4 apresenta os resultados do percentual de circularidade dos processos em termos de fontes renováveis.

Tabela 4 - Percentual de circularidade para os processos e para a fábrica em termos de fontes renováveis do estudo de caso 2

Processo	Fonte renovável
Fabricação da espuma de vidro	46%
Montagem do CTB	0%
Construção	36%
Circularidade da fábrica	34%

Fonte: Autoria própria (2022)

A fábrica possui 34% de circularidade em termos de fonte renovável, e por consequência, 66% de circularidade em termos de fonte não renovável. Todos os processos possuem possibilidade de ampliar o uso de fontes de origem renovável, mas principalmente a montagem do CTB. O processo de construção apresenta possibilidades de elevar o uso de fonte renovável, principalmente se aumentar a quantidade de material que é reciclado (após a demolição).

4.3.3 Economia Circular de Alta Performance e Impacto Positivo - Estudo de Caso 2

O presente estudo de caso apresenta oportunidades para atuar com uma economia circular de alta performance e impacto positivo. Isso como foi destacado na ficha de coleta de dados (Apêndice G), e está detalhado no Quadro 3.

Quadro 3 - Gerando uma economia circular de alta performance e impacto positivo - estudo de caso 2

Processo	Atuando com a economia circular de alta performance	Impacto positivo		
		Social	Econômico	Ambiental
Fabricação da espuma de vidro	No processo fabricação da espuma de vidro uma possibilidade é internalizar o fluxo de água. Uma opção estratégica é captar água da chuva, inserindo um sistema de calhas e filtros no teto da fábrica. Isso evita o consumo de água do externo, e potencializa o índice de circularidade a nível de material e a nível de fonte renovável.	-	No prisma econômico, o custo evitado com a compra de água da rede é evidente. Embora a fábrica tenha que investir em um sistema de captação e tratamento de água, após o <i>payback</i> (tempo de retorno do investimento), a organização começa a ter um custo evitado.	O impacto positivo gerado é destinado especialmente para a abordagem ambiental da sustentabilidade, ao passo que evita a extração de um recurso da natureza.
Fabricação da espuma de vidro e montagem do CTB	Os processos de fabricação da espuma de vidro, e montagem do CTB usam energia elétrica. Para gerar um resultado inclinado com a economia circular de alta performance uma opção é usar eletricidade de origem renovável.	-	-	O impacto positivo gerado é tratado pela esfera ambiental, de modo que uma energia renovável é quase sempre considerada melhor do que uma proveniente de fonte fóssil.

Fonte: Autoria própria (2022)

4.4 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA - ESTUDO DE CASO 3

A mensuração da circularidade para o estudo de caso 3 foi realizada seguindo os procedimentos metodológicos da ferramenta desenvolvida neste trabalho (ver capítulo 2.2). O estudo de caso foi desenvolvido em um conjunto de propriedades rurais do setor leiteiro que fazem parte de uma cooperativa agroindustrial localizada na região da Galícia, Espanha. A organização

(representada pelo conjunto de fazendas) apresenta mais de 15 fluxos de material e energia elétrica que interagem nos processos internos das propriedades rurais, na cooperativa agroindustrial, e na externalidade. Para a aplicação do estudo de caso na ferramenta, ao todo, a organização troca fluxos de materiais nos processos de lavoura, ordenha, cooperativa agroindustrial, reciclagem, rede de água, própria fazenda, e processo externo. Os procedimentos metodológicos da coleta de dados estão descritos no capítulo 2.3.1.

Para esse estudo de caso, utilizaram-se informações em termos de material (massa), e os dados de entrada da ferramenta estão contidos no Apêndice I. As informações em termos de eletricidade também foram coletadas, contudo não foram inseridas na ferramenta de circularidade, pois toda energia elétrica é proveniente da rede, logo não existe circularidade em termos de eletricidade.

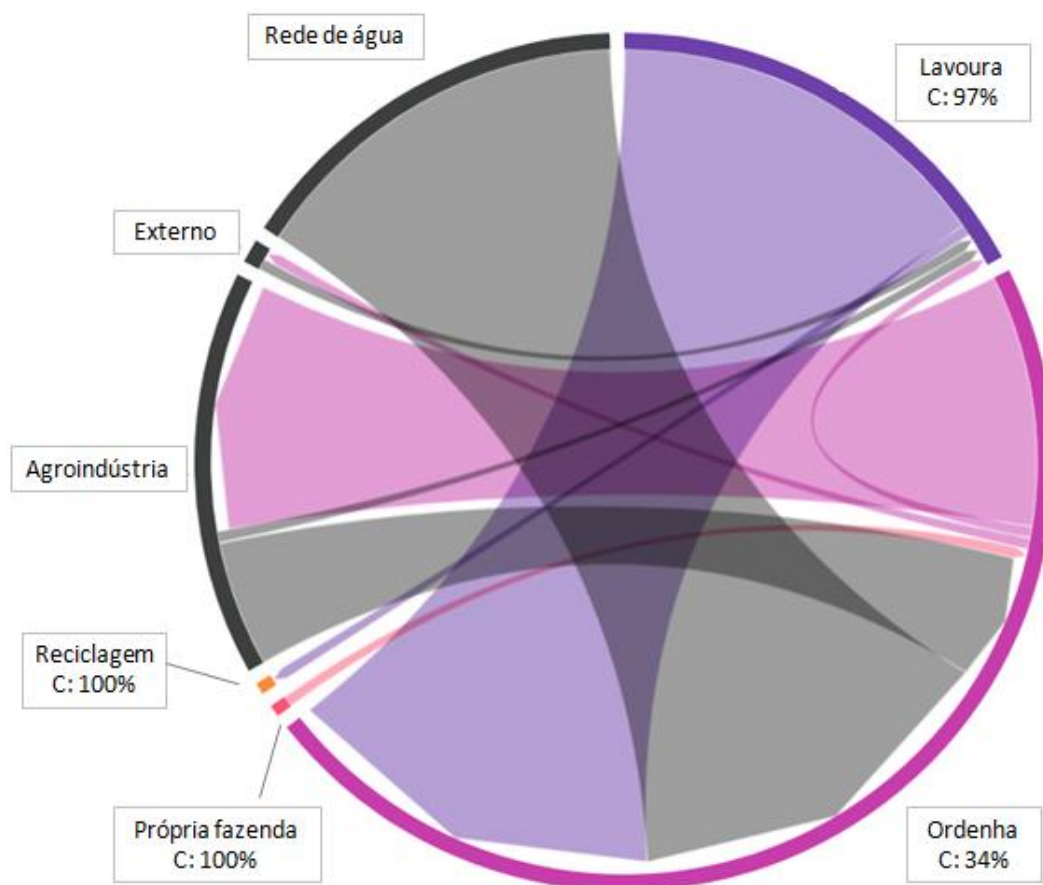
Portanto, o capítulo 4.4.1 apresenta os resultados em termos de massa em dois níveis de abrangência. O capítulo 4.4.2 mostra a circularidade em termos de fonte renovável e não renovável. O capítulo 4.4.3 aborda a economia circular de alta performance e impacto positivo.

4.4.1 Circularidade em Termos de Material - Estudo de Caso 3

Para a mensuração da circularidade em termos de material, dois níveis de abrangência foram definidos, e os resultados estão apresentados neste capítulo.

Para o nível 1 foi estabelecido os limites das propriedades rurais, ou seja, incluiu os processos internos das fazendas, (lavoura, ordenha, e própria fazenda) desconsiderando a cooperativa agroindustrial. Portanto, o resultado da circularidade para o nível 1, em termos de materiais expresso pelo gráfico circular de cordas, pode ser visto na Figura 16.

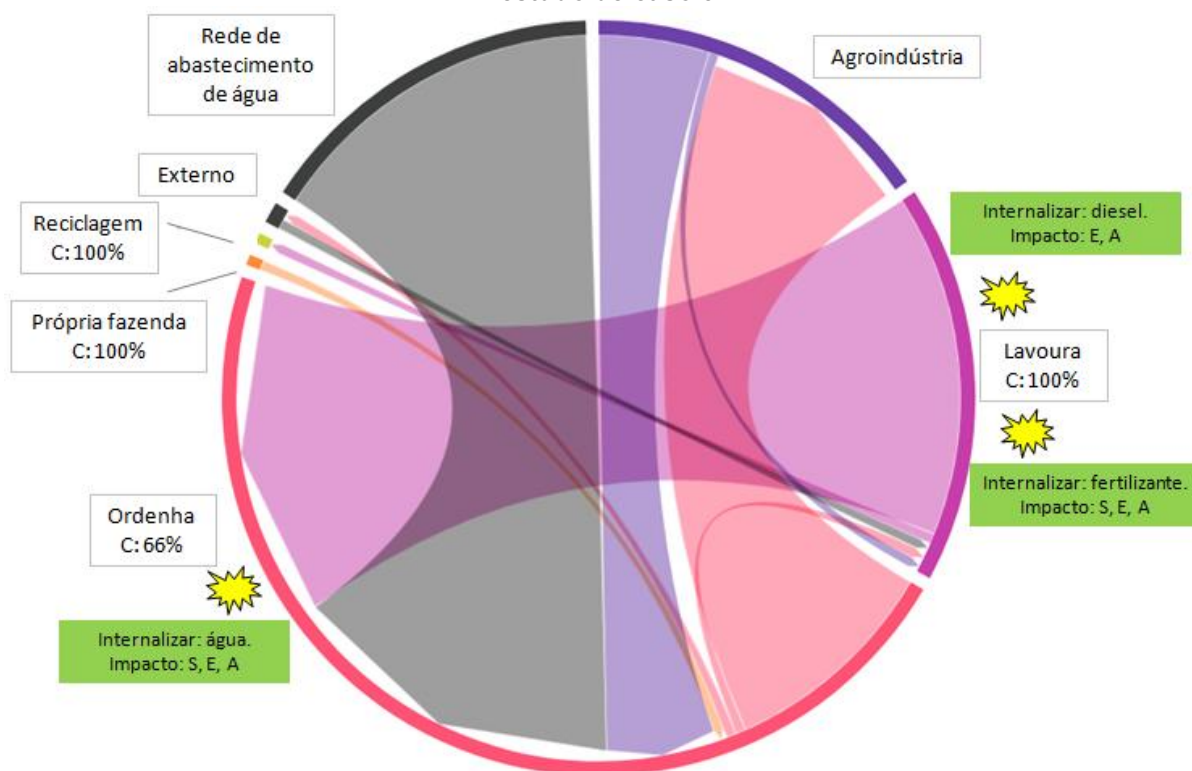
Figura 16 - Processos e fluxos de materiais (ton/ano) das propriedades rurais para o nível 1 do estudo de caso 3



Fonte: Autoria própria (2022)

Para o nível 2 foi estabelecido os limites das propriedades rurais e da cooperativa agroindustrial, isto é, os processos lavoura, ordenha, cooperativa agroindustrial, reciclagem, e própria fazenda foram considerados internos, e os processos externos foram rede de água, e processo externo. Em resumo, a Figura 17 exibe o resultado da circularidade para o nível 2, em termos de material, expresso pelo gráfico circular de cordas.

