

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

MURILLO VETRONI BARROS

FERRAMENTA PARA PROMOVER A ECONOMIA CIRCULAR EM
PROPRIEDADES RURAIS

DISSERTAÇÃO

PONTA GROSSA

2019

MURILLO VETRONI BARROS

**FERRAMENTA PARA PROMOVER A ECONOMIA CIRCULAR EM
PROPRIEDADES RURAIS**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Cassiano Moro Piekarski

PONTA GROSSA

2019

Ficha catalográfica elaborada pelo Departamento de Biblioteca
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa
n.54/19

B277 Barros, Murillo Vetroni

Ferramenta para promover a economia circular em propriedades rurais. / Murillo Vetroni
Barros, 2019.

105 f.; il. 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Cassiano Moro Piekarski

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta
Grossa, 2019.

1. Sustentabilidade. 2. Propriedade rural. 3. Cooperativas agrícolas. 4. Agroindústria.
5. Valor (Economia). I. Piekarski, Cassiano Moro. II. Universidade Tecnológica Federal
do Paraná. III. Título.

CDD 670.42

Elson Heraldo Ribeiro Junior. CRB-9/1413. 15/07/2019.



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**



FOLHA DE APROVAÇÃO

Título da Tese Nº 343/2019

**FERRAMENTA PARA PROMOVER A ECONOMIA CIRCULAR EM PROPRIEDADES
RURAIS**

por

Murillo Vetroni Barros

Esta tese foi apresentada às 13 horas do dia 17 de junho de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, com área de concentração em Gestão Industrial, linha de pesquisa em Gestão do Conhecimento e Inovação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. O(a) candidato(a) foi arguido(a) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo citados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Prof. Dr. Fausto Miguel Cereja Seixas
Freire (UC)**

**Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco
(UTFPR)**

Prof^a. Dr^a. Joseane Pontes (UTFPR)

**Prof. Dr. Cassiano Moro Piekarski
(UTFPR) - *Orientador***

Prof. Dr. Daniel Poletto Tesser (UTFPR)

**Prof. Dr. Cassiano Moro Piekarski
(UTFPR)
Coordenador do PPGEP**

**A FOLHA DE APROVAÇÃO ASSINADA ENCONTRA-SE NO DEPARTAMENTO DE
REGISTROS ACADÊMICOS DA UTFPR – CÂMPUS PONTA GROSSA**

Dedico este trabalho às pessoas que auxiliaram e torceram por mim nesta trajetória.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por ter me iluminado e me dado forças em concluir mais esse objetivo em minha vida. Só ele sabe dos momentos difíceis que passei e, hoje, posso comemorar com prazer e agradecer por essa conquista.

À esta universidade, a todo corpo docente e funcionários que contribuíram de forma direta ou indireta para a conclusão deste trabalho. Adjunto, ao Laboratório de Estudos em Sistemas Produtivos Sustentáveis (LESP) onde permaneci esse período.

Um agradecimento especial ao meu orientador, Prof. Dr. Cassiano Moro Piekarski, que me guiou nesta trajetória disponibilizando seu tempo, paciência, atenção e confiança. Seus conselhos foram substancialmente aproveitados para a condução deste trabalho.

Aos meus queridos pais, sou eternamente grato pelo amor e cooperação. Mesmo na distância, me influenciaram a permanecer nessa trajetória e jamais desistir dos meus objetivos, fornecendo capacidade suficiente de me tornar responsável e competente naquilo que faço. Agradeço imensamente pelo esforço que fizeram para a minha conclusão desse processo de formação.

À minha querida e amada noiva, que me apoiou, compreendeu e me deu todas as forças para chegar até aqui. Sou muitíssimo grato pelos conselhos 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 me deram apoio, forças e torciam por mim nesse processo de formação. A todos meus familiares, que sem dúvida, acreditaram em mim.

A todos meus amigos e colegas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e principalmente ao pessoal do LESP que convivi diariamente nesse período. Agradeço todos os momentos juntos, pelo apoio e convívio.

À propriedade rural que abriu as portas e forneceu todos os dados e informações necessárias para a conclusão desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro na realização do mestrado e desta dissertação.

“O que prevemos raramente ocorre, o que menos esperamos geralmente acontece.” **(Benjamin Disraeli)**

RESUMO

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.

Diferentemente do modelo linear “*take-make-use-dispose*”, o modelo circular “*grow-make-use-restore*” pretende potencializar os fluxos de material e energia dentro do sistema tendo como premissa aumentar os ganhos ambientais. As práticas de economia circular podem ser alternativas quando utilizadas no setor agrícola, possuindo iniciativas de ciclo fechado de material e energia, promovendo maior agregação de valor internamente. A atuação de circularidade no setor agro pode ser considerada um problema diante da carência de ferramentas e metodologias consistentes para a mensuração. A fim de gerar mais valor interno e vantagem competitiva no agronegócio, esta pesquisa apresenta como objetivo geral identificar potenciais oportunidades para agregação de valor a partir de fluxos externos para apoiar a economia circular em propriedades rurais. A ferramenta baseia-se em um conjunto de representação gráfica com indicadores quantitativos. Para a visualização gráfica utilizou-se o pacote *Circlize* do *software* R. Os indicadores quantitativos foram construídos resultando em um índice de circularidade variando entre 0% a 100%, que pode ser avaliado em diferentes níveis. Para a composição dos resultados, a aplicação da ferramenta foi realizada em uma propriedade rural, contudo a ferramenta pode ser utilizada em distintas organizações e processos. As informações necessárias em termos de fluxos de material e energia foram obtidas mediante a aplicação de um questionário estruturado ao proprietário da unidade rural. No estudo realizado, foram utilizados 11 processos existentes na propriedade e acrescentaram-se mais quatro processos genéricos que possuem trocas de materiais com a unidade rural. A propriedade apresenta mais de 40 fluxos de material e energia entre trocas internas, com os vizinhos, com a cooperativa agroindustrial e com o meio externo. A visualização gráfica circular foi apresentada contendo 15 processos (para material) e nove processos (para energia) com fluxos de entradas, saídas e suas quantidades. Os indicadores de circularidade mostraram que a propriedade possui 65% de seus fluxos de materiais sendo circular e, 25% de seus fluxos de energia sendo circular. Agregando as propriedades vizinhas na análise de circularidade da ferramenta, em termos de material o indicador sobe para 73% de circularidade para os processos da propriedade em estudo. Aplicando o indicador em nível de cooperativa, a circularidade da propriedade atinge 75% em termos de material. Neste sentido, cerca de $\frac{3}{4}$ dos fluxos de materiais da propriedade circulam dentro das atividades da cooperativa, o que demonstra um alto envolvimento do cooperado com a cooperativa e geração de mais valor internamente, autonomia, independência e vantagem competitiva. Portanto, a ferramenta auxilia na identificação de oportunidades para agregação de valor a partir de fluxos externos para apoiar a economia circular em propriedades rurais.

Palavras-chave: Economia circular. Circularidade. Propriedades rurais. Cooperativa. Agronegócio. Setor agrícola. Geração de valor. Produção e consumo sustentável. Cooperativismo.

ABSTRACT

BARROS, Murillo Vetroni. **Tool to promote the circular economy in rural properties**. 2019. 105 p. Thesis (Masters in Production Engineering) - Postgraduate Program in Production Engineering - Federal University of Technology - Paraná. Ponta Grossa, 2019.

Unlike the linear model "take-make-use-dispose", the circular model "grow-make-use-restore" intends to potentiate material and energy flows within the system with the premise of increasing environmental gains. Circular economy practices can be alternatives when used in the agricultural sector, with closed-loop material and energy initiatives and promoting greater internal value adding. The circular performance in the agro sector can be considered a problem in face of the lack of consistent tools and methods for its measurement. In order to generate more internal value and competitive advantage in agribusiness, this research presents as general objective to identify potential opportunities for value adding from external flows to support the circular economy in rural properties. It was observed through a systematic literature review that there are no similar tools in the literature to measure the circularity of organizations in terms of material and energy flows, to promote circular economy and to allow greater internal value adding in rural properties. The tool is based on a set of graphical representations and quantitative indicators. For the graphical visualization, the software R (and the Circlize package) was used. The quantitative indicators show a circularity index ranging from 0% to 100%, which can be assessed on different levels. For the results, the tool was applied in a rural property, however the tool can be used in different organizations and processes. The necessary information in terms of material and energy flows was obtained by applying a questionnaire to the rural property's owner. In the study carried out, 11 processes in the rural property, and 4 generic processes, were added, which have material exchanges with the rural property. The rural property presents more than 40 material and energy flows showing internal exchanges, with neighbors and with the cooperative. The circular graph was presented containing 15 processes (for material) and nine processes (for energy) with flows of inputs, outputs and their quantities. Circularity indicators showed that the rural property has 65% of circularity (for material) and 25% of circularity (for energy). Adding the neighboring properties in the circular analysis, the indicator rises to 73% in terms of material. Applying the indicator at the cooperative level, the circularity rises to 75% in terms of material. In this sense, approximately $\frac{3}{4}$ of the material flows of the rural property circulate within the cooperative activities. This shows a high involvement of the rural property with the cooperative, which generates greater internal value, autonomy, independence and competitive advantage. Therefore, the tool helps identify opportunities for value added from external flows to support the circular economy in rural properties.

Keywords: Circular economy. Circularity. Rural properties. Cooperative. Agribusiness. Agricultural sector. Value generation. Production and sustainable consumption. Cooperativism.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura da dissertação	22
Figura 2 - Estruturação da ferramenta	25
Figura 3 - Ferramenta para promover a economia circular	33
Figura 4 - Gráfico circular aplicado em 15 processos na propriedade rural em termos de massa (Ton/ano) para o nível 3.....	56
Figura 5 - Gráfico circular aplicado em nove processos na propriedade rural em termos de energia elétrica (kWh/ano) para o nível 1	59
Figura 6 - Integração da ferramenta para promover a economia circular.....	61
Quadro 1 - Exemplificação do indicador circular para uma organização.....	31
Quadro 2 - Valores de densidade.....	35
Quadro 3 - Características dos documentos encontrados na literatura.....	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Filtros aplicados e portfólio final resultante	24
Tabela 2 - Cálculos de circularidade para processos e organização em termos de material para os três níveis	52
Tabela 3 - Cálculos de circularidade para processos e organização em termos de energia elétrica para o nível 1	53

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

LISTA DE ABREVIATURAS

CH ₄	Gás metano
CO ₂	Gás dióxido de carbono
J	Joule
K	Potássio
Kg	Quilograma
Km	Quilômetros
kWh	Quilowatt-hora
m ³	Metros cúbicos
N	Nitrogênio
P	Fósforo
SD	<i>Science Direct</i>
Ton	Tonelada
WoS	<i>Web of Science</i>

LISTA DE SIGLAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
BSI	<i>British Standards Institution</i>
CNI	Confederação Nacional da Indústria
FI	Fator de Impacto
JCR	<i>Journal Citation Report</i>
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
PSA	<i>Pressure Swing Adsorption</i>
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE ACRÔNIMOS

CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEIP	<i>Circular Economy Indicator Prototype</i>
EMBRACO	Empresa Brasileira de Compressores
LESP	Laboratório de Estudos em Sistemas Produtivos Sustentáveis
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
PPGEP	Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS.....	17
1.1.1 Objetivo Geral.....	17
1.1.2 Objetivos Específicos.....	17
1.2 JUSTIFICATIVA.....	17
1.3 ÁREA DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO, LINHA DE PESQUISA E GRUPO DE PESQUISA	19
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	20
2 METODOLOGIA	23
2.1 FASE 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1.1 Levantamento de Práticas e Métricas Existentes de Economia Circular em Propriedades Rurais.....	23
2.1.2 Critérios e Parâmetros de Economia Circular Associada a Propriedades Rurais.....	24
2.2 FASE 2 - ESTRUTURAÇÃO DA FERRAMENTA	25
2.2.1 Ficha para coleta de dados.....	25
2.2.2 Indicadores Quantitativos de Circularidade	26
2.2.2.1 Exemplo do uso do indicador de circularidade.....	30
2.2.3 Visualização Gráfica Circular	32
2.3 FASE 3 - APLICAÇÃO DA FERRAMENTA	34
2.3.1 Definição do Escopo e da Propriedade Rural	34
2.3.2 Coleta de Dados na Propriedade Rural	34
2.3.3 Cálculos Para a Densidade.....	35
3 REFERENCIAL TEÓRICO	36
3.1 ENQUADRAMENTO TEÓRICO E SIMILARIDADES DO TERMO ECONOMIA CIRCULAR.....	36
3.2 CENÁRIO MUNDIAL E BRASILEIRO EM TERMOS DE ECONOMIA CIRCULAR.....	38
3.3 INDICADORES DE ECONOMIA CIRCULAR	40
3.4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DAS PRÁTICAS E MÉTRICAS EXISTENTES DE ECONOMIA CIRCULAR EM PROPRIEDADES RURAIS	43
3.5 DISCUSSÃO DE ECONOMIA CIRCULAR ASSOCIADA A PROPRIEDADES RURAIS	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
4.1 FICHA PARA COLETA DE DADOS.....	50

4.2 INDICADORES QUANTITATIVOS DE CIRCULARIDADE	51
4.2.1 Índice de Circularidade em Termos de Material.....	51
4.2.2 Índice de Circularidade em Termos de Energia	53
4.3 VISUALIZAÇÃO GRÁFICA CIRCULAR.....	54
4.3.1 Gráfico Circular em Termos de Material	55
4.3.2 Gráfico Circular em Termos de Energia.....	58
4.4 INTEGRAÇÃO E POTENCIAIS OPORTUNIDADES DA FERRAMENTA.....	60
4.5 DISCUSSÕES QUANTO AOS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	64
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	68
5.2 SUGESTÃO PARA ESTUDOS FUTUROS.....	69
REFERÊNCIAS.....	71
APÊNDICE A - Modelo da ficha para coleta de dados e respectivas observações.....	82
APÊNDICE B - Ficha para coleta de dados e respectivas observações da propriedade rural.....	84
APÊNDICE C - Portfólio final de artigos descobertos na literatura	101

1 INTRODUÇÃO

A fim de atender as demandas e desafios enfrentados na agricultura, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2019) busca ações concretas a fim de eliminar a fome, tornar a agricultura mais produtiva e sustentável, reduzir a pobreza rural, e aumentar a resiliência da população do campo mediante as ameaças e crises. Nesse sentido, a agricultura apresenta-se como um importante setor em termos de subsistência, tendo em vista a produção de alimentos.

Para 2050, a previsão da população mundial é de nove bilhões de pessoas (HENRT *et al.*, 2018), e, com isso, pesquisadores apontam um aumento de até 110% na demanda global de safra até 2050 quando comparado com 2005 (MEYFROIDT, 2018). Por outro lado, aproximadamente 10% da população global foi exposta à insegurança alimentar grave em 2017 (TEN BERGE *et al.*, 2019). Diante disso, é necessária uma forte atuação no setor agroalimentar a fim de fornecer alimentos adequados, saudáveis e nutritivos à população global.

A China e os Estados Unidos representam os maiores produtores agrícolas mundiais (PAINI *et al.*, 2016). A produção agrícola norte-americana é caracterizada pela formação das áreas nomeadas de cinturões agrícolas (trigo, milho, algodão e leite). Em termos de regiões, a União Europeia possui uma produção agrícola considerada uma das maiores do mundo (EUROPEAN COMMISSION, 2018).

No contexto brasileiro, o Produto Interno Bruto (PIB) apresenta aproximadamente 25% proveniente do setor agropecuário (BRASIL, 2019), e o território nacional emprega mais de 18 milhões de pessoas nesse setor, sendo o café, cana de açúcar, laranja, soja e florestal as principais produções (CEPEA, 2018). O setor agro apresenta crescimento considerável, visto a previsão de aumento de 1,8% na produção de frangos, no Brasil, em 2019, atingindo mais de 13 milhões de toneladas de carne (USDA, 2019).

A fim de auxiliar o desenvolvimento do campo em termos de produção mais eficiente e sustentável inserem-se nesse âmbito as práticas de economia circular. Em contraste com o modelo econômico “*take-make-use-dispose*” amplamente linear (MAAß; GRUNDMANN, 2018), a economia circular “*grow-make-use-restore*” (CASAREJOS *et al.*, 2018) é um modelo que objetiva manter componentes, materiais e produtos no máximo valor de utilidade, com o propósito de eliminar os resíduos de um sistema (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013).

Ressalta-se que a cooperação de propriedades rurais, o reuso de insumos internos à propriedade e a integração de atividades agrícolas não são práticas recentes. Contudo, o termo 'economia circular' é uma expressão utilizada nos últimos anos e pode trazer inúmeras vantagens estratégicas, operacionais e competitivas. A busca pelas organizações em fechar o ciclo dos materiais e energia é essencial. O conceito tornou-se uma das propostas mais recentes para promover o crescimento econômico, ao mesmo tempo em que considera a escassez de matérias-primas e energia, além de ser um novo modelo para negócios em expansão (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017).

As práticas de economia circular possuem iniciativas inclinadas em ações de ciclo fechado de materiais e energia. Na agricultura, as ações podem reduzir a geração de resíduos animais e agrícolas, redirecionar materiais de saída para uma origem mais sustentável, gerar eletricidade limpa, produzir biofertilizante e combustível de origem renovável, tornar a cadeia produtiva mais sustentável, reduzir/evitar custos, e outros. Tais práticas estão diretamente relacionadas com o desenvolvimento sustentável nas propriedades rurais podendo contribuir com inovação e tecnologia. De acordo com a *British Standard Institution* (BSI 8001, 2017) as atividades são complexas, apresentando muitas informações teóricas e técnicas sobre o assunto. Faltam, também, estruturas práticas a fim de auxiliar as organizações e torná-las mais circulares.

Adverte-se que uma circularidade de 100% em uma organização nem sempre é melhor. A economia circular precisa ser atrelada com outras abordagens econômicas e sociais, a fim de apresentar resultados mais assertivos nos três aspectos da sustentabilidade, gerando assim, uma economia circular de alta performance (ver, por exemplo, LONCA *et al.*, 2018).

O uso dessa economia em propriedades rurais vem se destacando no contexto mundial. As potenciais utilizações no campo em âmbito global foram apresentadas por diversas áreas e pesquisadores, como em cogumelo (PATRICIO *et al.*, 2018; GRIMM; WÖSTEN, 2018), biogás (INGRAO *et al.*, 2018; VANEECKHAUTE *et al.*, 2018), laticínios (KILKIŞ; KILKIŞ, 2017; GHISELLINI *et al.*, 2014), agroalimentar (PAGOTTO; HALOG, 2016; KRISTENSEN; KJELDSEN; THORSØE, 2016). No contexto brasileiro destacam-se no setor das biorrefinarias (RAMOS; LOMBARDI, 2007; SANTOS; MAGRINI; OMETTO, 2018).

Portanto, a utilização da economia circular pode ser benéfica para os produtores rurais de modo que custos podem ser reduzidos e resíduos podem ser reaproveitados, gerando vantagem competitiva, maior agregação de valor interno dos materiais, autonomia e independência.

A busca por conhecimentos sobre práticas de circularidade motiva desenvolver pesquisas científicas sobre o assunto. Quanto à caracterização do problema em relação ao estado da arte identificado, tem-se que este é o primeiro relato de elaboração de uma ferramenta para mensurar a economia circular em termos de fluxos de material e energia utilizando visualização gráfica e indicadores quantitativos.

A ferramenta serve para identificar as oportunidades para internalizar fluxos de materiais e energia que possuem potencial para maior agregação de valor utilizando indicadores de economia circular e visualização gráfica. A ferramenta pode ser aplicada em qualquer organização que apresente processos com entradas e saídas em termos de material e energia. Há uma ficha para coleta de dados, indicadores quantitativos de circularidade e conjunto de representação gráfica.

Fundamentado na literatura, este estudo parte de um problema de pesquisa: **“Quais são as potenciais oportunidades para agregação de valor a partir da internalização de fluxos externos para promover a economia circular em propriedades rurais?”**. Como resposta, o trabalho gerou os objetivos que estão descritos na Seção 1.1 (p. 17).

Este estudo procura contribuir no auxílio e incentivo das organizações, fomentando incrementos ambientais para o sistema e mitigar aspectos de mudanças climáticas. A pesquisa busca auxiliar e estimular as organizações a fim de potencializar a circularidade, mediante a utilização da ferramenta proposta neste estudo, apoiando e encorajando ações ambientalmente corretas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Identificar potenciais oportunidades para agregação de valor a partir da internalização de fluxos externos para promover a economia circular em propriedades rurais.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Levantar práticas e métricas existentes de economia circular em propriedades rurais;
- Estabelecer critérios e parâmetros de economia circular, associado a propriedades rurais;
- Estruturar a ferramenta;
- Aplicar a ferramenta;
- Explorar as potenciais possibilidades da ferramenta.

1.2 JUSTIFICATIVA

A justificativa desta dissertação é norteada por meio de alguns aspectos.

- Primeiramente, em relação aos impactos que devem ser desdobrados deste trabalho, espera-se que a atuação da economia circular no setor agrícola resulte nos aspectos ambientais e econômicos da sustentabilidade, atuando com redução de custos, oportunidades de manter materiais recirculando internamente, gerando maior agregação de valor e autossuficiência da propriedade rural. Além disso, os impactos refletem a geração de potenciais melhorias em termos de internalizar processos, mediante as oportunidades para agregação de valor a partir de fluxos externos para apoiar a economia circular.

- Quanto aos impactos sociais, a promoção da economia circular no setor agro pode influenciar a geração de emprego, renda e desenvolvimento social, devido a novas oportunidades de negócios.
- O trabalho justifica-se por sua originalidade. A partir da busca bibliográfica realizada (descrita na Seção 2.1.1, p. 23), a proposta desta pesquisa foi identificada como original em desenvolver uma ferramenta para promover a economia circular em propriedades rurais. A procura por trabalhos científicos mostrou que não existem aplicações próximas a esta em termos de uma ferramenta baseada em economia circular. Tendo em vista esta iniciativa como pioneira, os resultados e contribuições direcionam-se não só para o meio científico, mas para organizações que desejam mensurar e promover a circularidade em termos de material e energia.
- Além disso, o estudo justifica-se pela relevância em propriedades agrícolas. A inserção de alternativas em prol da economia circular no setor pode trazer benefícios consistentes aos negócios agrícolas diante da aplicação da ferramenta. O setor pode beneficiar-se de requisitos ambientais, competitivos e potencializar a circularidade da propriedade. Portanto, a identificação de circularidade na cadeia produtiva agrícola pode torná-la mais eficiente e limpa. Salienta-se, ainda, que o desenvolvimento no campo pode fomentar o aumento da eficiência energética, o melhor gerenciamento de resíduos animais e agrícolas e, conseqüentemente, custos podem ser reduzidos. Tais abordagens podem impulsionar o progresso tecnológico das unidades campestres, permitindo a transição para um caminho mais sustentável a médio e longo prazo.
- Outro aspecto justifica-se pelas contribuições socioambientais desenvolvidas com base nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Para que o planeta alcance o crescimento sustentável contínuo em termos de agricultura, energia e água fazem-se necessários novos incrementos na economia. Essas necessidades são consistentes aos ODS, desenvolvido pela Organização das Nações Unidas (ONU), traçados em 2015 junto com a Agenda 2030. Entre os 17 ODS, esta pesquisa está vinculada na promoção da

agricultura sustentável (Objetivo nº 2); o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia (Objetivo nº 7); o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável (Objetivo nº 8); padrões de produção e de consumo sustentável (Objetivo nº 12); medidas para combater a mudança climática e seus impactos (Objetivo nº 13) (ONU, 2015).

- Portanto, este estudo considera novas e interessantes oportunidades de economia circular aplicadas na agricultura que podem servir como referência para o enriquecimento do aspecto teórico na literatura. Isso por ser visto com mais ênfase no Quadro 3 (Apêndice C) onde estão segregadas importantes informações sobre características dos estudos encontrados na literatura e diante de uma discussão sobre economia circular associada a propriedades rurais (seção 3.5, p. 48).
- Ainda, destina-se como importante contribuição para as unidades rurais, podendo promover e desenvolver práticas de economia circular baseadas no desenvolvimento sustentável, sustentado pelo apelo prático.

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

Inicialmente, o trabalho está inserido no contexto da Engenharia de Produção, atuando na área 'Engenharia da Sustentabilidade' de acordo com a ABEPRO (2008). Esta área da Engenharia de Produção reflete o contexto da exploração deste trabalho em termos da utilização eficiente dos recursos naturais, destinação e tratamento dos resíduos, bem como, atuação do desenvolvimento sustentável no processo produtivo.

Além disso, esta dissertação tem aderência com a área de concentração do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP): Gestão Industrial. Essa área de concentração remete ao desenvolvimento de estudos e disciplinas das áreas de engenharia de operações e produto, pesquisa operacional, engenharia da qualidade, engenharia econômica, engenharia da sustentabilidade e áreas englobando a Engenharia de Produção.

Quanto à Linha de Pesquisa: Conhecimento e Inovação, o trabalho apresenta novas e interessantes descobertas sobre economia circular aplicada no setor agrícola.

A geração de conhecimento científico foi baseada no levantamento da revisão sistemática de literatura e, a partir disso, a geração de resultados e discussão. A inovação pode ser observada diante da proposta da ferramenta para promover a circularidade e sua aplicação.

Diante disso, a produção de conhecimento e inovação são as características que o Grupo de Pesquisa inserido no Laboratório de Estudos em Sistemas Produtivos Sustentáveis (LESP) carrega desde o seu surgimento, no ano de 2011. O Laboratório destaca-se pela atuação em desenvolver e aplicar estudos relevantes nos mais diversos ramos da atuação industrial e da pesquisa na área de Engenharia de Produção. A atuação do Grupo é direcionada no desenvolvimento de pesquisas e consultorias para negócios, a fim de, promover a sustentabilidade como elemento estratégico.

A parceria com diversas organizações industriais tem alavancado o reconhecimento e a visibilidade do Grupo de Pesquisa. A participação em congressos nacionais e internacionais de relevância científica, serviços de consultoria com empresas, oferta de cursos voltados para a sustentabilidade, palestras, cooperação com universidades internacionais, publicações em revistas nacionais e periódicos internacionais de alto impacto compõem o portfólio de atuação do LESP.

A colaboração entre os alunos de iniciação científica, alunos que estão desenvolvendo trabalhos de conclusão de curso, mestrandos, doutorandos, pós-doutorandos e professores tem gerado significativos resultados que contribuem com o desenvolvimento da pesquisa no país e no mundo.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está estruturada em cinco capítulos. Inicialmente, apresentam-se as considerações iniciais acerca das temáticas de economia circular e propriedades rurais diante do contexto global e nacional. Ainda neste capítulo, a pergunta de pesquisa, objetivo geral, objetivos específicos, justificativas, área da Engenharia de Produção, área de concentração, linha de pesquisa e grupo de pesquisa são relatados.

A metodologia do estudo está mostrada no capítulo 2, segregada pelas subseções de revisão bibliográfica, estruturação da ferramenta e aplicação da ferramenta.

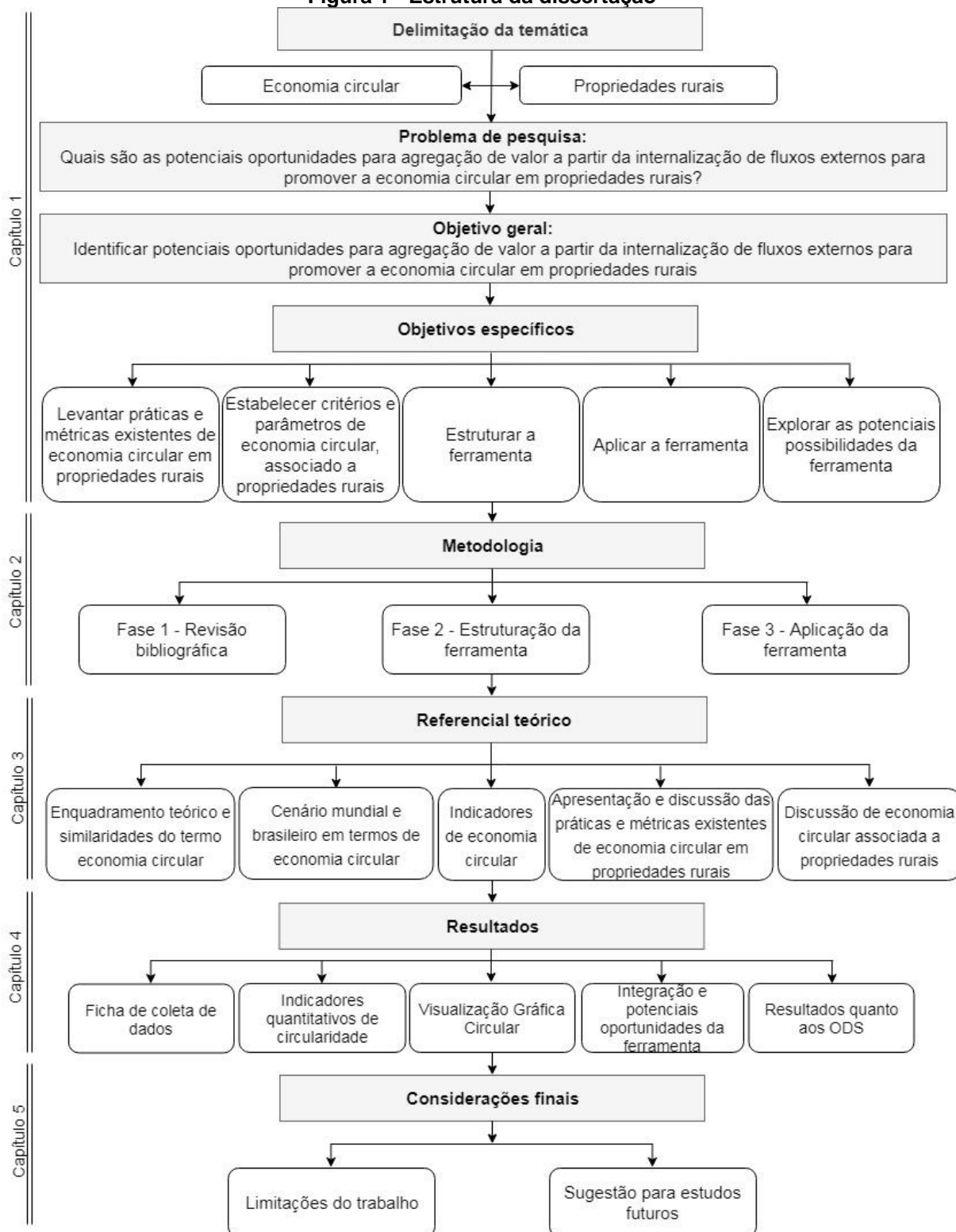
Na sequência, o enquadramento teórico e similaridades do termo economia circular, além do atual cenário mundial e brasileiro em termos de economia circular estão descritos no capítulo 3 (Referencial Teórico). Além disso, os estudos encontrados a partir da revisão bibliográfica de literatura são apresentados e discutidos.