Figura 17 - Processos e fluxos de materiais (ton/ano) das propriedades rurais para o nível 2 do estudo de caso 3



Fonte: Autoria própria (2022)

A partir disso, a Tabela 5 mostra os percentuais de circularidade para os processos e para a organização (conjunto de propriedades rurais) em termos de material para o nível 1 e 2.

Tabela 5 - Percentual de circularidade do conjunto das propriedades rurais para os processos e para a organização em termos de material para o nível 1 e 2 do estudo de caso 3

Processo	Nível 1	Nível 2
Lavoura	97%	100%
Ordenha	34%	66%
Reciclagem	100%	100%
Própria fazenda	100%	100%
Circularidade da organização	51%	80%

Fonte: Autoria própria (2022)

O destaque do resultado da circularidade, levando em consideração o nível 1, ou seja, o conjunto das 50 propriedades rurais, é de 51% de circularidade. O nível 2, considerando o conjunto das propriedades rurais e a agroindústria, é de 80% de circularidade.

A relação de cooperativa agroindustrial possui características de cooperação para o fortalecimento das fazendas e da região, além das típicas questões agrícolas

do produtor integrado, como por exemplo, de fornecimento de insumos, e entrega do produto acabado, ou semiacabado, como o leite, por exemplo. Por isso, esse aumento de quase 30% de circularidade entre o nível 1 e o nível 2 ocorre devido a relação de troca de materiais, principalmente no processo de ordenha, de modo que os insumos (como material de limpeza, forro de silicone, e suplemento alimentar) são provenientes da cooperativa, e o leite produzido, tem destino a cooperativa para o beneficiamento.

Um fluxo externo de destaque nesse sistema é a água (proveniente da rede de abastecimento), devido ao elevado consumo pelos animais e pela limpeza do local da ordenha. Outro fluxo representativo é a produção de milho e capim na lavoura. Esse fluxo é interno, e é considerado importante para sustentar a o elevado resultado da circularidade do sistema, pois tem como destino a alimentação dos animais. Além disso, certa quantidade de diesel também é utilizada em tratores e maquinários na lavoura (considerado um fluxo externo).

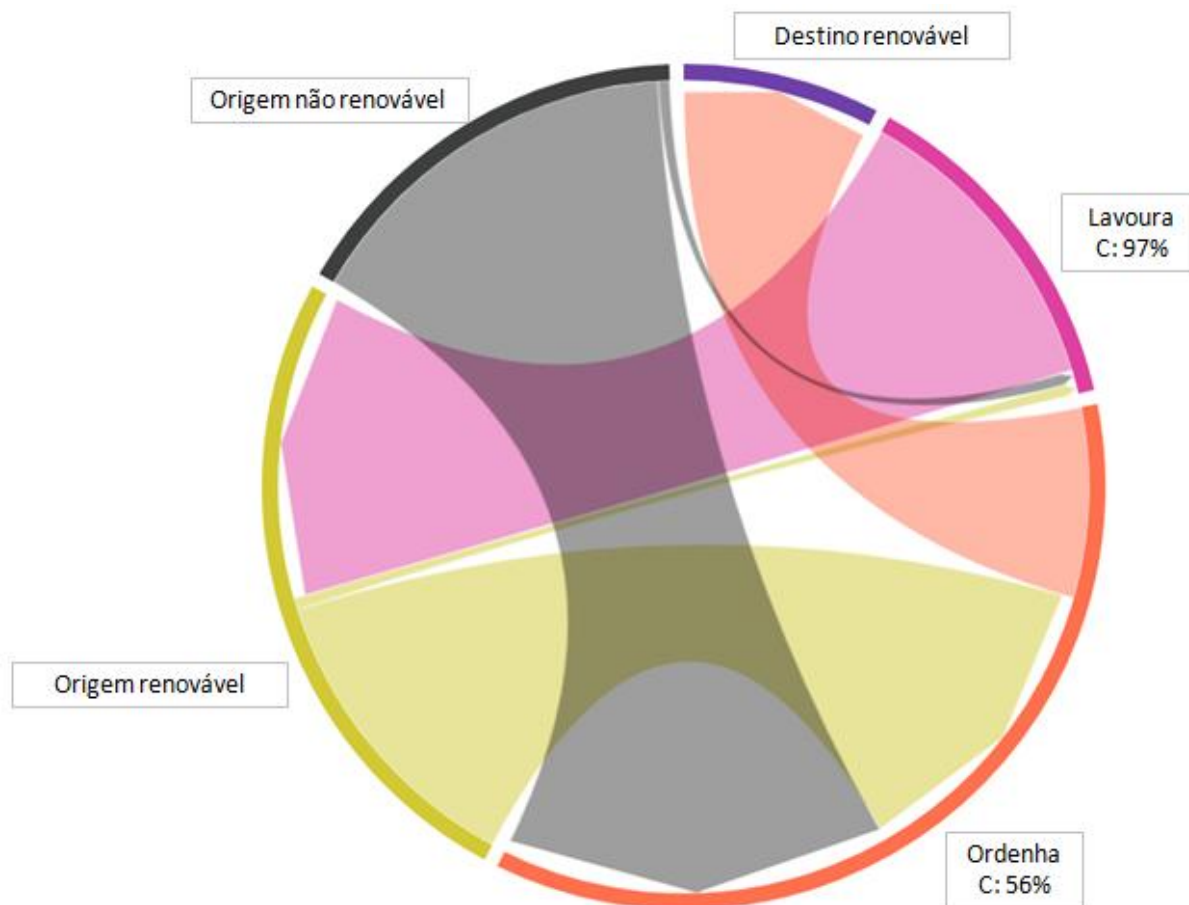
Como fluxo de saída da lavoura, as embalagens são destinadas a reciclagem, e, portanto, resultou em 100% de circularidade em ambos os níveis. Como fluxo de saída da ordenha, o leite tem destino a cooperativa agroindustrial (para realizar o beneficiamento), e a carne tem como destino os frigoríficos da região (considerado externo a análise). Além disso, o processo nomeado de própria fazenda (100% de circularidade para ambos os níveis) representa que os animais (nascidos) são provenientes da própria fazenda.

4.4.2 Circularidade em Termos de Fonte Renovável e Não Renovável - Estudo de Caso 3

Para a mensuração da circularidade em termos de fontes renovável e não renovável, foi levado em consideração apenas a análise em termos de materiais, e não de energia. O conjunto de propriedades rurais leiteiras usa eletricidade da rede, e não possuem autogeração, nesse sentido, toda a fonte foi considerada não renovável e proveniente do ambiente externo, logo a circularidade na ótica de energia é nula. A análise também leva em consideração o último nível de abrangência, ou seja, o nível 2, de modo que todos os processos são avaliados em termos de fonte renovável e fóssil.

A partir disso, os resultados dos processos e fluxos de materiais renováveis e não renováveis do conjunto de 50 fazendas estão expressos na Figura 18.

Figura 18 - Processos e fluxos de materiais renováveis e não renováveis (ton/ano) para a análise do estudo de caso 3



Fonte: Autoria própria (2022)

O maior fluxo de origem não renovável, em termos de quantidade, é a água que tem origem no externo da propriedade. As fazendas realizam a compra de água do ambiente externo para ser usado no processo de ordenha, tanto para o consumo dos animais, quanto para limpeza e higienização do local. Ainda na ordenha, existem outras matérias de origem não renovável, como os materiais de limpeza e forro de silicone para auxiliar no processo de extração do leite do animal. Na lavoura, certa quantidade de material é proveniente de fonte não renovável, como fertilizante, pesticida, e o consumo do diesel.

Na sequência, a Tabela 6 apresenta os resultados do percentual de circularidade dos processos e do conjunto de fazendas em termos de fontes renováveis.

Tabela 6 - Percentual de circularidade da propriedade rural para os processos e para a organização em termos de fontes renováveis do estudo de caso 3

Processo	Fonte renovável
Lavoura	97%
Ordenha	56%
Circularidade da organização	80%

Fonte: Aatoria própria (2022)

A organização é 80% circular em termos de fonte renovável, e por consequência, 20% circular em termos não renovável. Isso representa que majoritariamente a quantidade dos materiais que estão circulando (incluindo as entradas e saídas) possuem, como característica, origem renovável. Embora as fazendas apresentem um elevado resultado do percentual de fonte renovável, ainda existem questões para serem pensadas e melhoradas, principalmente no processo de ordenha.

4.4.3 Economia Circular de Alta Performance e Impacto Positivo - Estudo de Caso 3

O Quadro 4 mostra as potenciais rotas para atuar com uma economia circular de alta performance, e as possibilidades de gerar impacto positivo nas esferas social, econômico e ambiental na organização. O Apêndice I apresenta a ficha de coleta de dados e aponta as possibilidades de impacto positivo, e o Quadro 4, as detalha.

Quadro 4 - Gerando uma economia circular de alta performance e impacto positivo - estudo de caso 3

Processo	Atuando com a economia circular de alta performance	Impacto positivo		
		Social	Econômico	Ambiental
Lavoura	<p>A Galícia é a principal região produtora de leite da Espanha. Esse estudo de caso contempla uma cooperativa agroindustrial com 50 fazendas, no entanto, muitas outras cooperativas e propriedade fazem parte da região. Desenvolver novos negócios baseado em um biodigestor pode ser uma solução viável em termos de alta performance. A matéria-prima (resíduos agrícola e agropecuária) é abundante. As opções de saída do biodigestor e do biogás podem beneficiar a comunidade local.</p>	<p>Em termos sociais, o desenvolvimento local e regional faz parte do impacto, pois é necessário um movimento para obter e transportar os resíduos até o biodigestor. Isso pode gerar novos empregos e difusão de renda para a comunidade produtora.</p>	<p>De fato, o investimento inicial é necessário e não é trivial. Contudo, o ambiente cooperativista possui colaboração para poder traçar rotas estratégicas na concepção de um biodigestor, por exemplo, e reduzir o custo com a compra do fertilizante (e outros produtos que podem ser gerados, como biogás, biometano, energia elétrica). Além disso, outra opção econômica é a extração do gás CO₂, realizar o envase, e vender para indústrias de bebidas que usam o gás, como cerveja e refrigerante.</p>	<p>O impacto positivo é baseado na ótica ambiental, devido a redução no consumo de fertilizante (substituído pelo biofertilizante), redução no consumo de diesel (substituído pelo biometano), redução do consumo de gás de cozinha (substituído pelo biogás), redução de consumo de energia da rede (substituído por geração própria).</p>
	<p>O diesel consumido na lavoura pode ser substituído. Tomando como base o exemplo anterior (biodigestor), o equipamento é capaz de produzir um combustível limpo e renovável (biometano), e abastecer os veículos das fazendas. Embora seja necessária uma adaptação nos veículos para receber esse tipo de combustível, o processo é considerado simples e de baixo custo.</p>	-	<p>O olhar econômico é apresentado principalmente pelo custo evitado da compra do diesel. Esse combustível vem sofrendo variações de preço, pois é acompanhado pela marcação a mercado do preço do barril no contexto internacional, e pela variação da moeda dólar. Produzir um combustível internamente pode evitar questões externas que fogem do controle das organizações.</p>	<p>O impacto positivo é baseado em questões ambientais, devido a redução de emissões de GEE para o meio ambiente proveniente da queima do diesel. Além disso, os resíduos agrícolas e da agropecuária tem um destino garantido e ambientalmente viável.</p>

Processo	Atuando com a economia circular de alta performance	Impacto positivo		
		Social	Econômico	Ambiental
Ordenha	Para gerar um resultado viável com a economia circular de alta performance uma opção é usar eletricidade de origem renovável, com produção no ambiente interno.	-	Em termos econômicos, a eletricidade também vem sofrendo elevando nível de aumento de preço, principalmente em locais que a geração depende de fatores externos (como, por exemplo, a hidrelétrica, ou a ativação de usinas nucleares). Nesse sentido, gerar eletricidade usando fonte eólica, solar, ou biogás é uma opção.	O impacto positivo gerado é tratado pela esfera ambiental, e está alinhada com as metas e objetivos traçados pela União Europeia de descarbonização.
	Internalizar o fluxo de água pode ser uma estratégia em consonância com os três pilares da sustentabilidade. Captar água da chuva, de fato, parece uma premissa simples e antiga, mas que poucas organizações realizam. Isso é importante, principalmente no ambiente rural que o consumo de água pelos animais é alto.	Pensar em um recurso finito, como a água, é pensar em gerações futuras e na sociedade. Essa é a principal premissa no aspecto social para esse impacto.	No prisma econômico, o custo evitado com a compra de água da rede de abastecimento ou da extração de um poço artesiano pode levar a patamares de evitar um desembolso quando se pode obter uma matéria-prima “sem custo” (desconsiderando a instalação e manutenção de uma cisterna, por exemplo).	Em termos ambientais fica claro a teoria e a prática de evitar uma extração de um recurso da natureza, e propor uma solução de reuso.