Adiante, a ferramenta proposta está apresentada e discutida no capítulo 4. Os índices de circularidade dos processos e da propriedade rural, bem como a visualização gráfica, compõem os resultados do trabalho.

Por fim, as considerações finais, as limitações e oportunidades para estudos futuros estão descritos no capítulo 5.

Portanto, a dissertação está estruturada de acordo com a Figura 1 por meio de um fluxograma.

Figura 1 - Estrutura da dissertação



Fonte: Autoria própria

2 METODOLOGIA

As etapas da metodologia foram organizadas nesse capítulo. As ações foram efetivadas a fim de manter o rigor metodológico. Inicialmente, apresenta-se a metodologia da revisão bibliográfica, na sequência a estruturação da ferramenta e, por fim, a metodologia para aplicação da ferramenta.

2.1 FASE 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Levantamento de Práticas e Métricas Existentes de Economia Circular em Propriedades Rurais

Para a realização do levantamento científico optou-se pela utilização de três bases de dados: *Web of Science* (WoS), *Scopus* e *Science Direct* (SD). A busca das palavras-chaves foi desenvolvida utilizando operadores Booleanos e truncamento. As *query* foram: ((*agro* OR agricultur* OR farm* OR yield* OR bioenerg**) AND ("*circular economy*" OR "*industrial symb***" OR "*industrial ecology*")). A mesma combinação foi realizada para as três bases de dados seguindo os critérios de cada base. O período da busca nas bases de dados não foi limitado. A cobertura dos artigos pesquisados foi investigada desde o início da contabilidade em 1945, até 14 de setembro de 2018 (data que ocorreu a busca).

Durante a fase de busca nas bases de dados, optou-se em selecionar artigos completos e artigos de revisão, ambos disponíveis na língua inglesa e publicado em periódicos internacionais. Foi encontrado um total de 1.204 artigos nas três bases. Três tipos de filtros foram aplicados para a seleção dos documentos. O primeiro ocorreu pela exclusão dos trabalhos duplicados e, restaram após o filtro, 624 documentos. O segundo foi aplicado pela leitura dos títulos. Em seguida, os documentos que não se relacionavam com o tema foram excluídos, resultando em 345 artigos. O terceiro filtro ocorreu pela leitura dos resumos e palavras-chaves, sendo que os trabalhos que não apresentavam relação com o tema foram eliminados, resultando em 36 estudos. Portanto, para a composição da análise final de documentos restaram 36 artigos. A quantidade de documentos em cada base de dados, bem como o resultado após a aplicação de cada filtro estão relacionados na Tabela 1.

Tabela 1 - Filtros aplicados e portfólio final resultante

Filtros aplicados	Quantidade de documentos
Wos	591
Scopus	512
SD	101
Total	1204
Filtro 1 (Após a exclusão de duplicados)	624
Filtro 2 (Após a leitura dos títulos)	345
Filtro 3 (Após a leitura dos resumos e palavras-chave)	36
Portfólio final (Leitura na íntegra dos documentos)	36

Fonte: Autoria própria

Portanto, 36 documentos foram utilizados, realizando a leitura na íntegra e analisados individualmente. Algumas características dos documentos foram exploradas e podem ser visualizadas no Quadro 3 (Apêndice C), tais como: referência, tipo de estudo, área de atuação, instituição de pesquisa, país de origem, periódico, editora, Fator de Impacto (FI) e número de citações de cada estudo. Utilizou-se ainda um software de gerenciamento de artigos. O número de citações dos estudos foi verificado no *Google Scholar* em 06 de abril de 2019. O FI dos periódicos refere-se ao ano de 2017 e foi encontrado no *Journal Citation Report (JCR)*.

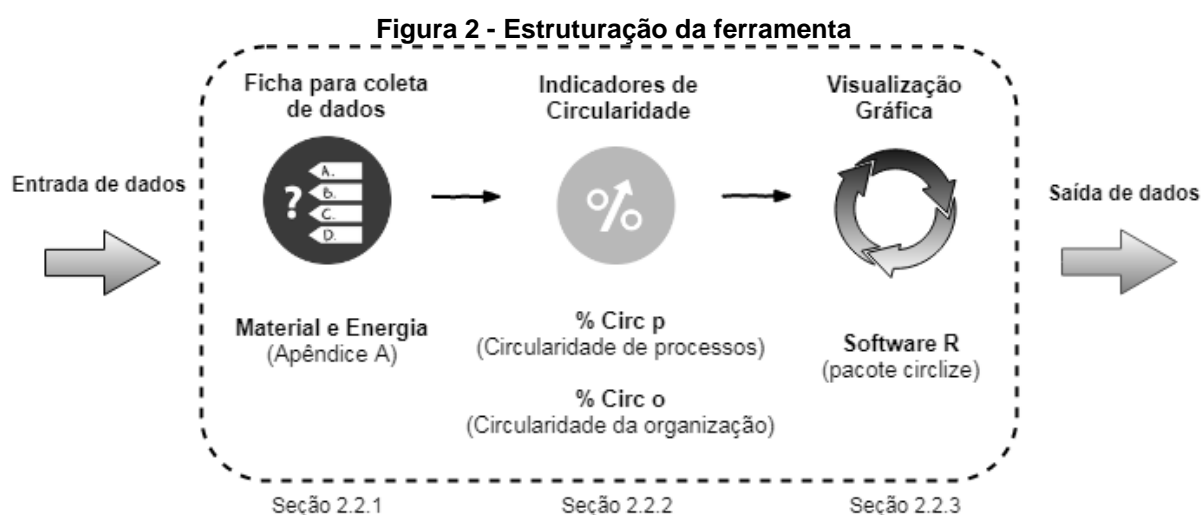
2.1.2 Critérios e Parâmetros de Economia Circular Associada a Propriedades Rurais

Os critérios e parâmetros utilizados para a composição dos resultados foram baseados no portfólio final de documentos encontrados na literatura. O objetivo proposto foi o de obter dados quanto às entradas e saídas de processos de propriedades rurais. As entradas correspondem à quantidade de matéria-prima, energia e água que se inserem nos processos. As saídas compreendem produtos, efluentes, resíduos e afins. Após a leitura e análise integral dos 36 artigos encontrado no corpo da literatura, extraiu-se informações relevantes para discussão e construção da ficha para coleta de dados e respectivas observações (ver Apêndice B). Além disso, a discussão dos artigos diante dos critérios e parâmetros está descrita na seção 3.4 (p. 43).

2.2 FASE 2 - ESTRUTURAÇÃO DA FERRAMENTA

De acordo com o referencial teórico construído nesta dissertação, identificou-se uma lacuna quanto à conjuntura de visualização gráfica aliada a indicadores de circularidade para promover a economia circular em propriedades rurais e um padrão para coleta de dados.

A ferramenta é baseada na ficha para coleta de dados, indicadores quantitativos de circularidade e conjunto de representação gráfica, como mostra a Figura 2.



Fonte: Autoria própria

A ferramenta, portanto, admite mensurar a circularidade em diferentes níveis, permite visualizar fluxos de entrada e saída de material e energia, identificar oportunidades de internalização, verificar potenciais novos desenvolvimentos de negócios e atividades para internalização de processos e geração de valor. Portanto, foram desdobradas três frentes para a construção da ferramenta: ficha para coleta de dados (seção 2.2.1, p. 25), indicadores quantitativos de circularidade (seção 2.2.2, p. 26) e visualização gráfica circular (seção 2.2.3, p. 32).

2.2.1 Ficha para coleta de dados

Para a etapa inicial da construção da ferramenta, foi necessária a elaboração e, posteriormente, a utilização da ficha para coleta de dados. A ficha foi estruturada a

fim de orientar a etapa de coleta de dados na organização. A entrevista para a coleta das informações pode ser realizada em campo ou não. Porém, sugere-se que a entrevista seja realizada em campo, tendo a oportunidade de visitar o funcionamento dos processos e da organização. Além disso, o sujeito da pesquisa deve ser um indivíduo capacitado tecnicamente, fornecendo informações legítimas e confiáveis.

As informações contidas na ficha podem ser alteradas em alguns aspectos (dependendo do setor de aplicação e da forma de coleta) e possui abertura a fim de fornecer espaço ao entrevistado em colaborar com outras questões pertinentes.

A coleta de dados deve ser baseada nos processos existentes da organização, contendo fluxos de material e energia em termos de entrada e saída. Além disso, pode ser efetuada a troca de materiais entre organizações vizinhas, com uma rede industrial e com organizações externas, por exemplo.

Portando, o modelo da ficha para coleta de dados proposta para compor a etapa inicial da ferramenta pode ser observada no Apêndice A. O cabeçalho contempla informações essenciais e necessárias, como nome da empresa, sua localização, responsável pela empresa e indivíduo entrevistado, cobertura temporal dos dados (período que reflete os dados coletados - diário, mensal, semanal ou anual) e o período em que foi realizada a coleta de dados. A ficha, ainda, contém um campo para inserir o nome do processo e sua descrição, como funcionamento, histórico, informações qualitativas e quantitativas. Além disso, existem campos para o preenchimento de informações como entradas e saídas de material e energia. O 'fornecedor' representa a etapa que antecede a entrada de determinado material/energia. Como saída, o 'cliente' representa a etapa que sucede a saída de determinado material/energia. Por fim, destina-se um campo para possíveis observações sobre o processo que o pesquisador queira mencionar.

A composição final dos resultados em termos da ficha para coleta de dados pode ser vista na seção 4.1 (p. 51) e no Apêndice B.

2.2.2 Indicadores Quantitativos de Circularidade

Para que se possa gerenciar é preciso medir. É uma forma de avaliar a circularidade em termos de material e energia em nível micro (uma organização, empresa, propriedade rural), nível meso (parque industrial e eco indústria), e a nível

macro (regiões, cooperativas) pode ser apropriada no novo indicador proposto neste estudo.

Para Siche *et al.*, (2007) em uma análise breve, índice e indicador possuem o mesmo significado, contudo existe uma diferença que o índice é o valor agregado final de um procedimento de cálculo onde se utiliza indicadores como variáveis que o compõem. Os autores acrescentam, ainda, que o índice pode atuar na tomada de decisão sendo considerado um nível acima da junção de variáveis ou indicadores.

Os indicadores de circularidade propostos foram desenvolvidos baseados na oportunidade de mensurar a economia circular em uma organização. Conforme descrito na seção 2.1 (p. 23), não foi encontrado na literatura nenhum indicador com essas características presentes. Com o intuito de criar um indicador que possa ser utilizada em qualquer tipo de organização que apresente processos com fluxos de entradas e saídas em termos de material e energia, foram desenvolvidas as Equações (1) e (2).

Inicialmente é preciso definir os níveis para a utilização da ferramenta. Os níveis podem se enquadrar nos aspectos micro (uma organização), meso (mais de uma organização), macro (uma rede de organizações). Além disso, os níveis também podem ser representados pela distância do epicentro (organização central), como por exemplo: nível 1 (uma organização), nível 2 (organizações em um raio de 5 quilômetros – km do epicentro), nível 3 (organizações em um raio de 15 km do epicentro), nível 4 (organizações em um raio de 25 km do epicentro). A ferramenta, portanto, permite a aplicação de infinitos níveis.

Posteriormente, a circularidade de cada processo ($Circ_p$) (Equação (1)) é definida pela quantidade de material ou energia que entra no processo proveniente de um fluxo interno da organização, somado com a quantidade de material ou energia destinada a outro processo dentro da organização. Esse valor é dividido pela soma total de material ou energia dos quatro fluxos de cada processo (entrada interna, saída interna, entrada externa, saída externa).

Os fluxos (de entrada e saída) correspondem à quantidade de material ou energia que circula na organização. A especificação de material representa a quantidade mensurada em massa (kg, Tonelada - Ton, por exemplo). A energia corresponde à mensuração em energia elétrica ou térmica (Quilowatt-hora - kWh, Joule - J, por exemplo).

O cálculo para cada processo deve ser feito seguindo o nível escolhido pelo pesquisador (micro, meso ou macro). Neste caso, deve-se definir o nível e quais processos são externos para cada um.

A Equação (1) representa o cálculo da circularidade por processo de uma organização de acordo com o nível escolhido.

$$\% \text{ Circ}_p = \frac{(EI_n + SI_n)}{(EI_n + SI_n + EE_n + SE_n)} \times 100 \quad (1)$$

Onde,

Circ_p : Percentual de circularidade por processo;

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 níveis estipulado (n : 1, 2, 3,...).

A partir disso, a circularidade por processo pode sofrer variação entre 0 a 1 ou 0% a 100% de circularidade.

Para a mensuração da circularidade a nível organizacional, após a aplicação da Equação (1), deve-se utilizar a Equação (2).

A circularidade da organização (Circ_o) é calculada pelo somatório do percentual de circularidade de cada processo multiplicado pela quantidade de massa ou energia de cada processo, dividido pela massa ou energia de todos os processos. Sabendo que,

$$Mp_j = (EI_i + SI_i + EE_i + SE_i)$$

Onde,

Mp_j : Quantidade de massa ou energia de cada processo.

A circularidade da organização (Circ_o) pode ser vista na Equação (2) de acordo com o nível escolhido.

$$\% \text{ Circ}_o = \frac{\sum_1^n (Cp_j * Mp_j)}{\sum_1^n Mp_j} \quad (2)$$

Onde,

$Circ_o$: Percentual de circularidade da organização;

Cp_j : Percentual de circularidade por processo;

Mp_j : Quantidade de massa ou energia de cada processo;

n : Número de processos da organização.

Mediante a aplicação da Equação (2), a organização pode apresentar uma circularidade variando entre 0 a 1 ou 0% a 100% de circularidade.

Salienta-se que os cálculos dos processos e organização devem ser realizados para uma mesma unidade de medida. Além disso, a circularidade para os processos e a circularidade para a organização deve ser feita de acordo com a quantidade de níveis existentes. Caso existam quatro níveis, por exemplo, é necessário aplicar as Equações (1 e 2) quatro vezes.

Após os cálculos dos indicadores de circularidade concluídos, é necessária a seleção do nível desejado para a construção da visualização gráfica circular (descrito na seção 2.2.3, p. 32).

Tanto o índice de circularidade por processo, quanto o índice para a organização pode variar de 0% a 100%, sendo que quanto mais próximo de 100%, mais material ou energia são circulados dentro do processo ou da organização. E quanto mais próximo de 0%, mais material ou energia são provenientes de fora ou destinados para o exterior da organização.

Tendo em vista a elaboração de um novo indicador para mensuração de economia circular em termos de material e energia, torna-se essencial a apresentação e a discussão de outros indicadores correlatos encontrados na literatura. Portanto, isso pode ser observado na seção 3.3 (p. 40).

Algumas vantagens do indicador proposto remetem a sua aplicabilidade e mensuração em nível de processo e organizacional. O índice variante entre 0% a 100% representa o quão circular é o sistema em termos de material e energia. Além disso, a aplicação está direcionada para distintos tipos e ramos de atuação de micro, pequena, média e grande organização. Ainda, a mensuração pretende apontar

caminhos mais sustentáveis, atuando com base no planejamento estratégico sustentável, e facilitando assim, as tomadas de decisões.

Por outro lado, algumas delimitações fazem parte de qualquer indicador de sustentabilidade. Neste caso, o índice expressa exclusivamente a mensuração em material e energia e não mensura outras abordagens ambientais e econômicas que podem estar contidas na economia circular. Para os processos internos e externos da organização é preciso esclarecer o escopo e os limites de fronteira que o estudo está aplicando, como por exemplo, a nível micro (um processo ou uma organização), a nível meso (um conjunto de organizações próximas ou cooperativas), e a nível macro (diversas cooperativas ou redes empresariais). Por isso, o escopo e os limites de atuação devem estar claros para que processos externos não sejam prejudicados quando aplicado na ferramenta.

Os resultados quanto aos indicadores de circularidade podem ser observados na seção 4.2 (p. 51).

2.2.2.1 Exemplo do uso do indicador de circularidade

A fim de exemplificar os indicadores e os cálculos de circularidade, um exemplo genérico compõe o Quadro 1. Uma determinada organização apresenta cinco processos diferentes com entradas e saídas mensurados em massa (Quilograma - kg). Para uma aplicação em termos de energia, os cálculos seguem o mesmo padrão.

O primeiro processo representa 0% ou nenhuma parte circular de material, ou seja, todo o material que entra no processo é proveniente de fora da organização e tudo o que sai é destinado ao exterior da organização. O segundo processo representa 25% de circularidade, isso mostra que $\frac{1}{4}$ do processo é circular e $\frac{3}{4}$ não. Adiante, o terceiro processo dessa organização mostra que metade de todo o material é proveniente de dentro e destinado para dentro da organização. A outra metade dos materiais é proveniente do exterior e destinado ao exterior da organização. O quarto processo representa 75% de circularidade. Por fim, o quinto mostra que todo o material inserido nesse processo tem origem dentro e destinado para dentro da organização.

Quadro 1 - Exemplificação do indicador circular para uma organização

Entradas	Saídas	Cálculo da circularidade por processo	Índice de circularidade de cada processo	Cálculo do indicador para a organização	Índice de circularidade para a organização
<i>EI</i> : 0 kg <i>EE</i> : 3 kg	<i>SI</i> : 0 kg <i>SE</i> : 7 kg	$Circ_p = \frac{(0 + 0)}{(0 + 0 + 3 + 7)}$	$Circ_p = 0\%$	$Circ_o = \frac{(0) * (10) + (0,25) * (16) + (0,5) * (12) + (0,75) * (16) + (1) * (11)}{10 + 16 + 12 + 16 + 11}$	$Circ_o = 51\%$
<i>EI</i> : 3 kg <i>EE</i> : 10 kg	<i>SI</i> : 1 kg <i>SE</i> : 2 kg	$Circ_p = \frac{(3 + 1)}{(3 + 1 + 10 + 2)}$	$Circ_p = 25\%$		
<i>EI</i> : 3 kg <i>EE</i> : 3 kg	<i>SI</i> : 3 kg <i>SE</i> : 3 kg	$Circ_p = \frac{(3 + 3)}{(3 + 3 + 3 + 3)}$	$Circ_p = 50\%$		
<i>EI</i> : 8 kg <i>EE</i> : 4 kg	<i>SI</i> : 4 kg <i>SE</i> : 0 kg	$Circ_p = \frac{(8 + 4)}{(8 + 4 + 4 + 0)}$	$Circ_p = 75\%$		
<i>EI</i> : 8 kg <i>EE</i> : 0 kg	<i>SI</i> : 3 kg <i>SE</i> : 0 kg	$Circ_p = \frac{(8 + 3)}{(8 + 3 + 0 + 0)}$	$Circ_p = 100\%$		

Fonte: Autoria própria

Após os cálculos por processo, foi necessária a aplicação da Equação (2) para mensurar a circularidade da organização. Portanto, o Quadro 1 mostra que o índice de circularidade da organização é de 51%.

2.2.3 Visualização Gráfica Circular

Para a construção da visualização gráfica utilizou-se o *software* R juntamente com o pacote de extensão *Circlize* (proposto por GU *et al.*, 2014). A visualização gráfica é desenvolvida por meio de programação computacional. São inseridos no *software* os dados de entrada (quantitativos) mediante um código de programação e, como saída, é apresentada a visualização gráfica circular (infográfico) com fluxos em diferentes tamanhos e cores.

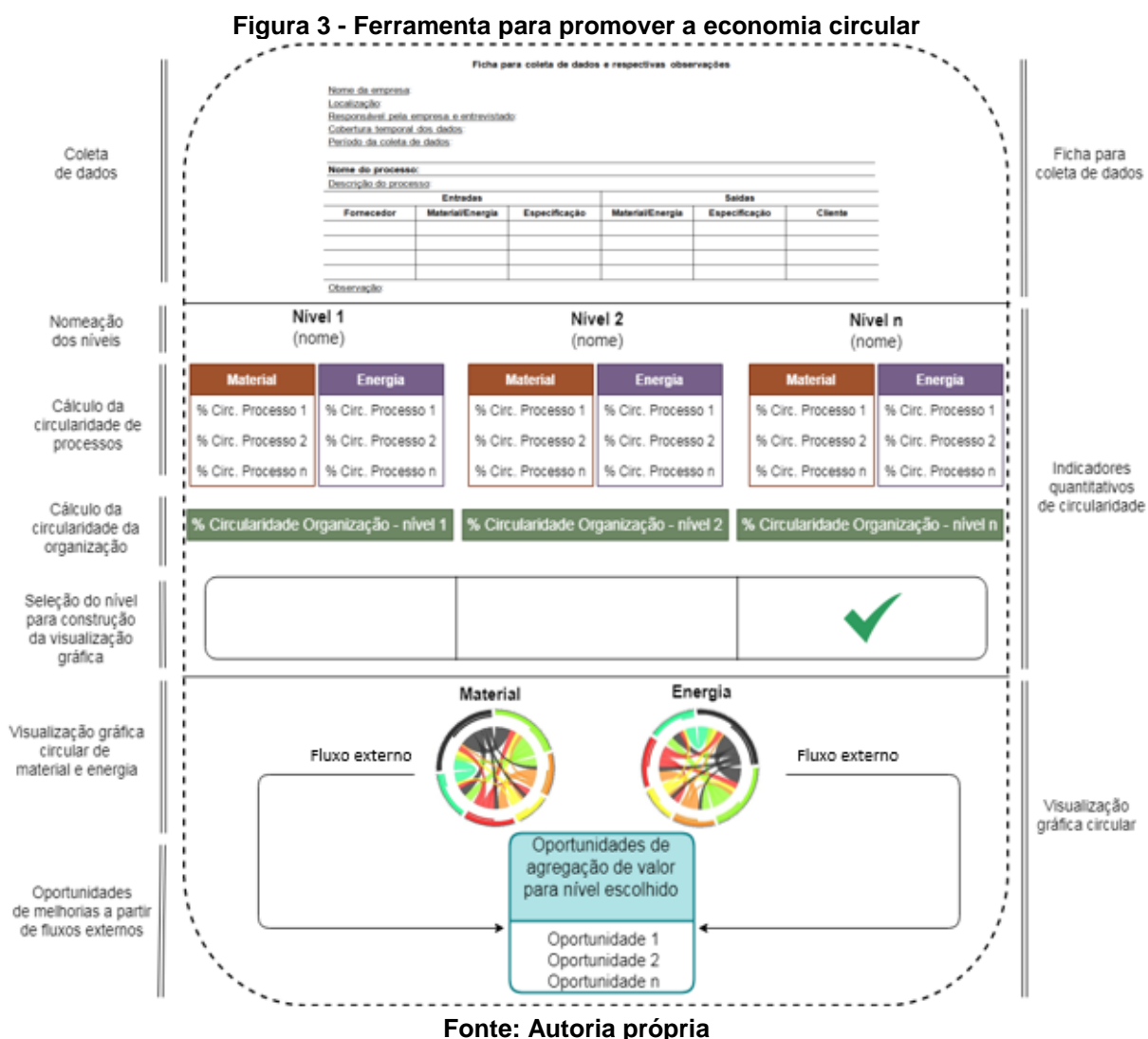
Esse tipo de gráfico permite visualizar diversas informações interconectadas, contendo fluxos de entradas e saídas de informações quantitativas, e promove uma maior gestão visual. O *layout* circular representa, elegantemente informações com eixos longos e grande quantidade de categorias, mostra intuitivamente dados com várias trilhas focadas no mesmo objeto, e demonstra facilmente relações entre elementos rearranjados, além de melhorar resultados científicos (GU *et al.*, 2014). Existe, ainda, outro *software* que permite gerar a visualização gráfica, como o *Circos* (CIRCOS, 2016).

Para a construção da visualização gráfica desta dissertação, utilizaram-se informações de fluxos de entradas e saídas em termos de material e energia de uma propriedade rural. Os resultados do trabalho apresentam duas figuras contendo a visualização gráfica: a primeira mostra os fluxos em termos de massa, que foram mensurados em toneladas por ano (Ton/ano); a segunda apresenta os fluxos em termos de energia elétrica, mesurados em quilowatt-hora por ano (kWh/ano).

Após a geração da visualização gráfica circular, podem existir fluxos de material e energia que são provenientes ou destinados para o exterior da organização. Com isso, a ferramenta adota uma listagem de potenciais oportunidades de agregação de valor a partir do fluxo externo. Portanto, a ferramenta permite identificar os fluxos de atravessam os limites da organização para o exterior, e a partir disso, novos modelos de negócios, oportunidades de mercado e agregação de valor dos materiais podem surgir.

Portanto, os resultados dessa etapa da ferramenta podem ser vistos na seção 4.3 (p. 54).

Figura 3 mostra a ferramenta para promover a economia circular, diante das três frentes: ficha para coleta de dados, indicadores quantitativos de circularidade e conjunto de representação gráfica circular.



Portanto, a ferramenta pode ser aplicada em qualquer tipo de organização que apresente fluxos de material e/ou energia. Os requisitos básicos da ferramenta para a replicação necessitam que os fluxos de entradas e saídas sejam coletados em uma mesma unidade de medida. Para material, a coleta de dados deve ser realizada em termos de massa. Para energia (elétrica, térmica), a coleta de dados também precisa ser feita em uma mesma unidade de energia.

2.3 FASE 3 - APLICAÇÃO DA FERRAMENTA

2.3.1 Definição do Escopo e da Propriedade Rural

A aplicação da ferramenta proposta no estudo foi desenvolvida em uma propriedade rural agrícola devido à disponibilidade e características. A propriedade faz parte de uma cooperativa agroindustrial e está localizada no município de Castro/PR, região dos Campos Gerais, a cerca de 170 km da capital, Curitiba. O município de Castro possui como base econômica a produção de suínos e laticínios, contando com 263.500 suínos/ano e 40.000 matrizes/ano (sendo o segundo maior produtor do estado do Paraná e o quinto maior no Brasil), e 264.000 litros/ano de leite produzido (maior município produtor de leite no estado e no país) (IBGE, 2017).

A propriedade rural atua nas atividades de agropecuária, como lavoura de milho, soja, trigo, feijão, azevém e palha, unidade de composto para a produção de cogumelo, e atividades de suinocultura. Além disso, a unidade rural possui um biodigestor atuando na produção de biofertilizante e biogás. A consciência e a atuação de ações voltadas para a sustentabilidade faz parte de práticas diárias da organização. A unidade rural abate anualmente cerca de 25.000 suínos e possui aproximadamente 800 hectares de terra destinada a lavoura. O biodigestor é utilizado na produção de biofertilizante (destinado à lavoura), biogás, gerando assim, eletricidade (uso de energia elétrica na fazenda), calor (aquecimento do piso de residências, aquecimento do piso da maternidade da suinocultura e aquecimento do secador de grãos), biometano (abastecimento de veículos da propriedade), e uso como gás de cozinha nas residências.

2.3.2 Coleta de Dados na Propriedade Rural

Para a coleta de dados, utilizou-se de uma entrevista semiestruturada para orientar o foco do estudo e, também, para dar espaço ao entrevistado em elaborar e responder questões que considere importante para a análise. Houve a necessidade da coleta dos dados em campo, realizando observações, perguntas e anotações na folha de resposta, bem como a observação das diversas áreas de trabalho na

propriedade. A análise foi baseada em dados primários, coletados via entrevista individual na propriedade. O sujeito da pesquisa foi o proprietário da unidade rural.

A coleta de dados foi baseada em 11 processos existentes na propriedade, como suinocultura, moagem e ensilagem, biodigestor, purificação, motor gerador, secador de grãos, secador de semente de gramínea, secador de feijão, lavoura, composto para a produção de cogumelo e transporte. A propriedade, ainda, troca materiais com propriedades vizinhas, com a cooperativa agroindustrial e com fábricas, indústrias (considerado externo a esses limites de fronteira).

As informações de entradas e saídas foram coletadas no período de janeiro a abril de 2019, junto à propriedade, e podem ser observados no Apêndice B.

2.3.3 Cálculos Para a Densidade

Os dados coletados na propriedade rural foram medidos em massa (Ton), em energia elétrica (kWh) e volume (metros cúbicos - m³). Diante disso, houve a necessidade de transformar a unidade de volume para massa e, assim, gerar comparação de resultados para a mesma unidade de medida. Para transformar volume em massa, utilizou-se a densidade de alguns materiais, como mostra o Quadro 2.

Quadro 2 - Valores de densidade

Referência	Densidade	Observação
Chandra <i>et al.</i> (2011)	Biogás (1,11 kg/m ³)	65% de CH ₄ , 32% de CO ₂ e 3% de outros gases
Chandra <i>et al.</i> (2011)	Biometano (0,75 kg/m ³)	95% de CH ₄ , 3% de CO ₂ e 2% de outros gases
Alptekin e Canakci (2008)	Diesel (0,8424 g/cm ³)	Diesel combustível
Almeida <i>et al.</i> (2017)	Biofertilizante (1,185 g/cm ³)	

Fonte: Autoria própria

Em termos da densidade da água, utilizou-se a convenção de 1 g/cm³. A propriedade rural forneceu os valores do biogás, biometano e diesel em unidade de volume. Dessa forma, houve a necessidade de transformação para unidade de massa. Os valores estão apresentados junto aos resultados do trabalho (seção 4, p. 50) e no Apêndice B.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Uma abordagem a respeito das áreas de pesquisa avaliadas neste estudo está apresentada nesta seção. Os tópicos de discussão foram: economia circular e termos correlatos; cenário mundial e brasileiro diante da aplicação de circularidade; indicadores de economia circular; práticas e métricas que contemplem a economia circular na agricultura; discussão de economia circular associada a propriedades rurais.