Fonte: Autoria própria (2022)

4.5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.5.1 Discussão do Estudo de Caso 1

O estudo de caso 1 apresentou resultados interessantes para o ambiente rural produtor de frangos de corte como atividade primária, e bovinocultura e lavoura como atividade secundária. É evidente que essa fazenda está em patamares avançados em termos de sustentabilidade e práticas inclinadas com a economia circular. A fazenda é um caso de sucesso no Brasil devido às práticas sustentáveis e ao investimento que vem sendo feito constantemente, nomeadamente, em uma cisterna para reutilização da água da chuva, painéis solares para autogeração de energia elétrica, biocompostador para processar os resíduos orgânicos, e depósito de reciclagem para reutilizar os materiais que ainda estão em bom estado. Embora a organização seja reconhecida no ambiente do agronegócio e venha ganhando prêmios de sustentabilidade nos últimos anos, os resultados da ferramenta *Circular2Impact* mostram que ainda existem pontos a serem ajustados para elevar os benefícios e os impactos.

Os principais pontos que a organização pode avançar em termos de alta performance e geração de impacto estão contemplados no Quadro 2. Internalizar o fluxo de água, e substituir o diesel por biometano são opções viáveis e geram impacto, mas não são imediatas. Uma opção de curto prazo é internalizar o fluxo de lenha, para ser extraído de dentro da propriedade, gerando oportunidade de evitar um custo anual com a compra do material de fora.

O estudo de caso mostra também que fica claro quando uma organização (nesse caso rural) atua em cooperação com um conjunto de organizações do mesmo setor (ou setores próximos). Neste caso específico, o sistema de integração age em benefícios de enviar e receber os materiais das fazendas e fomenta o desenvolvimento econômico e social da região.

O interessante de atuar em um sistema maior (levando em consideração uma abrangência mais ampla, como é o caso deste estudo) é a constatação do resultado de circularidade tende a ser maior com o aumento dos níveis de abrangência. O nível 1 (somente a fazenda) resultou em 44% de circularidade em termos de material. O nível 2 (fazenda e integradora) resultou em 59% de

circularidade em termos de material. No aspecto energia elétrica, a organização é inserida em patamares elevados, pois possui sua própria geração de eletricidade e não depende da rede. Para o resultado do indicador em termos de fonte renovável/não renovável, a principal medida que a fazenda pode melhorar é no aspecto de extração de água do poço artesiano (considerado externo a fazenda), substituindo isso por uma ampliação do sistema de cisterna, que já existe na propriedade.

Esse ambiente de negócio apresenta algumas diretrizes de atuação que estão estabelecidos na Agenda 2030 (ONU, 2015) no que se refere aos ODS, como por exemplo, agricultura sustentável (ODS 2), energia limpa (ODS 7), crescimento econômico (ODS 8), consumo e produção sustentável (ODS 12), ação climática (ODS 13), parcerias e meios de implementação (ODS 17).

4.5.2 Discussão do Estudo de Caso 2

O segundo estudo de caso abordado neste trabalho gerou resultados direcionados para a produção de um produto. O ambiente de aplicação foi no setor da construção civil, e o produto estudado foi um bloco (tijolo) nomeado de CTB que incorpora resíduos de outros produtos e, portanto, possui propriedades eficientes (em termos ambientais) do que o tijolo convencional.

Para avançar com o estudo de circularidade, três cenários de fim de vida foram levados em consideração, na tentativa de reciclar o material após a demolição da construção, e assim, potencializar a circularidade do material. O cenário 1 é considerado o pior dos três, pois todo o material da demolição é destinado ao aterro sanitário. O segundo, direcionar uma parte desse material para a reciclagem da espuma de vidro. E o terceiro cenário amplia essa abordagem, e estende a reciclagem para o tijolo de argila.

Nessa perspectiva, os resultados da ferramenta mostram que existem pontos a serem ajustados na fábrica para melhorar os benefícios e os impactos gerados, e podem ser vistos no Quadro 3. Mas em resumo, internalizar o fluxo de água e gerar energia elétrica usando fontes renováveis e autogeração parece ser mais plausível, do que a internalização ou substituição de um material que faz parte do processo de produção do CTB, como por exemplo, o carbono negro, óxido de

magnésio, nitrato de potássio, e adesivos, mesmo estes serem considerados externos a organização. O ponto tratado aqui atua com a alta performance no curto e médio prazo.

A fábrica atua de forma isolada (a partir da concepção da aplicação do escopo do estudo de caso), mesmo assim, o indicador de circularidade resultou em 53% em termos de material para o cenário 1, e 74% para o cenário 3. Levando em consideração o indicador em termos de fonte renovável/não renovável, a fábrica utiliza 34% dos materiais de origem renovável, e um potencial de melhoria de 66% na tentativa de substituir os materiais não renováveis.

Esse sistema produtivo atua com alguns ODS que estão estabelecidos na Agenda 2030 (ONU, 2015), tais como, crescimento econômico (ODS 8), indústria e infraestrutura (ODS 9), consumo e produção sustentável (ODS 12).

4.5.3 Discussão do Estudo de Caso 3

O estudo de caso 3 mostrou resultados interessantes para o ambiente rural produtor de leite como atividade primária, e gado de corte e lavoura como atividade secundária. O conjunto dos resultados é expresso para 50 fazendas produtoras de leite na região da Galícia, Espanha, e todas elas estão inseridas em uma cooperativa agroindustrial. Cada propriedade rural possui diferente área de produção e volume de produção, no entanto, todas elas contam com um sistema de ordenha automática, e sistema de produção do tipo confinado.

As principais questões que as propriedades rurais (incluindo a cooperativa agroindustrial) podem avançar em termos de alta performance e geração de impacto positivo estão contempladas no Quadro 4. Os processos de lavoura e ordenha merecem atenção para internalizar alguns fluxos que tem origem/destino o externo da organização. O principal ponto de impacto para a cooperativa agroindustrial atuar é o desenvolvimento de um equipamento de biodigestão. Na Europa, e especialmente na Espanha, o sistema é difundido e possui alternativas econômicas e técnicas reais para a instalação. O impacto gerado se estende aos três pilares da sustentabilidade, principalmente com a geração de emprego, renda, e desenvolvimento econômico. Afunilando para a perspectiva ambiental, a agregação de valor nos produtos como biofertilizante, biometano, biogás, energia elétrica, e

CO₂ tornam o sistema cooperativista mais forte, independente de questões externas, sustentável, e circular.

Semelhante ao estudo de caso 1, a presente análise mostra que quando uma organização (nesse caso rural) atua em cooperação com um conjunto de organizações do mesmo setor, a tendência de circularidade dos materiais, a agregação de valor deles, e o fomento no desenvolvimento econômico e social da região tendem a aumentar.

Nesse aspecto, os principais resultados para a análise em termos de material mostram que o conjunto das fazendas (nível 1) é 51% circular, e quando incorpora a cooperativa agroindustrial (indústria que fornece os insumos e recebe o leite para beneficiamento) sobe para 80% de circularidade (nível 2). O indicador em termos de fonte renovável/não renovável também resultou em 80% de circularidade para a fonte renovável, e 20% não renovável.

Por fim, esse negócio cooperativista apresenta algumas diretrizes de atuação que estão alinhadas com a Agenda 2030 (ONU, 2015) no que se refere aos ODS, como por exemplo, agricultura sustentável (ODS 2), crescimento econômico (ODS 8), consumo e produção sustentável (ODS 12), parcerias e meios de implementação (ODS 17).

4.6 DESDOBRAMENTOS DA FERRAMENTA

4.6.1 Implicações da Ferramenta

Inicialmente, uma abordagem de economia circular baseada em circularidade (usando indicadores) precisa ser cuidadosamente analisada. Para Haupt e Hellweg (2019, p. 1) “são necessários indicadores e metas ambientais para garantir que a economia não se torne apenas circular, mas também sustentável”. As abordagens para medir a circularidade de produtos, serviços e organizações parecem estar falhando em alguns aspectos. Muitos pesquisadores lançam uma luz sobre os indicadores de circularidade e sua importância para uma transição linear para circular (PINTÉR, 2006; PARK e CHERTOW, 2014; DI MAIO e REM, 2015; FRANKLIN-JOHNSON *et al.*, 2016; HUYSMAN *et al.*, 2017; ELIA *et al.*, 2017; MORAGA *et al.*, 2021).

Como explanado no capítulo 3.2, ferramentas e indicadores estão estabelecidas no campo científico, como por exemplo, *Circular Economy Index* (DI MAIO e REM, 2015), *The Reuse Potential Indicator* (PARK e CHERTOW, 2014), *C-indicators* (SAIDANI *et al.*, 2019); e no campo não científico, como *Circle Economy* (2022), *Circularity Calculator* (2022), *Circular Economy Toolkit* (EVANS e BOCKEN, 2013), *Cradle Certified* (C2C, 2022). Cada ferramenta apresenta uma contribuição única com o objetivo de medir e apoiar uma economia circular mais eficaz. No entanto, cada uma aborda de maneira particular os resultados para um determinado processo/produto/organização, ficando limitado a outras aplicações que não tange o escopo lançado pela ferramenta.

Nesse prisma, a *Circular2Impact* abrange um número maior de potenciais aplicações em diferentes áreas de negócios, com opções para processos, produtos, e a nível organizacional, levando em consideração os requisitos mínimos de aplicação (ver capítulo 2.2.1). Além disso, as preocupações com questões de sustentabilidade são crescentes, e a identificação da circularidade entre sistemas e o meio ambiente permite identificar oportunidades de melhoria nas três esferas da sustentabilidade, o que as outras ferramentas desenvolvidas parecem não abordar de maneira explícita. Nesse sentido, a seguir são apresentados os impactos gerados pela *Circular2Impact* no âmbito da sustentabilidade, e os principais resultados e benefícios mediante a uma aplicação.