3.1 ENQUADRAMENTO TEÓRICO E SIMILARIDADES DO TERMO ECONOMIA CIRCULAR

Em domínio mundial, a economia circular visa reduzir e otimizar a maneira como as organizações estão produzindo seus produtos (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016). Logo, de uma forma simplificada, baseia-se na capacidade de recuperar recursos no local que ainda estão circulando em vez de importá-los (DONIA; MINEO; SGRIO, 2018). Uma economia circular bem-sucedida contribui para as três dimensões do desenvolvimento sustentável (ZABANIOTON, 2018).

Para a *Ellen Macarthur Foundation* (2013) a economia circular constrói capital econômico, natural e social, sendo baseada em três princípios: gerenciar resíduos e poluição, manter produtos e materiais em uso, e regenerar os sistemas naturais. Diante do conceito da BSI 8001 (2017), os recursos são recuperados com alta qualidade e mantidos em circulação por maior tempo possível.

Esse conceito é visto na literatura como uma expressão utilizada mais recente pelos pesquisadores. Contudo, o tema vem sendo moldado ao longo do tempo por algumas escolas de pensamento, como Leis da Ecologia (COMMONER, 1971), Projeto Regenerativo (LYLE, 1994), Ecologia Industrial (O'ROURKE; CONNELLY; KOSHLAND, 1996), Simbiose Industrial (CHERTOW, 2000), *Cradle-to-cradle* (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002).

Um dos primeiros relatos de ecologia industrial remeteu a ideia de uma simples analogia com sistemas ecológicos naturais que opera através de uma rede de conexões (FROSCH, 1992), e um dos pesquisadores mais citados nesse campo parece ser Chertow (2000), afirmando que as chaves para a simbiose industrial são a colaboração e as possibilidades sinérgicas oferecidas pela proximidade geográfica.

Seguindo os princípios da ecologia industrial, recomenda-se a implementação de processos sustentáveis para aumentar a eficiência, diminuir os resultados indesejados e diminuir o uso de insumos não renováveis dentro do ciclo de produção agrícola (PAGOTTO; HALOG, 2016).

Uma estratégia que apoia o desenvolvimento em direção a uma economia circular é a simbiose industrial (HERCZEG; AKKERMAN; HAUSCHILD, 2018). A simbiose industrial é pesquisada dentro da estrutura proposta das organizações para identificar pontos fortes, tendências e oportunidades para o desenvolvimento contínuo (GRANT *et al.*, 2010). Um recurso fundamental da simbiose industrial é a capacidade de considerar diferentes tipos de indústrias, levando em consideração os parceiros, a montante e a jusante da cadeia (FERNANDEZ-MENA; NESME; PELLERIN, 2016). Já a ecologia industrial, Trokanas, Cecelja e Raafat (2014) sugerem que seus objetivos são de melhorar a eficiência dos recursos, além de levar a benefícios ambientais, financeiros e sociais mútuos para as organizações envolvidas.

Contudo, a aplicação de práticas de economia circular só é possível a partir de ações criadas pela alta gerência do negócio. Tais ações devem encontrar formas de mitigar os efeitos negativos e potencializar os positivos. Questões positivas podem influenciar a reutilização ou transformação de um resíduo em matéria-prima. Nesta visão, as práticas destinam-se a resultados de médio e longo prazo.

Os modelos de negócios alinhados com as aplicações de economia circular estão presentes em diversos setores e áreas de produção. Em busca de um sistema produtivo agrícola mais circular, diversos autores procuram usar diferentes termos similares a economia circular, como bioeconomia circular (MOHAN *et al.*, 2016; ZABANIOTOU, 2018), eco-economia rural (KRISTENSEN; KJELDSSEN ; THORSØE, 2016), simbiose industrial (OMETTO; RAMOS; LOMBARDI, 2007; ALFARO; MILLER, 2014), ecologia agroindustrial (FERNANDEZ-MENA; NESME; PELLERIN, 2016), agro-ecologia industrial (DUMONT *et al.*, 2013), *loop* fechado (DUMONT *et al.*, 2013; NOYA *et al.*, 2017), circuito fechado (MOHAN *et al.*, 2016), ciclo fechado (NOYA *et al.*, 2017), economia verde (CUTAIA *et al.*, 2014), os quais referem-se às áreas correlatas da ciência que estudam os sistemas produtivos, podendo ser compreendidos como parte de um modelo cíclico, apresentando entradas, saídas, interações com o meio ambiente e retornando ao processo produtivo, determinada parcela do fluxo de material e energia. Em outras palavras, seu objetivo é transformar uma economia linear em circular.

A partir do exposto, a economia circular permite potencializar as características competitivas de organizações mediante as colaborações e reestruturação dos negócios. Tal prática apresenta uma proposta bastante interessante, porém preocupante. Não é trivial direcionar as entradas e saídas de processos produtivos baseados em uma economia linear para uma economia circular. No entanto, buscam-se alternativas em favor da economia circular que possam ser aplicadas quando se remete ao ciclo de vida de processos/produtos/atividades agrícolas. Tais alternativas em prol da economia circular podem proporcionar benefícios não só ambientais, mas também econômicos e sociais.

3.2 CENÁRIO MUNDIAL E BRASILEIRO EM TERMOS DE ECONOMIA CIRCULAR

A ambição em alavancar práticas de economia circular vem ganhando destaque principalmente na Europa, ao apresentar metas concretas e documentadas para tais ações (ver EEA, 2016). A legislação Europeia contém uma meta de redução de aterros, considerando a reciclagem de resíduos urbanos que terá de aumentar dos atuais 44% para 55% até 2025, 60% até 2030 e 65% até 2035 (EUROPEAN COUNCIL, 2018). Nesse sentido, ações europeias estão inclinadas em buscar alternativas em prol da sustentabilidade, focalizando aspectos que estão relacionados com a economia circular.

Recentemente, a organização que mais se mostrou proativa e assumiu a liderança mundialmente em alavancar e dar continuidade ao pensamento de economia circular foi a Fundação *Ellen MacArthur*. Além disso, mais recentemente, a criação da Norma BSI 8001 exclusiva para desenvolver práticas de economia circular está sendo difundida ao redor do mundo. Essa Norma é uma iniciativa proativa e pretende fornecer informações importantes e sistemáticas aos setores industriais na aplicação da economia circular.

No Brasil, diversas organizações estão alinhadas na aplicação de economia circular, sendo os setores mais representativos o de comércio, fábricas e prestadoras de serviços, e uma menor aplicação foi identificada em propriedades rurais e no setor de educação (SEHNEM, 2019). Nesse sentido, algumas organizações brasileiras estão se movimentando e adiantando iniciativas em termos dessa temática. A montadora de automóvel Renault do Brasil, parceira da Fundação *Ellen MacArthur*,

vem aplicando em escala industrial, os Princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRL) e os conceitos de economia circular, buscando um desenvolvimento sustentável mediante a reciclagem e redução de resíduos (RENAULT, 2018). A empresa Renner, também parceira da fundação *Ellen MacArthur*, aplicou práticas de circularidade na cadeia de fornecimento, transformando 380 toneladas de resíduos da fabricação em novos produtos e roupas (RENNER, 2018).

A Confederação Nacional da Indústria (CNI) está se mobilizando no desenvolvimento de competências voltadas para a economia circular. O mercado brasileiro é privilegiado para o desenvolvimento de estratégias circulares, pois possui um significativo parque industrial e tecnologias de reciclagem para o fechamento de ciclo de materiais e um forte mercado consumidor (CNI, 2018). Ainda no território nacional, as práticas de simbiose industrial estão concentradas, principalmente, em projetos que visam melhorar práticas de sustentabilidade em *clusters* industriais (SANTOS; MAGRINI, 2018). Portanto, as relações de “ganha-ganha”, mediante diferentes produtores e empresas envolvidas na agroindústria podem ser ponto-chave no futuro próximo.

Os modelos de negócios de economia circular estão em estágio embrionário no Brasil e as organizações ainda possuem dificuldades em adotar práticas de economia circular, contudo já existem alguns casos de sucesso (SEHNEM *et al.*, 2019). A Empresa Brasileira de Compressores (EMBRACO), por exemplo, juntamente com o NatGenius busca beneficiar resíduos e equipamentos eletroeletrônicos no fim da vida útil, visando potencializar a geração de valor dos materiais para tornar matérias-primas para novos produtos (EMBRACO, 2017). Além disso, a Votorantim Cimentos atua no gerenciamento de resíduos industriais permitindo uma destinação adequada mediante o coprocessamento de alguns materiais (VOTORANTIM, 2017).

A CNI elaborou o Mapa Estratégico da Indústria 2018-2022, tendo em vista a economia circular como oportunidade para o uso mais eficiente dos recursos e aumento da competitividade da indústria (PORTAL DA INDÚSTRIA, 2018). O documento apresenta a gestão de resíduos como recursos de valor, como o plástico, aumentando a reciclagem desse material dos atuais 9,8% para 12,5% até 2022; o aumento de coleta e destinação adequada de resíduos urbanos, de 58,7% para 70% até 2022; e, o aumento do nível de prestação dos serviços de coleta de esgoto de 50,3% para 60% (PORTAL DA INDÚSTRIA, 2018).

As práticas de economia circular brasileira estão incipientes, mesmo assim, as organizações têm buscado inserir essa prática sustentável nas políticas das organizações e parece que estão obtendo benefícios, vantagens e aportes em uma trajetória sustentável. Contudo, como apontado pela BSI 8001 (2017), faltam estruturas práticas para ajudar as empresas em gerenciar os recursos, tornando-as, assim, mais circulares. Paralelo às práticas organizacionais, as pesquisas científicas parecem estar caminhando a passos lentos no Brasil, contudo espera-se que o tema ganhe representatividade em termos de estudos, publicações, eventos e discussões no futuro próximo.

3.3 INDICADORES DE ECONOMIA CIRCULAR

Inicialmente, defende-se o uso de indicadores quantitativos a fim de mensurar a circularidade de processos e organizações. Na literatura, diversos pesquisadores têm buscado explicar e questionar os indicadores de sustentabilidade. Para Bradley Guy e Kibert (1998) indicadores são valores ou parâmetros que proporcionam informações sobre um fenômeno. Para obtenção dos dados de um indicador é necessário um procedimento específico de medição ou observação (GALLOPIN, 1996). As principais funções dos indicadores refletem em avaliar condições, gerar opções de tendências, gerar comparabilidade em diferentes situações, promover a advertência (TUNSTALL, 1992), tornar visível um problema, sensibilizar o público, expandir as tomadas de decisões (DAHL, 2012), auxiliar na descrição de sistemas complexos, multifacetados e interdependentes (MCCOOL; STANKEY, 2004).

Os indicadores devem ser fáceis de usar, a fim de simplificar a comunicação de informações (BRADLEY GUY; KIBERT, 1998), e sua eficácia ocorre quando estão alinhados com os valores do seu público-alvo (DAHL, 2012). Os indicadores, portanto, podem ser um caminho para atingir um mundo mais sustentável.

Os indicadores de economia circular ou métricas para avaliar a circularidade ainda são escassos. Contudo, até então, não existe a padronização mundialmente usada de um método sistemático para mensurar a economia circular de produtos (LINDER; SARASINI; VAN LOON, 2017), logo, as exigências em providenciar indicadores mais amplos em termos de economia circular são recomendados (DI MAIO; REM, 2015; LINDER; SARASINI; VAN LOON, 2017).

Atualmente, uma ferramenta amplamente utilizada para auxiliar as organizações a mediar a transição para uma economia circular é a Fundação *Ellen MacArthur* (2013) nos níveis de produto e empresa, todavia, a métrica é incapaz de diferenciar entre os diferentes tipos de constituintes de produtos (LINDER; SARASINI; VAN LOON, 2017). Essa ferramenta apresenta o índice nomeado de Indicador Circular de Material que varia entre 0 e 1 em termos de materiais reutilizados, reciclados, origem e destino da matéria-prima. Para essa ferramenta, a crítica abordada por Saidani *et al.* (2017) reflete que não é suficiente avaliar a circularidade da empresa e vários componentes, além disso existem outros aspectos essenciais importantes que não foram considerados na ferramenta, como modularidade, atualização, conectividade e desmontagem. O escopo do Indicador Circular de Material é mais restrito do que a economia circular (SAIDANI *et al.*, 2017).

Além desta, a *Circular Economy Toolkit* (2019) avalia o produto em termos de circularidade, sendo uma ferramenta acessível, gratuita e online. O formulário de preenchimento apresenta questões para responder 'sim', 'parcial' ou 'não', em sete grandes categorias como: projetar, fabricar e distribuir; uso; reparo e manutenção; reutilização/redistribuição; remanufatura/remodelação; serviços; reciclagem de produtos no final da vida. Para Saidani *et al.* (2017) a ferramenta pode ser vista como superficial para abranger a complexidade real da economia circular, algumas questões podem levar a diferentes interpretações e como a escala é ternária, o hábito do usuário é colocar o cursor na resposta 'parcial'.

O indicador proposto pelos pesquisadores Griffiths e Cayzer (2016), disponível sob demanda (*Circular Economy Indicator Prototype* - CEIP), objetiva avaliar o desempenho ambiental de produtos a partir da economia circular, contendo um questionário de 15 perguntas em cinco estágios do ciclo de vida, desde a extração da matéria-prima até o fim de vida. Os resultados são gerados em uma planilha eletrônica, resultando no desempenho ambiental do produto. O sistema de pontuação binário pode ser bastante redutor na aplicação e as 15 questões fechadas podem negligenciar aspectos da economia circular (SAIDANI *et al.*, 2017).

Portanto, cada ferramenta apresenta suas potencialidades e limitações quanto à construção e aplicação. Elas fornecem uma visão rápida da organização ou do produto em termos de economia circular.

Além das ferramentas apresentadas e discutidas, algumas empresas de certificação, consultorias e pesquisadores têm buscado desenvolver práticas e

métricas mensuráveis direcionadas à economia circular. A *Cradle to Cradle Certified* (2019) com projetos nos Estados Unidos e Europa possui práticas voltadas para economia circular em certificar os fabricantes de produtos por meio de cinco categorias de qualidade, como saúde do material; reaproveitamento do material; energia renovável e descarbonização; gerenciamento da água; e, aspectos sociais. Semelhante a isso, a EASAC (2019) desenvolve contribuições científicas e consultorias independentes na Europa auxiliando decisões públicas em programas de energia, meio ambiente e biociência. E uma das publicações remete à elaboração de um indicador de circularidade contendo produto interno bruto, taxa de reciclagem, população, emissões de dióxido de carbono (CO₂) e fornecimento total de energia primária (EASAC, 2016).

Estudos científicos têm objetivado desenvolver meios para mensurar a economia circular. Um índice proposto por Di Maio e Rem (2015) pode auxiliar a sociedade a atingir os objetivos sociais, ambientais, econômicos e estratégicos. Direcionados a isso, os valores de produtos de fim de vida para gerar receita, criar empregos e, ao mesmo tempo, reduzir os impactos ambientais englobam a razão entre o valor material produzido pelo reciclador e o valor material que entra na instalação de reciclagem (DI MAIO; REM, 2015). Próximo a isso, Linder, Sarasini e Van Loon (2017) expõe a razão entre o valor econômico de produtos recirculados pelo valor econômico total dos produtos.

Inserindo-se na abordagem de normas para economia circular, a BSI 8001, inicialmente realizou uma pesquisa em meados de 2013 com mais de 200 padrões em áreas correlatas de gestão e prevenção de resíduos, contudo nenhum padrão formal focou completamente em economia circular (BSI 8001, 2019). Diante deste cenário, em 2017 a BSI elaborou um guia padrão com princípios, estratégias, aplicação e controle de questões voltadas para a economia circular que pode ser aplicado em qualquer tipo, tamanho e localização da organização (BSI 8001, 2017).

Por outro lado, algumas críticas estão sendo recorrentes quanto à publicação da Norma. As recomendações de Pauliuk (2018) para a Norma refletem que faltam orientações específicas nos estágios de desenvolvimento estratégico; as conexões são soltas de economia circular em termos de restauração de materiais; a aplicação não revela uma possível ligação entre Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e custos de fluxos de matérias; não é prevista uma análise de um especialista em ACV para a aplicação; o monitoramento ainda permanece vago e genérico.

De fato, os indicadores de economia circular parecem estar estagiando por fases iniciais. Não há dúvida que esforços estejam sendo unidos para aumentar modos de como mensurar a circularidade de processos, produtos, serviços e organizações. O setor público, empresas com e sem fins lucrativos e academia estão buscando contribuir com essas práticas sustentáveis que vêm crescendo ao longo dos últimos anos. Acompanhada pela nova abordagem de economia circular, as formas de gestão e mensuração são necessárias e, portanto, estão surgindo de forma gradativa.

Por isso, os indicadores de circularidade podem ser observados como importantes contribuintes diante do restrito portfólio existente. A ocorrência de críticas construtivas atua para a melhoria contínua dos indicadores/ferramentas e apoiam iniciativas para a elaboração de novas. A partir disso, um novo indicador de economia circular para processo e organização foi proposto. O indicador pode ser calculado em três níveis organizacionais (micro, meso e macro) como descrito sistematicamente na seção 2.2.2 (p. 26) e aplicado na seção 4.2 (p. 51).

3.4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DAS PRÁTICAS E MÉTRICAS EXISTENTES DE ECONOMIA CIRCULAR EM PROPRIEDADES RURAIS

Com base em uma revisão bibliográfica, os artigos encontrados foram selecionados conforme mencionado na seção 2.1.1 (p. 25). A busca dos trabalhos visou acompanhar as mudanças e evoluções ao longo do tempo, discutir a literatura da temática e identificar as lacunas de pesquisa.

Este trabalho apresenta o foco na temática de economia circular aplicado em propriedades rurais. Os estudos encontrados trazem à tona as nuances da temática em duas formas de apresentação. Mostram-se as diversas características dos estudos encontrados (ver Apêndice C), e uma análise descritiva foi feita a fim de organizar a literatura e trazer novas contribuições sobre o assunto. Os artigos estão identificados (ID), classificados e diferenciados no Quadro 3 (Apêndice C).

O Quadro 3 foi construído para diferenciar as características dos estudos encontrados na literatura e, assim, facilitar a discussão, histórico e possíveis tendências do assunto. Diversas áreas de atuação contemplam o uso de práticas de economia circular, como biogás, setor agroalimentar, refinaria de açúcar, produção de leite e diversos outros. Quanto aos tipos de estudos foram agrupados em duas

categorias distintas, como estudos de caso e artigos de revisão. Os estudos de caso contribuíram com cerca de 72% dos trabalhos encontrados e os de revisão com 28%.

Uma das características avaliadas nos documentos encontrados foram as instituições e os países de origem dos estudos. Não houve a identificação de expressivo histórico ou tendência em termos de instituição de pesquisa ou universidade. Já os países de elaboração dos documentos mostram-se mais assíduos em países europeus, como Holanda, Finlândia, Espanha e Itália, o que justifica as iniciativas de economia circular estarem presentes há mais tempo nesse continente e os atuais esforços estarem concentrados nessas localidades.

Os principais periódicos que estão publicando nesta temática foram *Journal of Cleaner Production*, *Journal of Industrial Ecology* e *Energy Procedia*, justificando o escopo desses periódicos aliado ao tema de economia circular. No aspecto editorial, a principal editora que vem publicando neste tema foi a Elsevier (com 53%) de todo o portfólio final desta revisão, seguida pela Springer, MDPI e Wiley, com 11% cada editora. Em termos do FI, o índice parte de zero (*Energy Procedia*) e atinge 9,184 (*Renewable and Sustainable Energy Reviews*).

Evidencia-se que vários autores têm elaborado pesquisas referentes à economia circular em propriedades agrícolas. Com o foco de caracterizar os principais avanços e resultados encontrados em diferentes contextos, revisões foram desenvolvidas nos últimos anos. Aproximadamente 28% dos estudos revisaram a literatura do tema, (DUMONT *et al.*, 2013; FERNANDEZ-MENA; NESME; PELLERIN, 2016; KRISTENSEN; KJELDSSEN; THORSØE, 2016; MOHAN *et al.*, 2016; NIELSEN, 2017; THEROND *et al.*, 2017; KOUGIAS; ANGELIDAKI, 2018; GRIMM; WÖSTEN, 2018; INGRAO *et al.*, 2018; ZABANIOTOU, 2018).

Nos estudos de revisão, Grimm e Wösten (2018) discutiram e apresentaram um pequeno modelo direcionado para economia circular diante das aplicações do substrato de cogumelos. Além destes, Ingrao *et al.* (2018) avaliaram o ciclo de vida da recuperação de resíduos alimentares em uma perspectiva de economia circular. No mesmo ano, uma revisão abrangente utilizando perspectivas e pequenos modelos da economia circular baseados nos aspectos da sustentabilidade foram avaliados por Zabaniotou (2018). Nielsen (2017) aplicou perspectivas de ecologia industrial em longo prazo. Uma abordagem alternativa desenvolvida por Xuan, Baotong e Hua (2011) discutiram a importância da rápida implementação de sistemas agro-circulares baseados nos princípios da política dos 3R's (reduzir, reutilizar e reciclar).

Com base na pesquisa desenvolvida por Therond *et al.* (2017) a economia circular está enraizada na ecologia industrial. Desta forma, os pesquisadores revisaram a literatura e discutiram uma estrutura analítica da diversidade de sistemas e modelos agrícolas. No ano anterior, um fluxograma holístico de uma biorrefinaria para aplicações com vários fins e uma revisão foi apresentada por Mohan *et al.* (2016). Na França, Fernandez-Mena, Nesme e Pellerin (2016) discutiram o tema e apresentaram fluxogramas de nutrientes, substâncias e materiais remetendo a aspectos de ecologia industrial na agroindústria. Ainda na Europa, Kougias e Angelidaki (2018) resumiram a literatura sobre a produção de biogás e apresentaram novas perspectivas voltadas ao processo de digestão anaeróbia.

A economia circular está presente em propriedades rurais em diversos segmentos de pecuária e agricultura. No caso da agricultura, diversas pesquisas foram desenvolvidas, como: cogumelos (GRIMM; WÖSTEN, 2018; PATRICIO *et al.*, 2018), agroalimentar (NIUTANEN; KORHONEN, 2003; PAGOTTO; HALOG, 2016; KRISTENSEN; KJELDSSEN; THORSØE, 2016; FERNANDEZ-MENA; NESME; PELLERIN, 2016), laticínios (GHISELLINI *et al.*, 2014; KILKIŞ; KILKIŞ, 2017), refinaria de açúcar (OMETTO; RAMOS; LOMBARDI, 2007; ZHU *et al.*, 2007).

Os fluxos de matérias e energia no setor agrícola são de particular relevância para a economia circular. Como apontado por Pagotto e Halog (2016) o ponto-chave é aumentar a eficiência e diminuir os resultados indesejados. Diante disso, a atuação na agricultura com o passar dos anos tem mudado a forma de plantar, colher e gerenciar os alimentos. Por isso, o cuidado com o uso de defensivos agrícolas, e a inserção de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) no solo tem sido tema de discussão e investigação por estudos científicos. A maioria dos países parece estar aplicando menos de 10 kg por hectare de terra de fertilizantes orgânicos e químicos, como N, P e K (TEN BERGE *et al.*, 2019).

Destacando os estudos direcionados para o Brasil, observa-se que não há expressiva incidência de desenvolvimentos de estudos nesta temática. Dois documentos foram encontrados e, em ambos, a simbiose industrial foi aplicada em uma biorrefinaria de cana de açúcar. Um estudo publicado recentemente por Santos e Magrini (2018) verificou uma rede de simbiose agroindustrial por meio de três fluxogramas de curto, médio e longo prazo em uma biorrefinaria e seu potencial de funcionamento na região norte do estado do Rio de Janeiro. Além deste, Ometto, Ramos e Lombardi (2007) mostraram que substituir combustíveis fósseis por bioálcool

nas atividades agrícola, pecuária e alimentar no cultivo de cana de açúcar aplicando o conceito de simbiose industrial foi positivo, a fim de garantir o retorno econômico, qualidade ambiental e crescimento social.

A abordagem de estudos de caso foi a mais recorrente entre os documentos encontrados. A este respeito, Vaneeckhaute *et al.* (2018) aplicaram a avaliação da sustentabilidade em biogás e biofertilizantes, utilizando a ACV, aspectos de viabilidade econômica e questionário sobre a percepção das partes interessadas dos biofertilizantes em forma de entrevista.

Outra temática bastante relevante é a reutilização de águas residuais em sistemas agrícolas. A reutilização da água contribui com o aspecto ambiental no fechamento de ciclo dentro de propriedades rurais. Para isso, alguns autores foram recorrentes na análise, como Maaß e Grundmann (2018), Molina-Moreno *et al.* (2017) e Nielsen (2017) utilizando a perspectiva de economia circular para reutilizar águas residuais na agricultura.

Maaß e Grundmann (2018) desenvolveram um fluxo na cadeia de valor para o reuso de água. No estudo de Molina-Moreno *et al.* (2017) os resultados mostram-se reduzidos no consumo de água em uma agroindústria de suínos, reduzidos no consumo de gás natural e maior geração de eletricidade por biogás. Já Nielsen (2017) apresentou a identidade, fisiologia e ecologia de microrganismos a fim de reduzir a pegada de carbono, otimizar a recuperação de águas residuais e aumentar a produção de bioenergia na agroindústria.

Além disso, a análise de distâncias em diferentes regiões na Finlândia para o transporte de dejetos animais para a geração de eletricidade por biogás foi desenvolvida por Tampio *et al.* (2017). No mesmo período, Blades *et al.* (2017) avaliaram o fornecimento de matéria-prima pela comunidade agrícola na Irlanda para gerar eletricidade por biogás e abastecer 22 fazendas para produção, transporte e processamento do leite. Ainda no mesmo ano, uma análise de custos e investimento inicial para instalação de um sistema de biodigestor em uma agroindústria de suínos na China foi aplicado por Chen *et al.* (2017).

A fim de fornecer informações e conhecimento sobre a perspectiva da economia circular em propriedades rurais, um estudo na Europa apresentou um resumo do projeto *AgroCycle* e a avaliação do potencial tecnológico de digestão anaeróbica de uma fazenda em pequena escala local (TOOP *et al.*, 2017). O projeto *AgroCycle* (2018) acontece na União Europeia e recebe investimento do programa

Horizonte 2020 relativo à reciclagem e valorização de resíduos do setor agroalimentar. Para atingir um nível de produção sustentável dos alimentos no campo é preciso de práticas sustentáveis na etapa de produção. Uma dessas práticas é incorporar no sistema agroindustrial cooperativista a economia circular.

Além disso, a pesquisa de Kilkiş e Kilkiş (2017) apresentou uma proposta abrangente em inovação pedagógica no aspecto energia-água-comida aplicando perspectivas de economia circular em uma indústria de laticínios. Os autores ainda propõem melhorias da economia circular na fazenda produtora de leite, como a instalação de placas solares e turbinas eólicas, e a utilização dos resíduos animais na digestão anaeróbia. Logo, as aplicações de economia circular podem tornar a produção agrícola mais sustentável e eficiente.

A aplicação da simbiose industrial em pequenas fazendas e a geração de um modelo de fluxos entre animais e peixes, produção de ração, sistema de digestor, mercado e casa do consumidor foi desenvolvido por Alfaro e Miller (2014). Os autores concluíram que a pesquisa pode resultar no crescimento de uma rede sustentável de agricultores em países menos desenvolvidos e subsidiar respostas às crescentes pressões sobre o meio ambiente e os sistemas alimentares.

A instalação de sistemas de biodigestores pode estar atrelada ao desenvolvimento sustentável. A destinação final de biomassa, gordura animal, resíduos agrícolas, esterco de animais, restos de alimentos e afins contribuem com o aspecto ambiental da sustentabilidade. Em termos econômicos, o biodigestor pode gerar biogás e este, por exemplo, gerar energia elétrica para ser utilizada na própria fazenda. Poderá, também, ser vendido para a rede de eletricidade ou, ainda, utilizar o sistema compensado. Além disso, o biogás pode ser purificado e transformado em biometano para abastecer veículos locais e de vizinhos, contribuindo com a redução nas emissões atmosféricas e redução na produção de combustíveis de origem fóssil.

A produção de biogás pode melhorar a segurança energética, juntamente com o portfólio de fontes de geração de energia renovável. Diferentemente da solar, que sofre por falta de meios para armazenar a energia, o gás de biorreatores é relativamente fácil de ser armazenado e traz benefícios ambientais (LYYTIMÄKI *et al.* 2018). A geração de combustíveis, o autocontrole da produção de energia elétrica e o aumento da cadeia de valor nos produtos (KOUGIAS; ANGELIDAKI, 2018) são contribuintes. Logo, fechar o ciclo em termos de material e energia é uma estratégia a fim de reduzir o potencial impacto ambiental (SALVADOR *et al.*, 2019).

Portanto, esta revisão procurou apresentar e relacionar algumas pesquisas atuantes em práticas de economia circular em propriedades agrícolas, além da associação das diversas características buscadas nos documentos (ver Apêndice C). A seção seguinte aprofunda a temática com análises e discussões.

3.5 DISCUSSÃO DE ECONOMIA CIRCULAR ASSOCIADA A PROPRIEDADES RURAIS

A área de atuação dos estudos encontrados no corpo da literatura mostrou-se mais assídua em relação à cadeia do biodigestor. As práticas estão associadas em fazer uso de matéria orgânica, como resíduos agrícolas, esterco de animais, restos de alimentos, resíduos urbanos e outros. A cadeia, a montante e a jusante do biodigestor apresentam importantes e positivos aspectos no prisma ambiental e econômico da sustentabilidade. A existência de um biodigestor em uma propriedade rural pode potencializar a geração de valor dos materiais contidos nessa cadeia. O fornecimento de matéria orgânica para esse processo auxilia na destinação correta, consciente e amigável ao meio ambiente.