O aspecto social é essencial. A ferramenta, portanto, tem como missão auxiliar os usuários da ferramenta a resolver problemas reais do setor produtivo, podendo gerar a oportunidade de desenvolver um novo negócio, ou criar um novo processo dentro do ambiente produtivo, poder influenciar na geração de emprego, distribuição de renda, e desenvolvimento social. Mas também é necessário pensar no viés de perpetuar os recursos naturais para as próximas gerações.

No prisma econômico, rotas alternativas podem ser viáveis para agregar valor no produto, processo e organização. A possibilidade de redução de custos com a substituição de matéria-prima extraída da natureza por um material já processado é uma realidade no sistema produtivo. Criar ou expandir um negócio (circular) para atuar em um ambiente local/regional fornecendo ou recebendo um material pode ser economicamente interessante do ponto de vista de proximidade, parceria estratégica, e fomento para o desenvolvimento local/regional. O custo evitado também é um excelente exemplo. Na ferramenta, o custo evitado não

necessariamente resulta em uma economia tangível no orçamento da organização, mas resulta em potenciais mudanças baseadas em ações de economia circular que a organização pode começar a seguir para agregar valor no seu produto ou processo.

Vale ressaltar que a economia circular de uma organização totalmente circular (por exemplo, 100% ou próximo disso) nem sempre é vantajoso. É preciso que abordagens complementares sejam usadas com o objetivo de gerar um resultado que seja, de fato, sustentável. É por isso que o indicador de material/energia de fonte renovável/não renovável é estabelecido. O resultado do percentual de circularidade em termos de material de uma organização pode ser distinto do resultado de circularidade em termos de fonte renovável dessa mesma organização.

Além disso, quanto maior a circularidade a nível de processo ou organizacional, a tendência é de gerar maior valor interno, mais vantagem competitiva e, conseqüentemente, menos resíduos (ou reaproveitamento do resíduo). No entanto, não se pode generalizar que o maior índice de circularidade (por exemplo, 100% ou próximo disso) é melhor.

Diante desse contexto, a economia circular de alta performance pode gerar diversos benefícios para as organizações se atuar de forma simbiótica em relações “ganha-ganha”. Algumas soluções ligadas à economia circular, como perspectivas de ciclo de vida, *ecodesign*, inovações verdes, e manufatura sustentável podem ser desenvolvidas nas organizações para promover a sustentabilidade, competitividade e inovação.

4.6.2 Outras Aplicações Utilizando a Ferramenta e Possibilidades

A ferramenta desenvolvida neste trabalho vem passando por incrementos e é estudada desde o início do curso de doutorado do autor deste trabalho. Nessa perspectiva, testes, validações, e discussão com as partes interessadas também vem sendo realizada nesse percurso, além das três aplicações apresentadas nesse documento como geração dos resultados.

Um exemplo específico, a ferramenta teve a oportunidade de ser utilizada em um estudo de caso na produção de casulo de seda (ver BARCELOS *et al.*,

2021). O trabalho utilizou a *Circular2Impact* (em uma fase anterior a estabelecida aqui) para identificar oportunidades de criação de valor a partir da internalização de fluxos na produção de casulos de seda, e então, promover uma bioeconomia circular. O estudo analisou o cenário atual da propriedade rural, e um cenário futuro incluindo propostas circulares, como (i) engajamento com práticas de logística reversa, (ii) estabelecimento de uma cooperativa agroindustrial local, e (iii) construção de biodigestores comunitários.

Outras aplicações e a difusão da ferramenta a nível de mercado está sendo feita. Nesse sentido, propostas e oportunidades futuras em termos do desdobramento da *Circular2Impact* estão em aberto e podem vir a ocorrer, incluindo novos incrementos de indicadores, novas abordagens da sustentabilidade, novos impactos gerados, e novas utilizações no ambiente produtivo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

Medir a circularidade está se tornando uma estratégia cada vez mais útil para as empresas aumentarem o valor interno e encontrarem maneiras de internalizar os fluxos externos. Ao invés de apenas buscar determinar quão circular é uma organização ou um sistema por meio de ações e práticas, medir a circularidade está se tornando uma questão de gerenciamento. No entanto, não se pode gerenciar o que não é medido. Assim, é necessário encontrar formas eficientes de determinar a circularidade e classificar os fluxos em categorias apropriadas, tendo em conta que mais circular, por si só, não significa mais sustentável.

Além disso, todo e qualquer sistema produtivo pode ser entendido como parte de um modelo cíclico e natural, onde as entradas e saídas dos processos têm interações e trocas com o ambiente natural. Nesse sentido, as preocupações com questões de sustentabilidade são crescentes, e a identificação da circularidade entre sistemas e o meio ambiente permite identificar oportunidades de melhoria nas três esferas.

Portanto, a ferramenta *Circular2Impact* busca atuar em resposta a essas questões tratadas anteriormente, com o objetivo singular de poder gerar novas oportunidades de negócio. Os resultados aqui disponíveis para o usuário retratam um diagnóstico do atual estado da organização em termos de circularidade de material, energia, e fontes renováveis e fósseis, com possibilidades de internalizar os fluxos de origem e destino externo ao sistema, e com isso, atuar em prol de uma economia circular de alta performance, e gerar impacto positivo no negócio.

No geral, avaliar a circularidade e usar sua inteligência para a tomada de decisão pode trazer benefícios para as organizações e, ao mesmo tempo, gerar impactos positivos na sociedade, na economia, e no meio ambiente. Uma oferta de valor mais limpo leva a uma produção e consumo mais limpos, ajudando a sociedade a reduzir a carga ambiental dos ciclos técnicos e fluxos de materiais e energias mais limpos, e contribuindo para o alcance de alguns dos ODS e metas ambientais estabelecidas por entidades do setor público e do setor privado a nível nacional e internacional.

A caracterização do problema apresentado aqui é um problema real que existe nos negócios. A ferramenta, portanto, pode efetivamente ser aplicada nos negócios para gerar um impacto positivo, e mostrou isso, a partir da aplicação de três estudos de caso em diferentes setores e diferentes localidades. Em resumo, a *Circular2Impact* pode ser considerada um trampolim para impulsionar a adoção de uma economia circular de alta performance e gerar impacto positivo nos negócios.

5.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Este estudo não pretende ser exaustivo nem isento de limitações.

Inicialmente, a etapa de revisão sistemática da literatura científica contém limitações e merecem ser esclarecidas. O trabalho procurou apresentar os indicadores diretos (ou mais próximos) da abordagem de economia circular, no entanto, a pesquisa restringiu-se ao conceito de economia circular, excluindo paradigmas sobrepostos ou relacionados com outros tópicos relacionados. Além disso, os documentos selecionados foram provenientes de publicações de alto impacto, excluindo fontes não revisadas por pares ou literatura cinza e, portanto, outros documentos alinhados com a temática podem ter ficado de fora da análise.

Levando em consideração o desenvolvimento da ferramenta *Circular2Impact*, limitações devem ser mencionadas. A principal limitação dos indicadores de circularidade é não considerar o balanço de massa e energia do sistema. A abordagem de longevidade (período de tempo), e a abordagem de taxas de remanufatura, recuperação, e compartilhamento não são levadas em consideração. Emissões diretas e indiretas para o meio ambiente não fazem parte do escopo estabelecido. A ferramenta permite no máximo três níveis de abrangência, e não mais do que isso. O transporte (incluindo tipo de transporte, distância, rotas) não é levado em consideração, mas o consumo do combustível, sim. A infraestrutura estabelecida no ambiente produtivo e os equipamentos utilizados não são levados em consideração, somente os materiais e energia usados por eles. O percentual de circularidade resultante (para todos os indicadores) é apresentado em número inteiro, e não em número decimal.

5.3 OPORTUNIDADES PARA ESTUDOS FUTUROS

Este estudo deixa como recomendações para trabalhos futuros algumas oportunidades.

Pesquisas futuras podem se concentrar no desenvolvimento dos pontos listados no capítulo 5.2, principalmente nos seguintes critérios: desenvolver um critério que considere o balanço de massa e energia em uma análise de circularidade; considerar a longevidade e taxas de remanufatura do material; emissões, transporte, e infraestrutura podem ser aplicados em uma análise em conjunto com a técnica de ACV; estabelecer indicadores de circularidade para avaliar questões financeiras, e sociais (como número de geração de emprego e renda).

Outras técnicas também podem ser utilizadas na compilação dos dados e também no formato da geração dos resultados para a circularidade, como por exemplo, Gráfico de Controle, *dashboard*, e plataformas que utilizam *business intelligence* (BI) no sentido de orientar uma gestão de informações para os negócios.

Além disso, uma oportunidade singular é a tangibilidade, ou seja, disponibilizar a ferramenta em uma plataforma online/aplicativo, com disponibilidade de acesso remoto, facilitando e ampliando o uso para a sociedade e para o mercado, tendo em vista sua perpetuação.

REFERÊNCIAS

AALBORG UNIVERSITY. **Project CleanTechBlock 2**: Thermal conductivity measurement of cellular glass samples. 2019. Disponível em: <https://vbn.aau.dk/en/publications/project-cleantechblock-2-thermal-conductivity-measurement-of-cell>. Acesso em 14 de mar de 2022.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Família de normas ISO 14000**. NBR ISO 14000. Rio de Janeiro, 1996.

AGROCIRCLEWINS. **AgroCircle Wins**: Economia circular e inovações em intercooperações agroindustriais. 2021. Disponível em: <https://agrocirclewins.com.br/>. Acesso em 03 de mar de 2022.

AGROCYCLE. **A Blueprint and EU Policy-Forming Protocol for the Recycling and Valorisation of Agri-Food Waste**. 2022. Disponível em: <http://www.agrocycle.eu/>. Acesso em 03 de mar de 2022.

ALAMEREW, Yohannes A. et al. A multi-criteria evaluation method of product-level circularity strategies. **Sustainability**, v. 12, n. 12, p. 5129, 2020.

AZEVEDO, Susana Garrido et al. Proposal of a sustainable circular index for manufacturing companies. **Resources**, v. 6, n. 4, p. 63, 2017.

BARCELOS, Silvia Mara Bortoloto Damasceno et al. Circularity of Brazilian silk: Promoting a circular bioeconomy in the production of silk cocoons. **Journal of Environmental Management**, v. 296, p. 113373, 2021.

BARROS, Murillo Vetroni et al. Circular economy as a driver to sustainable businesses. **Cleaner Environmental Systems**, p. 100006, 2021.

BARROS, Murillo Vetroni. **Ferramenta para promover a economia circular em propriedades rurais**. 2019. 105 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

BARŠAUSKAS, Petras et al. The evaluation of e-commerce impact on business efficiency. **Baltic Journal of Management**, v. 3, n. 1, p. 71-91, 2008.

BENYUS, Janine. **Biomimicry: Innovation Inspired by Nature**, 1997.

BERTASSINI, Ana Carolina et al. Circular economy and sustainability: The role of organizational behaviour in the transition journey. **Business Strategy and the Environment**, v. 30, n. 7, p. 3160-3193, 2021.

BLOOMBERG LÍNEA. **500 da América Latina**. 2020. Disponível em: <https://www.bloomberglinea.com.br/especiales/500-pessoas-mais-influentes-america-latina/>. Acesso em 10 de mar de 2022.

BOCKEN, Nancy et al. Product design and business model strategies for a circular economy. **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 33, n. 5, p. 308-320, 2016.

BRANDSEN, Taco et al. Hybrid organizations: No cause for concern?. **International Journal of Public Administration**, v. 34, n. 13, p. 827-836, 2011.

BSI. British Standards Institution. **BS 8001 Standard**. Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations – Guide. The British Standards Institution, London, 2017.

C2C. **Cradle to Cradle Certified**. 2022. Disponível em: <https://www.c2ccertified.org/>. Acesso em 14 de fev de 2022.

CALCULADORA DE CIRCULARIDADE. **Circularity Calculator**. 2021. Disponível em: <http://www.circularitycalculator.com/#top>. Acesso em 15 de mar de 2022.

CANAL RURAL. **Luciana Dalmagro, uma mulher que leva o agro até no nome**. 2020. Disponível em: <https://blogs.canalrural.com.br/agroinspiradoras/2020/10/30/luciana-dalmagro-uma-mulher-que-leva-o-agro-ate-no-nome/>. Acesso em 10 de mar de 2022.

CIE. Centro para Ecologia Industrial. **Noções básicas de CTB: CleanTechBlock – Noções básicas de blocos de construção multifuncionais sustentáveis**. Disponível em: http://www2.dem.uc.pt/CenterIndustrialEcology/projects/ERA-NET_CTB.htm. Acesso em 11 de mar de 2022.

CIRCLE ECONOMY. **Circle Economy**. 2022. Disponível em: <https://www.circle-economy.com/>. Acesso em 15 de fev de 2022.

CIRCLE ECONOMY. **The Circularity Gap Report Summary**. 2021. Disponível em: <https://www.circularity-gap.world/2021>. Acesso em 15 de mar de 2022.

CIRCLE ECONOMY. **The Circularity Gap Reporting Initiative**. 2018. Disponível em: <https://www.circularity-gap.world/>. Acesso em 15 de mar de 2022.

CIRCULAR BERLIN. **Reshaping Berlin towards a circular city**. 2021. Disponível em: <https://circular.berlin/>. Acesso em 15 de mar de 2022.

CIRCULAR ECONOMY IDEA COMPETITION. **Circular Economy in the Region of Lisbon and Tagus Valley**. 2017. Disponível em: <http://www.ccdr-lvt.pt/pt/concurso-de-ideias-para-economia-circular---circular-economy-idea-competition/9882.htm>. Acesso em 15 de mar de 2022.

CIRCULARITY CALCULATOR. **Circularity Calculator**. 2022. Disponível em: <http://www.circularitycalculator.com/>. Acesso em 14 de fev de 2022.

CLEANTECHBLOCK. **Uma nova geração de alvenaria**. 2018. Disponível em: <http://www.cleantechblock.dk/hvad-er-clean-tech-block>. Acesso em 14 de mar de 2022.

CORONA, Blanca et al. Towards sustainable development through the circular economy—A review and critical assessment on current circularity metrics. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 151, p. 104498, 2019.

CORTÉS, Antonio et al. Pursuing the route to eco-efficiency in dairy production: The case of Galician area. **Journal of Cleaner Production**, v. 285, p. 124861, 2021.

CZINKOTA, Michael et al. For-Benefit company (fBComp): An innovative social-business model. The Italian case. **Journal of Business Research**, v. 119, p. 377-387, 2020.

DE JESUS, Rômulo Henrique Gomes et al. Forming clusters based on strategic partnerships and circular economy for biogas production: A GIS analysis for optimal location. **Biomass and Bioenergy**, v. 150, p. 106097, 2021.

DE OLIVEIRA, Carla Tognato; DANTAS, Thales Eduardo Tavares; SOARES, Sebastião Roberto. Nano and micro level circular economy indicators: Assisting decision-makers in circularity assessments. **Sustainable Production and Consumption**, v. 26, p. 455-468, 2021.

DE PASCALE, Angelina et al. A systematic review for measuring circular economy: The 61 indicators. **Journal of Cleaner Production**, v. 281, p. 124942, 2021.

DEN HOLLANDER, Marcel et al. Product design in a circular economy: Development of a typology of key concepts and terms. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 517-525, 2017.

DI MAIO, Francesco; REM, Peter Carlo. A robust indicator for promoting circular economy through recycling. **Journal of Environmental Protection**, v. 6, n. 10, p. 1095, 2015.

DONNER, Mechthild et al. A new circular business model typology for creating value from agro-waste. **Science of the Total Environment**, v. 716, p. 137065, 2020.

DONNER, Mechthild et al. Critical success and risk factors for circular business models valorising agricultural waste and by-products. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 165, p. 105236, 2021.

EIKELENBOOM, Manon; DE JONG, Gjalt. The impact of managers and network interactions on the integration of circularity in business strategy. **Organization & Environment**, p. 1086026621994635, 2021.

ELIA, Valerio et al. Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 2741-2751, 2017.

ELIA, Valerio; GNONI, Maria Grazia; TORNESE, Fabiana. Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 2741-2751, 2017.

ELLRAM, Lisa M; TATE Wendy L. Cost avoidance: Not everything that counts is counted. **Journal of Business Logistics**, v. 42, n. 4, p. 406-27, 2021.

EMF. Ellen MacArthur Foundation. **Circulytics**. Method introduction. 2020. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/circulytics-method-introduction.pdf>. Acesso em 15 de mar de 2022.

EMF. Ellen MacArthur Foundation. **Towards a Circular Economy-Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition**. Ellen MacArthur Foundation: Cowes, UK, 2013.

ESAIN, Ann Elizabeth., et al. Reverse exchange: classifications for public service SCM. **Supply Chain Management**, v. 21 n. 2, p. 216-227, 2016.

EVANS, Jamie, BOCKEN, Nancy. **Circular Economy Toolkit**. Cambridge Institute for Manufacturing. 2013. Disponível em: <http://circulareconomytoolkit.org/>. Acesso em 3 de mar de 2022.

EXAME. **SuperAgro**: jovem que se tornou rainha do frango conta sua trajetória. 2021. Disponível em: <https://exame.com/agro/superagro-jovem-que-se-tornou-rainha-do-frango-conta-sua-trajetoria/>. Acesso em 10 de mar de 2022.

FIGGE, Frank et al. Longevity and circularity as indicators of eco-efficient resource use in the circular economy. **Ecological Economics**, v. 150, p. 297-306, 2018.

FL2CI. From Linear to Circular Ideias. **Concurso de ideias de economia circular** 'from linear to circular ideias'. 2021. Disponível em: <https://gtecrs.wixsite.com/circularideias>. Acesso em 15 de mar de 2022.

FRANKLIN-JOHNSON, Elizabeth et al. Resource duration as a managerial indicator for Circular Economy performance. **Journal of Cleaner Production**, v. 133, p. 589-598, 2016.

GARCIA-BERNABEU, Ana et al. A process oriented MCDM approach to construct a circular economy composite index. **Sustainability**, v. 12, n. 2, p. 618, 2020.

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

GENG, Yong et al. Implementing China's circular economy concept at the regional level: A review of progress in Dalian, China. **Waste Management**, v. 29, n. 2, p. 996-1002, 2009.

GENG, Yong et al. Towards a national circular economy indicator system in China: an evaluation and critical analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 23, n. 1, p. 216-224, 2012.

GHISELLINI, Patrizia et al. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 114, p. 11-32, 2016.

GHISELLINI, Patrizia; ULGIATI, Sergio. Circular economy transition in Italy. Achievements, perspectives and constraints. **Journal of Cleaner Production**, v. 243, p. 118360, 2020.

GLOBAL CHANGE AWARD. **This is the global change award**. 2021. Disponível em: <https://globalchangeaward.com/>. Acesso em 15 de mar de 2022.

GLOBO RURAL. **Produtoras rurais mostram persistência e autoestima para liderar a gestão no campo**. 2021. Disponível em: <https://revistagloborural.globo.com/Premio-Mulheres-do-Agro/noticia/2021/03/produtoras-rurais-mostram-persistencia-e-autoestima-para-liderar-gestao-no-campo.html>. Acesso em 10 de mar de 2022.

GLOBO. **Belezas da terra**: Luciana Dalmargo. 2021. Disponível em: <https://gshow.globo.com/programas/e-de-casa/episodio/2021/06/05/videos-do-episodio-de-e-de-casa-de-sabado-05-de-junho-de-2021.ghtml#video-9577075-id>. Acesso em 10 de mar de 2022.

GÖSWEIN, Verena et al. Using anticipatory life cycle assessment to enable future sustainable construction. **Journal of Industrial Ecology**, v. 24, n. 1, p. 178-192, 2020.

GRAEDEL, Thomas. Industrial ecology: definition and implementation. **Industrial Ecology and Global Change**, p. 23-41, 1994.

GREEN ALLEY AWARD. **Circular economy all the way**. 2021. Disponível em: <https://green-alley-award.com/>. Acesso em 15 de mar de 2022.

GU, Zuguang et al. circlize implements and enhances circular visualization in R. **Bioinformatics**, v. 30, n. 19, p. 2811-2812, 2014.

HAAS, Willi et al. How circular is the global economy?: An assessment of material flows, waste production, and recycling in the European Union and the world in 2005. **Journal of Industrial Ecology**, v. 19, n. 5, p. 765-777, 2015.

HARRIS, Steve et al. Circularity for circularity's sake? Scoping review of assessment methods for environmental performance in the circular economy. **Sustainable Production and Consumption**, v. 26, p. 172-186, 2020.

HARRISON-WALKER, L. Jean. The measurement of a market orientation and its impact on business performance. **Journal of Quality Management**, v. 6, n. 2, p. 139-172, 2001.

HAUPT, Melanie; HELLWEG, Stefanie. Measuring the environmental sustainability of a circular economy. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 1, p. 100005, 2019.

HEYES, Graeme et al. Developing and implementing circular economy business models in service-oriented technology companies. **Journal of Cleaner Production**, v. 177, p. 621-632, 2018.

HUYSMAN, Sofie et al. Performance indicators for a circular economy: A case study on post-industrial plastic waste. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 120, p. 46-54, 2017.

JABBOUR, Charbel Jose Chiappetta, et al. Who is in charge? A review and a research agenda on the 'human side' of the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 222, p. 793-801, 2019.

JAIN, Archana et al. Bioenergy and bio-products from bio-waste and its associated modern circular economy: Current research trends, challenges, and future outlooks. **Fuel**, v. 307, p. 121859, 2022.

KEIJER, Tom et al. Circular chemistry to enable a circular economy. **Nature Chemistry**, v. 11, n. 3, p. 190-195, 2019.

KING, Andrew M., et al. Reducing waste: repair, recondition, remanufacture or recycle?. **Sustainable Development**, v 14, p 257-267, 2006.

KIRCHHERR, Julian et al. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 127, p. 221-232, 2017.