Com isso, o biodigestor pode apresentar um leque de opções sustentáveis na geração de um material/produto, como biogás e biofertilizante. Tais opções estão relacionadas com a produção de biofertilizantes tendo como destino a aplicação na lavoura; a geração de energia elétrica para uso interno na propriedade e/ou inserção na rede de eletricidade; a transformação do biogás purificado em biocombustível, como o biometano; a produção de calor para uso em granjas, residências, escritórios, maquinários de secagem de grãos e outros.

Diante disso, o biodigestor pode ser considerado um processo estratégico no setor agrícola, pois a matéria-prima é proveniente de origem renovável e o produto gerado apresenta elevado valor agregado, econômico e ambiental. Grande parte dos pesquisadores está apontando caminhos e perspectivas de redirecionamento de resíduos e materiais a fim de promover e potencializar a economia circular no setor.

Em termos de pesquisas publicadas em periódicos de alto impacto observa-se que os esforços concretos estão sendo desenvolvidos com maior domínio em localidades do continente europeu. Não obstante, o tema vem sendo ampliado e ocupado por diferentes territórios ao redor do mundo. Seguindo nesse horizonte,

somente nos últimos anos, mais especificamente 2017, 2018 e 2019, a dedicação da abordagem de economia circular em termos de publicações está de fato crescendo.

A literatura apresenta que os documentos estão sendo publicados em maior quantidade nos últimos tempos, entretanto a temática propriamente dita não é nova. Atividades correlatas à economia circular existem há bastante tempo no Brasil e no mundo. As práticas de fechar o ciclo, trocar materiais e energia com processos internos, atuar em cooperação com propriedades vizinhas vêm sendo colocadas em prática desde a década de 70 com diversos termos e nomenclaturas, como por exemplo, 'Leis da Ecologia', seguindo para 'Simbiose Industrial' depois de alguns anos, 'Ecologia Industrial', até recentemente chegar no termo 'Economia Circular'. É possível que outras abordagens e desdobramentos dessa temática venham a surgir nos próximos anos.

Embora essa abordagem não seja recente, a mensuração de circularidade (e seus termos próximos) pode ser considerada atual. Diante desse cenário, alguns cálculos, indicadores, fórmulas e ferramentas têm sido elaborados e utilizados nos últimos anos a fim de mensurar qualitativamente e quantitativamente a circularidade de processos, produtos, organizações e serviços. Contudo, há uma carência de estruturas práticas no auxílio das organizações em gerenciar os materiais e torná-los circulares. Essas estruturas contemplam indicadores e ferramentas para auxiliar as organizações a determinar sua circularidade e de seus produtos.

Portanto, diante das lacunas de pesquisa e oportunidades para trabalhos futuros, foi proposta nesta dissertação uma nova ferramenta baseada em economia circular. A ferramenta foi aplicada em uma propriedade rural seguindo os resultados apresentados na próxima seção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados do trabalho contemplam uma ferramenta para promover a economia circular em propriedades rurais. Os resultados e discussões foram segregados em cinco vertentes, como segue. A primeira (seção 4.1) mostra os resultados quanto à ficha para coleta dados. A segunda (seção 4.2) apresenta os indicadores quantitativos de circularidade, contendo os índices de circularidade de todos os processos da propriedade rural e a circularidade em termos de material e energia elétrica nos níveis: propriedade, vizinhos e cooperativa agroindustrial. A terceira (seção 4.3) expõe a visualização gráfica circular aplicada na propriedade agrícola em termos de material e energia elétrica. A quarta (seção 4.4) destaca a integração e potenciais oportunidades da ferramenta. A quinta (seção 4.5) descreve os resultados deste estudo em relação aos ODS.

4.1 FICHA PARA COLETA DE DADOS

O formato da ficha para coleta de dados visou facilitar a tabulação, a aplicação dos resultados e a discussão. A propriedade apresenta diversos fluxos de material e energia elétrica que atravessam as fronteiras da unidade rural e outros permanecem dentro da organização. Nesse sentido, a organização compra diversos tipos de matéria-prima, transformando-os em diferentes materiais/produtos. Parte disso permanece circulando no sistema interno e parte atravessa as fronteiras para propriedades vizinhas, para a cooperativa agroindustrial (que a propriedade faz parte) e para o exterior da propriedade rural.

A propriedade apresenta mais de 40 fluxos de material e energia elétrica que estão circulando nos processos internos, nos vizinhos, na cooperativa e na externalidade. Os dados foram coletados de forma qualitativa e quantitativa de todas as entradas (suas origens) e saídas (seus destinos) da propriedade agrícola. Os fluxos de material estão apresentados em 11 diferentes processos, como: suinocultura, moagem e ensilagem, biodigestor, purificação, motor gerador, secador de grãos, secador de semente de gramínea, secador de feijão, lavoura, composto para a produção de cogumelo e transporte. Os fluxos de energia elétrica estão apresentados em nove diferentes processos, como: suinocultura, secador de grãos, secador de

semente de gramínea, secador de feijão, residências, composto para a produção de cogumelo, biodigestor, motor gerador e rede.

Todos os fluxos de material foram mensurados em massa (Ton/ano), e os fluxos de energia foram mensurados em eletricidade (kWh/ano). A descrição de todos os processos, os fluxos de entradas e saídas, os fornecedores e clientes, e as quantidades estão relatado no Apêndice B.

4.2 INDICADORES QUANTITATIVOS DE CIRCULARIDADE

Complementando os resultados do trabalho, o índice de circularidade proposto seguindo as Equações (1) e (2) descritos na seção 2.2.2 (p. 26) foi calculado, comentado e discutido nesta seção. A composição dos resultados foi baseada nas informações coletadas dos processos existentes da propriedade rural (ver Apêndice B).

4.2.1 Índice de Circularidade em Termos de Material

Para a mensuração em termos de material, utilizaram-se três tipos de níveis. O primeiro concentrou-se em calcular a circularidade da propriedade; no segundo foi calculada a circularidade englobando os limites da propriedade junto aos vizinhos; e, o terceiro nível de circularidade abrangeu a propriedade, os vizinhos e a cooperativa agroindustrial. Diante disso, a circularidade mensurada em material (Ton/ano) diante da circularidade de cada processo em diferentes limites de fronteiras pode ser observada na Tabela 2.

Os cálculos de circularidade aplicados na propriedade rural foram seguidos pelo indicador de processos utilizando a Equação (1), e pelo indicador de organização, utilizando a Equação (2), como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Cálculos de circularidade para processos e organização em termos de material para os três níveis

Processos	Nível 1 (propriedade)	Nível 2 (vizinhos)	Nível 3 (cooperativa)
Suinocultura	<i>Circ_p</i> : 51%	<i>Circ_p</i> : 51%	<i>Circ_p</i> : 51%
Moagem e ensilagem	<i>Circ_p</i> : 100%	<i>Circ_p</i> : 100%	<i>Circ_p</i> : 100%
Biodigestor	<i>Circ_p</i> : 99%	<i>Circ_p</i> : 100%	<i>Circ_p</i> : 100%
Purificação	<i>Circ_p</i> : 100%	<i>Circ_p</i> : 100%	<i>Circ_p</i> : 100%
Motor gerador	<i>Circ_p</i> : 100%	<i>Circ_p</i> : 100%	<i>Circ_p</i> : 100%
Secador de grãos	<i>Circ_p</i> : 81%	<i>Circ_p</i> : 81%	<i>Circ_p</i> : 100%
Secador de semente de gramínea	<i>Circ_p</i> : 58%	<i>Circ_p</i> : 60%	<i>Circ_p</i> : 100%
Secador de feijão	<i>Circ_p</i> : 56%	<i>Circ_p</i> : 56%	<i>Circ_p</i> : 56%
Lavoura	<i>Circ_p</i> : 87%	<i>Circ_p</i> : 95%	<i>Circ_p</i> : 100%
Composto para produção de cogumelo	<i>Circ_p</i> : 33%	<i>Circ_p</i> : 62%	<i>Circ_p</i> : 62%
Transporte	<i>Circ_p</i> : 51%	<i>Circ_p</i> : 51%	<i>Circ_p</i> : 51%
Outros internos	<i>Circ_p</i> : 100%	<i>Circ_p</i> : 100%	<i>Circ_p</i> : 100%
Circularidade total	<i>Circ_o</i>: 65%	<i>Circ_o</i>: 73%	<i>Circ_o</i>: 75%

Fonte: Autoria própria

Portanto, o índice de circularidade em termos de material da propriedade rural foi de 64%. Aplicando o indicador ao nível vizinhos, a circularidade aumenta mais 73% ao nível de cooperativa, 75%. Isso mostra que mais da metade de todos os materiais que adentram nos três níveis, permanecem recirculando no interior dos limites.

A circularidade mostrou que a propriedade possui elevado índice de economia circular mediante a troca e circulação de materiais. Apenas 36% dos materiais têm origem no externo e são destinados ao exterior da unidade agrícola. Essas trocas geram elevado nível de agregação de valor nos materiais, pois exigem fluxos de origem e destino em pequenas distâncias (dentro do limite da fazenda), geram redução na compra de matéria-prima e gastos com destinação de resíduos animais e agrícolas e, geram ainda, ações amigáveis ao meio ambiente.

Agregando os cálculos junto aos vizinhos, o indicador tende a aumentar a circularidade, devido à ocorrência de trocas (compra e venda) de materiais. Neste caso, o aumento da circularidade entre propriedade e vizinhos foi de 8%. O maior destaque vai para a atividade de compostos para a produção de cogumelo. Os vizinhos fornecem 5.100 Ton/ano e 4.500 Ton/ano de palha e cama de frango, respectivamente, para a atividade de compostos para a produção de cogumelo, e essa

atividade fornece aos vizinhos os compostos nas fases 1, 2 e 3, totalizando 1.584 Ton/ano (ver Apêndice B).

A circularidade junto à cooperativa também apresentou elevado nível, devido o englobamento da propriedade e seus vizinhos. Os maiores avanços estão nos processos de secador de grãos, secador de semente de gramínea e lavoura. Nos três casos, a circularidade atingiu 100% no nível 3, isto é, todos os materiais circulantes nos dois secadores e na lavoura compõem os limites junto à cooperativa agroindustrial.

4.2.2 Índice de Circularidade em Termos de Energia

Para o cálculo em termos de energia dos processos e da propriedade utilizou-se, respectivamente a Equação (1) e (2). Os processos apresentam conexões entre propriedade e rede, logo os indicadores em nível vizinhos (nível 2) e cooperativa (nível 3) não precisaram ser realizados.

A Tabela 3 apresenta os resultados aplicados em termos de energia elétrica.

Tabela 3 - Cálculos de circularidade para processos e organização em termos de energia elétrica para o nível 1

Processos	Nível 1 (propriedade)
Suinocultura	<i>Circ_p</i> : 67%
Secador de grãos	<i>Circ_p</i> : 0%
Secador de semente de gramínea	<i>Circ_p</i> : 30%
Secador de feijão	<i>Circ_p</i> : 45%
Residências	<i>Circ_p</i> : 28%
Composto para produção de cogumelo	<i>Circ_p</i> : 0%
Biodigestor	<i>Circ_p</i> : 100%
Motor gerador	<i>Circ_p</i> : 100%
Circularidade total	<i>Circ_o</i>: 25%

Fonte: Autoria própria

O índice de circularidade da propriedade em termos de energia elétrica resultou em 25% de circularidade. Os processos: biodigestor e motor gerador apresentam a circularidade de 100%, ou seja, toda a eletricidade necessária para o funcionamento do biodigestor é proveniente do motor gerador.

Outros processos, como suinocultura (67%), secador de semente de gramínea (30%), secador de feijão (45%) e residências (28%) apresentam uma circularidade intermediária, pois estas atividades utilizam energia elétrica proveniente do motor gerador e da rede de eletricidade (esses fluxos de energia podem estar mais visível na Figura 5 (p. 59).

Além disso, o secador de grãos e a atividade de composto para produção de cogumelo não estão conectadas no fornecimento pelo motor gerador, portanto, dependem exclusivamente da rede para o fornecimento de eletricidade e, por isso, a circularidade nula.

Os cálculos para os níveis 2 e 3 (nomeados de vizinhos e cooperativa, respectivamente), não foram realizados devido à não existência de troca de eletricidade com esses dois níveis. Para o fluxo de energia elétrica houve troca apenas dentro da propriedade e com a rede.

Aumentando a circularidade tanto de processos internos, quanto a nível organizacional (nível 1), vizinhos (nível 2) e cooperativa (nível 3) em termos de energia, pode haver contribuição para potencializar a agregação de valor interno, além de gerar vantagens nos aspectos ambientais e econômicos da propriedade.

Para esta análise, os fluxos externos podem ser considerados desvantajosos e contribuem para a redução da circularidade. Isso ocorre, pois o externo está localizado fora dos limites estipulados, logo as trocas de materiais não geram valor agregado para a propriedade, para os vizinhos e nem para a cooperativa, embora o externo, muitas vezes seja essencial para garantir a produção agrícola.

A compra de matéria-prima e a venda de produtos muitas vezes só podem ser feitas junto aos externos, pois a propriedade/cooperativa não possui meios de fabricar a matéria-prima e não tem mercado interno que compre o produto. Essa discussão pode levar a diferentes caminhos e novas conjunturas. Diante disso, limitações e oportunidades para pesquisas futuras são surgidas, como relatado nas seções 5.1 (p. 68) e 5.2 (p. 69), respectivamente.

4.3 VISUALIZAÇÃO GRÁFICA CIRCULAR

Devido à presença de diversos processos em diferentes quantidades de material e energia circulando na unidade rural, uma forma coerente de apresentar os

resultados foi a construção de gráficos circulares apresentado em diferentes tamanhos de fluxos e distintas cores, como podem ser vistos nas Figuras 4 (p. 56) e 5 (p. 59).

4.3.1 Gráfico Circular em Termos de Material

A propriedade apresenta 11 diferentes processos. Contudo, para construção da visualização gráfica (Figura 4), acrescentaram-se mais quatro processos que possuem trocas de materiais com a unidade rural, sendo eles: 'outros internos', 'vizinhos', 'cooperativa' e 'externo', totalizando, assim, 15 processos.

O processo nomeado de 'outros internos' representa alguns materiais que são extraídos ou consumidos na própria propriedade. Exemplos desses materiais: extração da lenha para uso no secador de grãos e secador de feijão, biogás utilizado no aquecimento das residências da propriedade, e consumo do diesel e biometano pelos veículos da unidade rural.