KOKKINOS, Konstantinos et al. Circular bio-economy via energy transition supported by Fuzzy Cognitive Map modeling towards sustainable low-carbon environment. **Science of the Total Environment**, v. 721, p. 137754, 2020.

KORHONEN, Jouni et al. Circular economy: the concept and its limitations. **Ecological Economics**, v. 143, p. 37-46, 2018.

KRISTENSEN, Heidi Simone; MOSGAARD, Mette Alberg. A review of micro level indicators for a circular economy—moving away from the three dimensions of sustainability?. **Journal of Cleaner Production**, v. 243, p. 118531, 2020.

KUMAR, Bikash; VERMA, Pradeep. Biomass-based biorefineries: an important archetype towards a circular economy. **Fuel**, v. 288, p. 119622, 2021.

KWARTENG, Amoako et al. The effects of circular economy initiative implementation on business performance: the moderating role of organizational culture. **Social Responsibility Journal**, 2021.

LEE, Michael et al. Signaling green! firm ESG signals in an interconnected environment that promote brand valuation. **Journal of Business Research**, v. 138, p. 1-11, 2022.

LIEDER, Michael et al. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 115, p. 36-51, 2016.

LIFSET, Reid et al. Industrial ecology: goals and definitions. **A Handbook of Industrial Ecology**, p. 3-15, 2002.

LINDER, Marcus et al. A metric for quantifying product level circularity. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 545-558, 2017.

LÓPEZ, Torres et al. Integrated environmental permit through Best Available Techniques: Evaluation of the dairy industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 162, p. 512-528, 2017.

LOVINS, Amory et al. A road map for natural capitalism. **Understanding Business Environments**, 1999.

LÜDEKE-FREUND, et al. A review and typology of circular economy business model patterns. **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 1, p. 36-61, 2019.

LYLE, John Tillman. **Regenerative design for sustainable development**. John Wiley & Sons, 1996.

MAPA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. **Informe de coyuntura del sector vacuno de leche**. 2021. Disponível em: https://www.mapa.gob.es/ca/agricultura/estadisticas/informedecoyuntura-junio2021_tcm34-441631.pdf. Acesso em 04 de mai de 2022.

MATHEWS, John A.; TAN, Hao. Circular economy: lessons from China. **Nature**, v. 531, n. 7595, p. 440-442, 2016.

MAYER, Andreas et al. Measuring progress towards a circular economy: a monitoring framework for economy- wide material loop closing in the EU28. **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 1, p. 62-76, 2019.

MCDONOUGH, William et al. **Remaking the way we make things**: Cradle to cradle. New York: North Point Press, v. 1224942886, p. 104, 2002.

MOLINA-MORENO, Valentín et al. Design of indicators of circular economy as instruments for the evaluation of sustainability and efficiency in wastewater from pig farming industry. **Water**, v. 9, n. 9, p. 653, 2017.

MOLLISON, Bill et al. **Permaculture**. Lesmurdie Progress Association, 1978.

MORAGA, Gustavo et al. Circular economy indicators: What do they measure?. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 146, p. 452-461, 2019.

MORAGA, Gustavo et al. Development of circularity indicators based on the in-use occupation of materials. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, p. 123889, 2021.

MOROZ, Peter et al. Imprinting with purpose: Prosocial opportunities and B Corp certification. **Journal of Business Venturing**, v. 33, n. 2, p. 117-129, 2018.

MORSELETTO, Piero. Targets for a circular economy. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 153, p. 104553, 2020.

MURRAY, Alan et al. The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. **Journal of Business Ethics**, v. 140, n. 3, p. 369-380, 2017.

NAÇÃO AGRO. **Profissionalização e gestão ajudam granja a superar falta de mão de obra**. 2020. Disponível em: <https://www.nacaoagro.com.br/noticias/profissionalizacao-granja-falta-mao-de-obra/>. Acesso em 10 de mar de 2022.

NIERO, Monia; KALBAR, Pradip P. Coupling material circularity indicators and life cycle based indicators: A proposal to advance the assessment of circular economy strategies at the product level. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 140, p. 305-312, 2019.

NIKA, C. E. et al. Water cycle and circular economy: developing a circularity assessment framework for complex water systems. **Water Research**, v. 187, p. 116423, 2020.

NOYA, Isabel et al. Environmental assessment of the entire pork value chain in Catalonia—A strategy to work towards Circular Economy. **Science of the Total Environment**, v. 589, p. 122-129, 2017.

ONU. **17 Metas para transformar o mundo**. 2015. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>. Acesso em 25 mar. 2022.

PAES, Luis Alberto Bertolucci et al. Organic solid waste management in a circular economy perspective—A systematic review and SWOT analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 239, p. 118086, 2019.

PARCHOMENKO, Alexej et al. Measuring the circular economy-A Multiple Correspondence Analysis of 63 metrics. **Journal of Cleaner Production**, v. 210, p. 200-216, 2019.

PARK, Joo Young; CHERTOW, Marian R. Establishing and testing the “reuse potential” indicator for managing wastes as resources. **Journal of Environmental Management**, v. 137, p. 45-53, 2014.

PAULI, Gunter. The blue economy: 10 years, 100 innovations, 100 million jobs. **Paradigm Publications**, 2010.

PAULIUK, Stefan et al. Regional distribution and losses of end-of-life steel throughout multiple product life cycles—Insights from the global multiregional MaTrace model. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 116, p. 84-93, 2017.

PINTÉR, László. International experience in establishing indicators for the circular economy and considerations for China. **Report for the World Bank**, 2006.

PINTO, Luiz Fernando Rodrigues et al. Sustainability assessment in manufacturing under a strong sustainability perspective—An ecological neutrality initiative. **Sustainability**, v. 12, n. 21, p. 9232, 2020.

PIRES, Ana; MARTINHO, Graça. Waste hierarchy index for circular economy in waste management. **Waste Management**, v. 95, p. 298-305, 2019.

POPONI, Stefano et al. Evaluating the transition to the circular economy in the agri-food sector: Selection of indicators. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 176, p. 105916, 2022.

RAJPUT, Shubhangini; SINGH, Surya Prakash. Connecting circular economy and industry 4.0. **International Journal of Information Management**, v. 49, p. 98-113, 2019.

REBOLLEDO-LEIVA, Ricardo et al. Coupling Material Flow Analysis and Network DEA for the evaluation of eco-efficiency and circularity on dairy farms. **Sustainable Production and Consumption**, v. 31, p. 805-817, 2022.

ROSSI, Efigenia et al. Circular economy indicators for organizations considering sustainability and business models: Plastic, textile and electro-electronic cases. **Journal of Cleaner Production**, v. 247, p. 119137, 2020.

RUFÍ-SALÍS, Martí et al. Combining LCA and circularity assessments in complex production systems: the case of urban agriculture. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 166, p. 105359, 2021.

SAIDANI, Michael et al. A taxonomy of circular economy indicators. **Journal of Cleaner Production**, v. 207, p. 542-559, 2019.

SAIDANI, Michael et al. How to assess product performance in the circular economy? Proposed requirements for the design of a circularity measurement framework. **Recycling**, v. 2, n. 1, p. 6, 2017.

SALVADOR, Rodrigo et al. Circular business models: Current aspects that influence implementation and unaddressed subjects. **Journal of Cleaner Production**, v. 250, p. 119555, 2020.

SALVADOR, Rodrigo et al. Circular economy strategies on business modelling: Identifying the greatest influences. **Journal of Cleaner Production**, v. 299, p. 126918, 2021.

SALVADOR, Rodrigo et al. Life cycle assessment of electricity from biogas: A systematic literature review. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 38, n. 4, p. 13133, 2019.

SASSANELLI, Claudio et al. Circular economy performance assessment methods: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 229, p. 440-453, 2019.

SCHEEPENS, Arno E. et al. Two life cycle assessment (LCA) based methods to analyse and design complex (regional) circular economy systems. Case: Making water tourism more sustainable. **Journal of Cleaner Production**, v. 114, p. 257-268, 2016.

SCHULTE, Uwe G. New business models for a radical change in resource efficiency. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 9, p. 43-47, 2013.

SILVESTRI, Francesco et al. Regional development of Circular Economy in the European Union: A multidimensional analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 255, p. 120218, 2020.

STAHEL, Walter. The circular economy. **Nature News**, v. 531, n. 7595, p. 435, 2016.

STAHEL, Walter. **The performance economy**. Springer, 2010.

STEINMANN, Zoran. J. N et al. How to define the quality of materials in a circular economy?. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 141, p. 362-363, 2019.

SU, Biwei et al. A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. **Journal of Cleaner Production**, v. 42, p. 215-227, 2013.

TANG, Jiahui et al. A spatio-temporal perspective of China's industrial circular economy development. **Science of the Total Environment**, v. 706, p. 135754, 2020.

TERRAVIVA. **Práticas sustentáveis dentro das propriedades rurais**. 2021. Disponível em: <https://tvterraviva.band.uol.com.br/noticia/1000001008596/praticas-sustentaveis-dentro-das-propriedades-rurais.html>. Acesso em 10 de mar de 2022.

THE CIRCULARS. **Ideia circular**. 2019. Disponível em: <https://www.ideiacircular.com/the-circulars-2019/>. Acesso em 15 de mar de 2022.

TSENG, Ming-Lang et al. Circular economy meets industry 4.0: Can big data drive industrial symbiosis?. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 131, p. 146-147, 2018.

UNGERMAN, Otakar et al. Model of the circular economy and its application in business practice. **Environment, Development and Sustainability**, v. 22, n. 4, p. 3407-3432, 2020.

VASKALIS, I. et al. Towards circular economy solutions for the management of rice processing residues to bioenergy via gasification. **Sustainability**, v. 11, n. 22, p. 6433, 2019.

VELASCO-MUÑOZ, Juan F. et al. Circular economy implementation in the agricultural sector: Definition, strategies and indicators. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 170, p. 105618, 2021.

VINANTE, Christian et al. Circular economy metrics: Literature review and company-level classification framework. **Journal of Cleaner Production**, p. 125090, 2020.

VÖLKER, Thomas et al. Indicator development as a site of collective imagination? The case of European Commission policies on the circular economy. **Culture and Organization**, v. 26, n. 2, p. 103-120, 2020.

WANG, Ning et al. Evaluation of Urban circular economy development: An empirical research of 40 cities in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 180, p. 876-887, 2018.

WEN, Zongguo; MENG, Xiaoyan. Quantitative assessment of industrial symbiosis for the promotion of circular economy: a case study of the printed circuit boards industry in China's Suzhou New District. **Journal of Cleaner Production**, v. 90, p. 211-219, 2015.

WOODS, James E. Cost avoidance and productivity in owning and operating buildings. **Occupational medicine (Philadelphia, Pa.)**, v. 1, n. 4, p. 753-70, 1989.

YUE, Yuanzheng, et al. 2016. **European Patent EP2966044A1**. Geneva, Switzerland: European Patent Office. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/EP2966044A1/es>. Acesso em 14 de mar de 2022.

ZAMAN, Atiq Uz; LEHMANN, Steffen. The zero waste index: a performance measurement tool for waste management systems in a 'zero waste city'. **Journal of Cleaner Production**, v. 50, p. 123-132, 2013.

ZHU, Qinghua et al. Circular economy practices among Chinese manufacturers varying in environmental-oriented supply chain cooperation and the performance implications. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 6, p. 1324-1331, 2010.

ZOTTI, Jacopo; BIGANO, Andrea. Write circular economy, read economy's circularity. How to avoid going in circles. **Economia Politica**, v. 36, n. 2, p. 629-652, 2019.

APÊNDICE A - Indicadores e ferramentas de circularidade identificada no corpo na literatura científica

Quadro 5 - Indicadores e ferramentas de circularidade identificada no corpo da literatura científica

ID	Referência	Indicador	Instituição / País	Dimensão do Impacto	Área de Aplicação	Nível de Aplicação	Periódico / Editora	FI	Citações
1	Di Maio e Rem (2015)	Circular Economy Index	Delft University of Technology / Holanda	Ambiental, Econômico, Social	Industrial	NM	Journal of Environmental Protection / Publons	1,350*	200
2	Park e Chertow (2014)	The Reuse Potential Indicator	Yale University / EUA	Ambiental	Carvão	NM	Journal of Environmental Management / Elsevier	6,789	218
3	Zaman e Lehmann (2013)	Zero Waste Index	University of South Australia / Austrália	Ambiental	Cidades	NM	Journal of Cleaner Production / Elsevier	9,297	368
4	Saidani <i>et al.</i> (2019)	C-Indicators	Université Paris-Saclay / França	Ambiental, Econômico, Social	NA	Micro, Meso, Macro	Journal of Cleaner Production / Elsevier	9,297	480
5	Pires e Martinho (2019)	Waste Hierarchy Index	Universidade Nova de Lisboa / Portugal	Ambiental	Gestão de resíduos	NM	Waste Management / Elsevier	5,448	130
6	Huysman <i>et al.</i> (2017)	Circular Economy Performance Indicator	Ghent University / Bélgica	Ambiental	Resíduos plásticos	NM	Resources, Conservation and Recycling / Elsevier	10,204	288
7	Azevedo <i>et al.</i> (2017)	Sustainable Circular Index	Universidade da Beira Interior / Portugal	Ambiental, Econômico, Social	NM	NM	Resources / MDPI	4,600**	74

ID	Referência	Indicador	Instituição / País	Dimensão do Impacto	Área de Aplicação	Nível de Aplicação	Periódico / Editora	FI	Citações
8	Franklin-Johnson <i>et al.</i> (2016)	Longevity Indicator	Kedge Business School / França	Ambiental, Econômico	Metais preciosos em aparelho celular	NM	Journal of Cleaner Production / Elsevier	9,297	257
9	Wang <i>et al.</i> (2018)	Urban Circular Development Index	Beijing Information Science And Technology University / China	Ambiental	Cidades	NM	Journal of Cleaner Production / Elsevier	9,297	98
10	Steinmann <i>et al.</i> (2019)	Material Quality Indicator	Radboud University / Holanda	Ambiental	Aço	NM	Resources, Conservation and Recycling / Elsevier	10,204	34
11	Figge <i>et al.</i> (2018)	Longevity and Circularity Indicators of Eco-Efficient	Kedge Business School / França	Ambiental	Aparelho celular	Macro	Ecological Economics / Elsevier	5,389	127
12	Haupt e Hellweg (2019)	Retained Environmental Value	Institute of Environmental Engineering / Suíça	Ambiental	Embalagem de vidro, papel de jornal, e motor de ferro fundido	NM	Environmental and Sustainability Indicators / Elsevier	0,400 **	85
13	Niero e Kalbar (2019)	The authors used Material Reutilization Score and Material Circularity Indicator	Aalborg University / Dinamarca	Ambiental	Embalagem de cerveja	Micro, Meso, Macro	Resources, Conservation and Recycling / Elsevier	10,204	124

ID	Referência	Indicador	Instituição / País	Dimensão do Impacto	Área de Aplicação	Nível de Aplicação	Periódico / Editora	FI	Citações
14	Garcia-Bernabeu <i>et al.</i> (2020)	Composite Circular Economy Index	Universitat Politècnica de València / Espanha	Ambiental, Econômico	Desempenho dos países da Europa	NM	Sustainability / MDPI	3,251	69
15	Silvestri <i>et al.</i> (2020)	Circular Economy Static Index and Circular Economy Dynamic Index	University of Modena and Reggio Emilia / Italia	Ambiental, Econômico, Social	Desempenho dos países da Europa	Meso	Journal of Cleaner Production / Elsevier	9,297	46
16	Tang <i>et al.</i> (2020)	The authors used Circular Economy Evaluation Index System	Dongbei University of Finance and Economics / China	Ambiental, Econômico	Indústria de transformação	Macro	Science of the Total Environment / Elsevier	7,963	21
17	Mesa <i>et al.</i> (2020)	Material Durability Indicator	Universidad Tecnológica de Bolívar / Colombia	Ambiental	Impressão 3D	NM	Resources, Conservation and Recycling / Elsevier	10,204	31
18	Rufi-Salís <i>et al.</i> (2021)	The authors used The Material Circular Indicator	Universitat Autònoma de Barcelona / Espanha	Ambiental	Agricultura urbana	Micro	Resources, Conservation and Recycling / Elsevier	10,204	19
19	Rincón-Moreno <i>et al.</i> (2021)	The authors used Circle Economy (2018)	Universidad de Navarra / Espanha	Ambiental	Grupo de Reciclagem	Micro	Journal of Cleaner Production / Elsevier	9,297	47

ID	Referência	Indicador	Instituição / País	Dimensão do Impacto	Área de Aplicação	Nível de Aplicação	Periódico / Editora	FI	Citações
20	Nika <i>et al.</i> (2020)	Multi-Sectoral Water Circularity Assessment Framework	Brunel University London / Inglaterra	Ambiental, Econômico	Cidades	NM	Water Research / Elsevier	11,236	30
21	Cayzer <i>et al.</i> (2017)	The authors used The Circular Economy Indicator Prototype And Circular Economy Toolkit	University of Bath / Inglaterra	Ambiental	Indústria de processamento químico	NM	International Journal of Sustainable Engineering / Taylor and Francis	3,400 **	132
22	Blomsma <i>et al.</i> (2019)	Circular Strategies Scanner	Technical University of Denmark / Dinamarca	Ambiental	Máquinas pesadas, eletrônicos, e móveis	Micro, Meso, Macro	Journal of Cleaner Production / Elsevier	9,297	119
23	Moraga <i>et al.</i> (2021)	In-Use Occupation Ratio and Final Retention in Society	Ghent University / Bélgica	Ambiental	Materiais para laptops, e produtos de madeira	NM	Journal of Cleaner Production / Elsevier	9,297	13
24	Garza-Reyes <i>et al.</i> (2019)	Circularity Measurement Toolkit	The University of Derby / Inglaterra	Ambiental, Econômico	Manufatura	Macro	International Journal of Production Research / Taylor and Francis	8,568	53

Fonte: Autoria própria (2022)

NA: Não aplicável. NM: Não menciona

* baseado no Google Acadêmico. ** baseado no CiteScore

APÊNDICE B - Modelo da ficha para coleta de dados - Informações gerais da organização/produto

Informações gerais da organização/produto

Nome da organização/produto	<i>Descrição</i>
Ramo de atuação	<i>Descrição</i>
Localização	<i>Descrição</i>
Responsável e contato da organização	<i>Descrição</i>
Responsável e contato do sujeito da pesquisa	<i>Descrição</i>
Número de processos existentes no sistema produtivo	<i>Descrição</i>
Cobertura temporal das informações coletadas	<i>Descrição</i>
Período da coleta de dados	<i>Descrição</i>

APÊNDICE C - Modelo da ficha para coleta de dados - Informações específicas da organização/produto

Informações específicas da organização/produto

Nome do processo	<i>Descrição</i>
Descrição do processo	<i>Descrição</i>

Fluxos de entrada							Fluxos de saída						
1. Fonte (R ou NR)	2. Fornec.	3. Material/ Energia	4. Quant./ Espec.	5. Monetário	6. Economia circular de alta perform.	7. Impacto positivo (S, E, ou A)	8. Fonte (R ou NR)	9. Cliente	10. Material/ Energia	11. Quant./ Espec.	8. Monetário	13. Economia circular de alta perform.	14. Impacto positivo (S, E, ou A)

1: Fonte de origem do material/energia: R: renovável; NR: não renovável (fluxo de entrada do processo)

2: Nome do processo considerado o fornecedor do material/energia (fluxo de entrada do processo)

3: Nome do material/energia (fluxo de entrada do processo)

4: Quantidade e especificação do material/energia (fluxo de entrada do processo)

5: Valor monetário do material/energia de acordo com a quantidade (fluxo de entrada do processo)

6: Existe possibilidade de internalizar esse fluxo e atuar com uma economia circular de alta performance? Se sim, inserir o símbolo (explosão) (fluxo de entrada do processo)

7: Se existir possibilidade de uma economia circular de alta performance, mencionar qual aspecto do impacto positivo será a atuação: S: social; E: econômico; A: ambiental (fluxo de entrada do processo)

8: Fonte de destino do material/energia: R: renovável; NR: não renovável (fluxo de saída do processo)

9: Nome do processo considerado o cliente do material/energia (fluxo de saída do processo)

10: Nome do fluxo de material/energia (fluxo de saída do processo)

11: Quantidade e especificação do material/energia (fluxo de saída do processo)

12: Valor monetário do material/energia de acordo com a quantidade (fluxo de saída do processo)

13: Se existir possibilidade de uma economia circular de alta performance, mencionar qual aspecto do impacto positivo será a atuação: S: social; E: econômico; A: ambiental (fluxo de saída do processo)

14: Se existir possibilidade de internalizar o fluxo, mencionar qual aspecto da sustentabilidade será a atuação: S: social; E: econômico; A: ambiental (fluxo de saída do processo)


APÊNDICE D - Informações gerais da organização - Estudo de caso 1

Informações gerais da organização - Estudo de caso 1


Nome da organização	<i>Confidencial</i>
Ramo de atuação	Avicultura, lavoura e bovinocultura
Localização	Município de Sales Oliveira, São Paulo, Brasil
Responsável e contato da organização	<i>Confidencial</i>
Responsável e contato do sujeito da pesquisa	<i>Confidencial</i>
Número de processos existentes no sistema produtivo	12
Cobertura temporal das informações coletadas	2021
Período da coleta de dados	Janeiro de 2022

APÊNDICE E - Informações específicas da organização - Estudo de caso 1

Nome do processo	Aviário
Descrição do processo	<p>A produção de aves ocorre seguindo as características de uma granja terminadora de frango de corte. O ciclo possui uma média de 42 dias alojados e 14 dias de intervalo sanitário, totalizando 6 ciclos por ano. A propriedade contém 14 aviários "dark house" com iluminação dimerizável e lâmpadas 9w sendo:</p> <p>3 aviários com 2100m² cada de bloco cerâmico e lã de vidro sobre o forro, com 11 exaustores, 4 linhas de comedouros, 6 linhas de bebedouros e aquecimento à gás com 10 campânulas;</p> <p>1 aviário com 2100m² de bloco de concreto, com 8 exaustores, 4 linhas de comedouro, 5 linhas de bebedouro e aquecimento à lenha;</p> <p>1 aviário com 2970m² de isopainel com lã de vidro sobre o forro, com 15 exaustores, 5 linhas de comedouros, 6 linhas de bebedouro e aquecimento à gás com 16 campânulas;</p> <p>6 aviários com 2400m² cada de bloco de concreto, com 10 exaustores, 4 linhas de comedouros, 6 linhas de bebedouros e aquecimento à lenha;</p> <p>3 aviários de 2970m² cada de bloco cerâmico, com 13 exaustores, 4 linhas de comedouros, 5 linhas de bebedouros e aquecimento à gás com 12 campânulas.</p>

Fluxos de entrada							Fluxos de saída						
Fonte (R ou NR)	Fornec.	Material/Energia	Quant./Espec.	Monetário	Economia circular de alta perform.	Impacto positivo (S, E, ou A)	Fonte (R ou NR)	Cliente	Material/Energia	Quant./Espec.	Monetário	Economia circular de alta perform.	Impacto positivo (S, E, ou A)
R	Integradora	Ração	13.300 ton/ano	-			R	Integradora	Aves vivas	8.265 ton/ano	R\$ 2.666.000,00/ano		
R	Externo	Palha de amendoim	231 ton/ano	R\$ 140.000,00/ano			R	Biocompostador	Aves mortas	225 ton/ano	R\$ 67.500,00/ano		
NR	Externo	Água	23.000.000 ton/ano	-		A	R	Lavoura	Resíduos orgânicos	1.500 ton/ano	R\$ 450.000,00/ano		
R	Cisterna	Água	10.000.000 ton/ano	-			R	Depósito de reciclagem	Embalagem	0,1 ton/ano	R\$ 100,00/ano		

Nome do processo	Lavoura
Descrição do processo	A lavoura da propriedade conta com 2 safrinhas para milho por ano, sendo toda a produção destinada para a silagem. O sistema de plantio é direto, com uso de maquinários como tratores, plantadeiras e colheitadeiras. No total de lavoura, a fazenda possui 50 hectares de terra.

Fluxos de entrada							Fluxos de saída						
Fonte (R ou NR)	Fornec.	Material/Energia	Quant./Espec.	Monetário	Economia circular de alta perform.	Impacto positivo (S, E, ou A)	Fonte (R ou NR)	Cliente	Material/Energia	Quant./Espec.	Monetário	Economia circular de alta perform.	Impacto positivo (S, E, ou A)
R	Externo	Sementes	1,5 ton/ano	R\$ 75.000,00/ano			R	Silo	Milho	720 ton/ano	R\$ 1.000.000,00/ano		
NR	Externo	Fertilizante e defensivos agrícolas	60 ton/ano	R\$ 600.000,00/ano			R	Depósito de reciclagem	Embalagem	0,1 ton/ano	R\$ 100,00/ano		
R	Biocompostador	Composto orgânico	321 ton/ano	R\$ 96.300,00/ano									
R	Aviário	Resíduos orgânicos	1.500 ton/ano	-									
RN	Externo	Diesel	5 ton/ano	R\$ 31.300,00/ano		S, E, A							

Nome do processo	Silo
Descrição do processo	O milho colhido é destinado a silagem (processo nomeado de silo), que são enleirados em 6 leiras cobertos por lona. O material é utilizado como alimentação dos bovinos, pois possuem componentes importantes com alta digestibilidade e rico em energia, resultando em um excelente potencial para produzir carne. A alimentação dos animais é suplementada nutricionalmente com ração conforme necessidade.

Fluxos de entrada							Fluxos de saída						
Fonte (R ou NR)	Fornec.	Material/Energia	Quant./Espec.	Monetário	Economia circular de alta perform.	Impacto positivo (S, E, ou A)	Fonte (R ou NR)	Cliente	Material/Energia	Quant./Espec.	Monetário	Economia circular de alta perform.	Impacto positivo (S, E, ou A)
R	Lavoura	Milho	720 ton/ano	R\$ 1.000.000,00/ ano			R	Bovino cultura	Silagem	720 ton/ano	R\$ 1.000.000,00/ ano		


APÊNDICE F - Informações gerais do produto - Estudo de caso 2

Informações gerais do produto - Estudo de caso 2



Nome do produto	<i>CleanTechBlock</i>
Ramo de atuação	Construção civil
Localização (coleta de dados)	Centro para Ecologia Industrial, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal
Responsável e contato da organização	<i>Confidencial</i>
Responsável e contato do sujeito da pesquisa	<i>Confidencial</i>
Número de processos existentes no sistema produtivo	5
Cobertura temporal das informações coletadas	2021
Período da coleta de dados	Abril de 2022

APÊNDICE G - Informações específicas do produto - Estudo de caso 2

Nome do processo	Fabricação da espuma de vidro
Descrição do processo	<p>A fabricação da espuma de vidro compreende as etapas de moagem, espumação e recozimento e corte. As matérias primas utilizadas nesse processo são: vidros reciclados (92% da espuma de vidro é composta por vidro reciclado) e aditivos como carbono negro, óxido de manganês, e nitrato de potássio. Essas matérias primas são obtidas por fornecedores externos. O vidro reciclado é proveniente da Alemanha e percorre uma distância de 210 km, o carbono negro é transportado via terrestre e marítima, cujas distâncias são 550 km e 1150 km respectivamente, o óxido de manganês, e nitrato de potássio percorrem uma distância de 880 km cada. Na produção a moagem e o corte usam eletricidade da rede enquanto o processo de espumação e recozimento utilizam gás natural. A produção do CTB ocorre na Dinamarca.</p> <p>As informações representam a fabricação de 1 unidade do bloco CTB.</p>

Fluxos de entrada							Fluxos de saída						
Fonte (R ou NR)	Fornec.	Material/Energia	Quant./Espec.	Monetário	Economia circular de alta perform.	Impacto positivo (S, E, ou A)	Fonte (R ou NR)	Cliente	Material/Energia	Quant./Espec.	Monetário	Economia circular de alta perform.	Impacto positivo (S, E, ou A)
R	Externo	Vidro reciclado	1,702 kg	-			NR	Montagem do CTB	Espuma de vidro	1,850 kg	-		
NR	Externo	Carbono negro	0,008 kg	-									
NR	Externo	Óxido de manganês	0,105 kg	-									
NR	Externo	Nitrato de potássio	0,033 kg	-									
NR	Externo	Gás natural	1,350 kg	-									
NR	Externo	Eletricidade	1,000 kWh	-		A							

Nome do processo	Montagem do CTB
Descrição do processo	Nesta etapa ocorre a junção da espuma de vidro e dos tijolos. Nesse processo utiliza-se adesivo (cola de cimento) para a junção dos materiais. As informações representam a fabricação de 1 unidade do bloco CTB.

Fluxos de entrada							Fluxos de saída						
Fonte (R ou NR)	Fornec.	Material/Energia	Quant./Espec.	Monetário	Economia circular de alta perform.	Impacto positivo (S, E, ou A)	Fonte (R ou NR)	Cliente	Material/Energia	Quant./Espec.	Monetário	Economia circular de alta perform.	Impacto positivo (S, E, ou A)
NR	Externo	Fabricação da espuma de vidro	1,850 kg	-			NR	Construção	CTB	10,080 kg	-		
NR	Externo	Tijolo de argila	8,000 kg	-									
NR	Externo	Adesivo	0,230 kg	-									
NR	Externo	Água	0,071 kg	-		E, A							
NR	Externo	Eletricidade	1,000 kWh	-		A							

Nome do processo	Construção
Descrição do processo	O processo de construção representa que o bloco de CTB é utilizado em uma determinada construção. No entanto, no final de vida, o CTB demolido é recolhido no local de construção. Uma parte é encaminhada ao aterro sanitário Classe I, onde será depositada como resíduos inertes. Dos resíduos coletados para reciclagem uma parte corresponde à reciclagem da espuma de vidro e outra os tijolos. As informações representam a fabricação de 1 unidade do bloco CTB.

Fluxos de entrada							Fluxos de saída						
Fonte (R ou NR)	Fornec.	Material/Energia	Quant./Espec.	Monetário	Economia circular de alta perform.	Impacto positivo (S, E, ou A)	Fonte (R ou NR)	Cliente	Material/Energia	Quant./Espec.	Monetário	Economia circular de alta perform.	Impacto positivo (S, E, ou A)
NR	Montagem do CTB	CTB	10,080 kg	-			NR	Aterro Sanitário (cenário 1)	Resíduo	10,080 kg	-		
							R	Reciclagem (cenários 2)	Reciclagem em espuma de vidro	8,415 kg (aterro sanitário), 1,665 kg (reciclagem)	-		
							R	Reciclagem (cenários 3)	Reciclagem da espuma de vidro e do tijolo de argila	2,815 kg (aterro sanitário), 1,665 kg (reciclagem), 5,600 kg (reciclagem)	-		



APÊNDICE H - Informações gerais da organização - Estudo de caso 3

Informações gerais da organização – Estudo de caso 3

Nome da organização	Associação Galega de Cooperativas Agrícolas
Ramo de atuação	Produção de leite
Localização	Centro de Investigação Transdisciplinar em Tecnologias Ambientais (CRETUS), Escola de Engenharia, Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, Espanha
Responsável e contato da organização	<i>Confidencial</i>
Responsável e contato do sujeito da pesquisa	<i>Confidencial</i>
Número de processos existentes no sistema produtivo	7
Cobertura temporal das informações coletadas	2021
Período da coleta de dados	Abril de 2022

APÊNDICE I - Informações específicas da organização - Estudo de caso 3

Nome do processo	Ordenha
Descrição do processo	O tamanho das diferentes fazendas é variável tanto no número de animais, volume produção, e hectares de terra. Embora o leite seja o principal objetivo das propriedades, a produção de carne não é negligenciada, e é vendida para frigoríficos da região. Em relação ao manejo do esterco, devido à sua alta quantidade de nutrientes, o material é utilizado como fertilizante orgânico nas terras agrícolas. Em termos de produção de leite, grande parte das fazendas conta com um sistema de ordenha automática, e sistema de produção do tipo confinado.

Fluxos de entrada							Fluxos de saída						
Fonte (R ou NR)	Fornec.	Material/Energia	Quant./Espec.	Monetário	Economia circular de alta perform.	Impacto positivo (S, E, ou A)	Fonte (R ou NR)	Cliente	Material/Energia	Quant./Espec.	Monetário	Economia circular de alta perform.	Impacto positivo (S, E, ou A)
NR	Cooperativa agroindustrial	Materiais de limpeza	56,45 ton/ano	-			R	Cooperativa agroindustrial	Leite	52.938 ton/ano	-		
NR	Cooperativa agroindustrial	Forro de silicone	0,3 ton/ano	-			R	Externo	Carne	434 ton/ano	-		
R	Própria fazenda	Animais	257,36 ton/ano	-			R	Lavoura	Esterco	220 ton/ano	-		
NR	Cooperativa agroindustrial	Suplemento alimentar	26.988 ton/ano	-									
NR	Rede de água	Água	83.556 ton/ano	-		S, E, A							
R	Lavoura	Alimentação	84.755 ton/ano	-									
NR	Rede de eletricidade	Energia elétrica	2.002 MWh/ano	-		E, A							