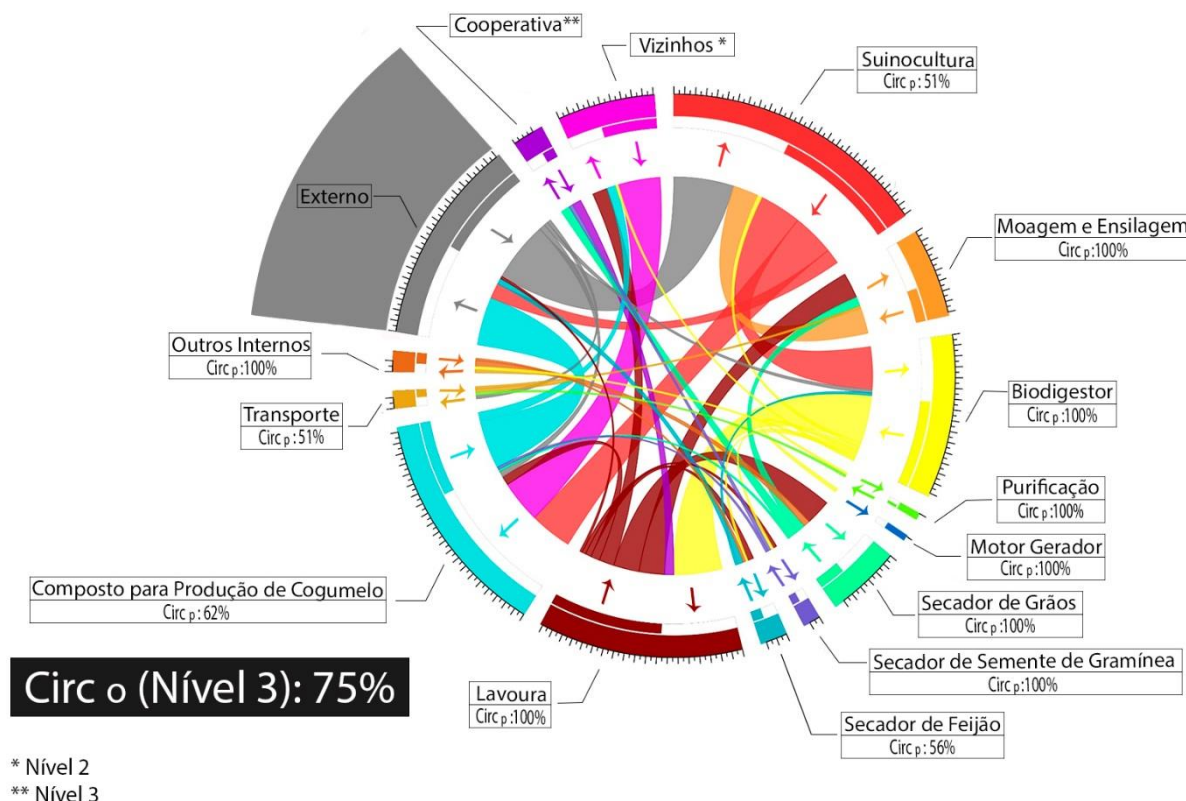
No processo nomeado de 'vizinhos' ocorre a compra e venda de materiais com propriedades agrícolas vizinhas.

O processo nomeado de 'cooperativa' representa os fluxos de materiais com origem ou destino à cooperativa agroindustrial da qual a propriedade rural faz parte.

O processo nomeado de 'externo' representa as subdivisões de todos os processos externos à propriedade. Esse processo representa os materiais de origem ou destino da propriedade em relação ao exterior dos limites da propriedade, podendo ser comprados (quando entram nos limites) ou vendidos (quando saem dos limites).

A Figura 4 apresenta a visualização gráfica contendo 15 processos em diferentes cores e fluxos, sendo mensurados em (Ton/ano) de acordo com o nível 3 (cooperativa). A visualização gráfica circular permite uma gestão de fluxos de fácil entendimento, logo os resultados tornam-se mais visíveis, facilitando assim, a tomada de decisão dos gestores do negócio.

Figura 4 - Gráfico circular aplicado em 15 processos na propriedade rural em termos de massa (Ton/ano) para o nível 3



Fonte: Autoria própria

O fluxo de saída é representado pela barra secundária (em menor espessura) em cada processo. O fluxo de entrada reflete o proporcional faltante (sem preenchimento) da barra secundária em cada processo. Observa-se, ainda, na Figura 4, que o balanço de massa (trocas físicas e biológicas com o meio ambiente) não foi considerado.

Os principais fluxos de entradas e saídas foram observados. O material de maior massa foi a água que sai da externalidade da propriedade e insere-se na suinocultura (21.900 Ton/ano). A água utilizada na suinocultura foi considerada como um material proveniente do meio externo da unidade rural. Embora esse material seja extraído de um poço artesiano dentro da propriedade, entende-se que o material é um item de sobrevivência e sua captação é proveniente da natureza.

O maior fluxo de materiais ocorre entre os processos (externo para suinocultura), como: farelo de soja, cevada, resíduos industriais, vitaminas e minerais e água, totalizando 24.370 toneladas por ano, sendo utilizado esse total para a alimentação e limpeza dos suínos. O biofertilizante é o segundo maior fluxo de material, com origem no biodigestor e destino na lavoura, totalizando 14.625 Ton/ano.

O terceiro maior fluxo representa os materiais utilizados para a produção de cogumelos, nomeado por fase 1, 2 e 3, totalizando um fluxo de 14.256 Ton/ano com origem no processo de composto para a produção de cogumelo e destino no externo da propriedade.

O efluente de suínos e animais mortos que tem origem na suinocultura e destino no biodigestor é representado pelo quarto maior fluxo com 11.632 toneladas por ano. Adiante, o efluente de suínos (11.582 Ton/ano) que sai da suinocultura e insere-se na atividade de composto para a produção de cogumelo, sendo representado pelo quinto maior fluxo. Além disso, o sexto maior fluxo, como palha e cama de frango, 5.100 e 4.500 toneladas por ano, respectivamente, são materiais que têm origem nos vizinhos e se destinam à atividade de composto para a produção de cogumelo.

Embora o biodigestor esteja atuando como atividade chave na propriedade, caso esse processo não existisse, os efluentes da suinocultura seriam destinados para a lavoura, e desta forma, nenhum resíduo da suinocultura seria perdido. Por outro lado, o biodigestor está contribuindo com agregação de valor nos materiais. A produção de biogás para a geração de eletricidade e a produção de biometano compõe um dos destinos de utilização. A eletricidade gerada é utilizada em processos da própria propriedade. O biometano abastece veículos da propriedade, dispensando assim, o uso de combustíveis de origem fóssil (diesel e gasolina).

Desta forma, a atuação da cadeia, a montante e a jusante do biodigestor está contribuindo com o meio ambiente e potencializando a circularidade desse processo e da propriedade. O biogás e biofertilizante representam fontes importantes e potenciais em alavancar ganhos ambientais e econômicos da propriedade, pois apresentam valor agregado. Com o biogás produzido é gerado calor, o qual é direcionado para o aquecimento da água para as maternidades e creches dos suínos (140 Ton/ano); para o secador de feijão (56 Ton/ano); para o secador de semente de gramínea (56 Ton/ano); para a purificação (11 Ton/ano) e, posteriormente, ser transformado em biometano; para o motor gerador (252 Ton/ano) e em eletricidade; para as residências da propriedade (28 Ton/ano) no uso do aquecimento de água para banho, aquecimento de piso e uso como gás de cozinha e, também, destinado para os vizinhos (56 Ton/ano). Além do biogás, a produção de biofertilizante pelo biodigestor é inserida na lavoura (14.625 toneladas por ano).

A redução dos desperdícios de produção pode gerar agregação de valor dos resíduos rurais e, conseqüentemente, vantagens econômicas. Observa-se ainda, que o manejo sustentável e o reaproveitamento de resíduos fazem parte da perspectiva ambiental da propriedade. Por isso, os fluxos interligados dentro da propriedade e ao redor dela podem ser considerados um dos pilares que sustentam a economia circular. Além disso, potencializar os fluxos de materiais dentro da propriedade, com os vizinhos e com a cooperativa pode contribuir com uma maior agregação de valor nos materiais, aumentando assim, questões econômicas e ambientais do sistema.

Portanto, o uso consciente dos recursos, a destinação correta dos rejeitos e a implementação de uma economia mais circular é ímpeto para um futuro mais sustentável.

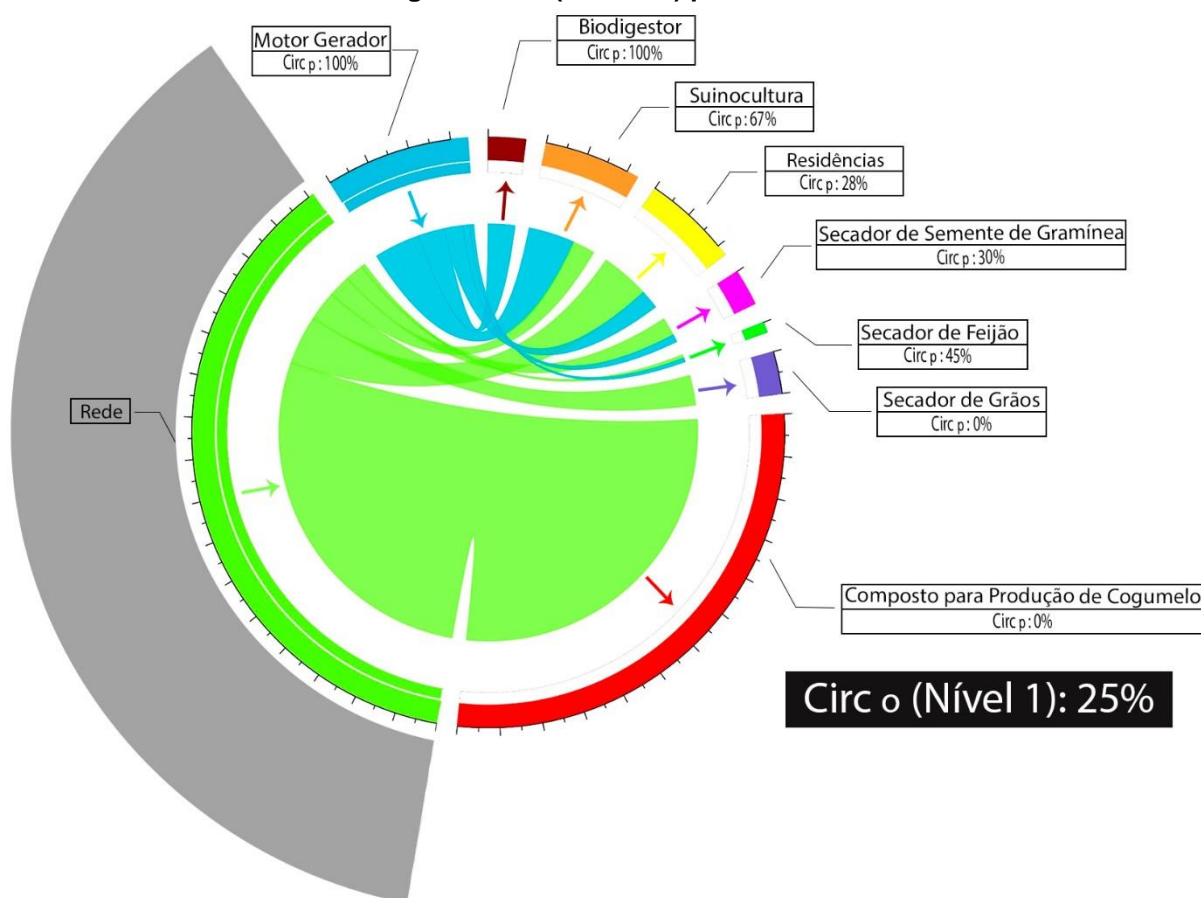
4.3.2 Gráfico Circular em Termos de Energia

Para a mensuração da circularidade em termos de energia elétrica, a propriedade possui fluxos em oito diferentes processos, como: suinocultura, secador de grãos, secador de semente de gramínea, secador de feijão, residências, composto para a produção de cogumelo, biodigestor e motor gerador, sendo todos mensurados em kWh/ano. Além disso, foi criado um processo nomeado de 'rede'.

Como descrito na seção 4.2.2 (p. 53), a propriedade rural é abastecida (em termos de energia elétrica) pela rede de eletricidade e pelo motor gerador. O biodigestor é totalmente abastecido pelo motor gerador (logo, a circularidade é 100%). O secador de grãos e a atividade de composto para a produção de cogumelo são os dois processos que apresentam a circularidade nula, pois são abastecidos somente pela rede de eletricidade.

A Figura 5 apresenta a visualização gráfica com os fluxos de energia em diferentes cores e quantidades para o nível 1. Em termos de energia elétrica, a propriedade não troca fluxos nem com os vizinhos e nem com a cooperativa, diante disso, o gráfico circular foi construído para o nível 1.

Figura 5 - Gráfico circular aplicado em nove processos na propriedade rural em termos de energia elétrica (kWh/ano) para o nível 1



Fonte: Autoria própria

Alguns processos foram mensurados anexados a outros, devido ao medidor de eletricidade ser unificado. Isso ocorreu para suinocultura, de modo que, nos processos de trituração, moagem e ensilagem o consumo de eletricidade foi considerado junto com a suinocultura. Além disso, no processo nomeado de 'residências' considerou-se o consumo de eletricidade de nove residências da propriedade, escritório, refeitório, oficina (utilizada para manutenção de equipamentos), e no sistema de abastecimento dos automóveis (bombas de combustível).

A rede de eletricidade e o motor gerador apresentam somente fluxos de saída, pois estes são responsáveis pela geração e fornecimento de eletricidade. Os outros processos são os receptores de eletricidade, apresentando fluxos de entrada.

A rede de eletricidade fornece energia elétrica para seis processos na propriedade, a saber: suinocultura, secador de grãos, secador de semente de gramínea, secador de feijão, residências e composto para a produção de cogumelo.

Este último processo exige o maior consumo de energia (848.546 kWh/ano) da propriedade, pois exige que maquinários e ventiladores fiquem ligados ininterruptamente ao longo do mês para a fabricação do composto de cogumelo. A suinocultura representa o segundo maior fluxo em termos de energia (183.240 kWh/ano), pois a unidade rural contabiliza aproximadamente 12.700 animais atualmente, utilizando-se da eletricidade para as bombas de captação de água de poço artesiano, bomba para lavagem da granja, sistema de iluminação, processo de trituração, moagem e ensilagem, e outros.

Analisando por uma abordagem aproximada, embora a unidade agrícola não seja autossuficiente na produção de eletricidade, observa-se que a geração interna consegue suprir aproximadamente a demanda anual do secador de feijão, suinocultura e do biodigestor. Nesta abordagem, a compra de eletricidade da rede seria para os processos: secador de grãos, secador de semente de gramínea, composto para a produção de cogumelo e residências.

Portanto, a análise por meio da visualização gráfica circular (em termos de energia elétrica) permitiu observar as rotas de energia que são utilizadas na propriedade rural.

O trabalho aponta iniciativas em redirecionar o fluxo de material e energia para permanecer dentro da propriedade, junto aos vizinhos ou anexado à cooperativa, podendo assim potencializar o índice de circularidade, gerar valor agregado internamente, gerando assim mais autonomia, independência e vantagem competitiva.

4.4 INTEGRAÇÃO E POTENCIAIS OPORTUNIDADES DA FERRAMENTA

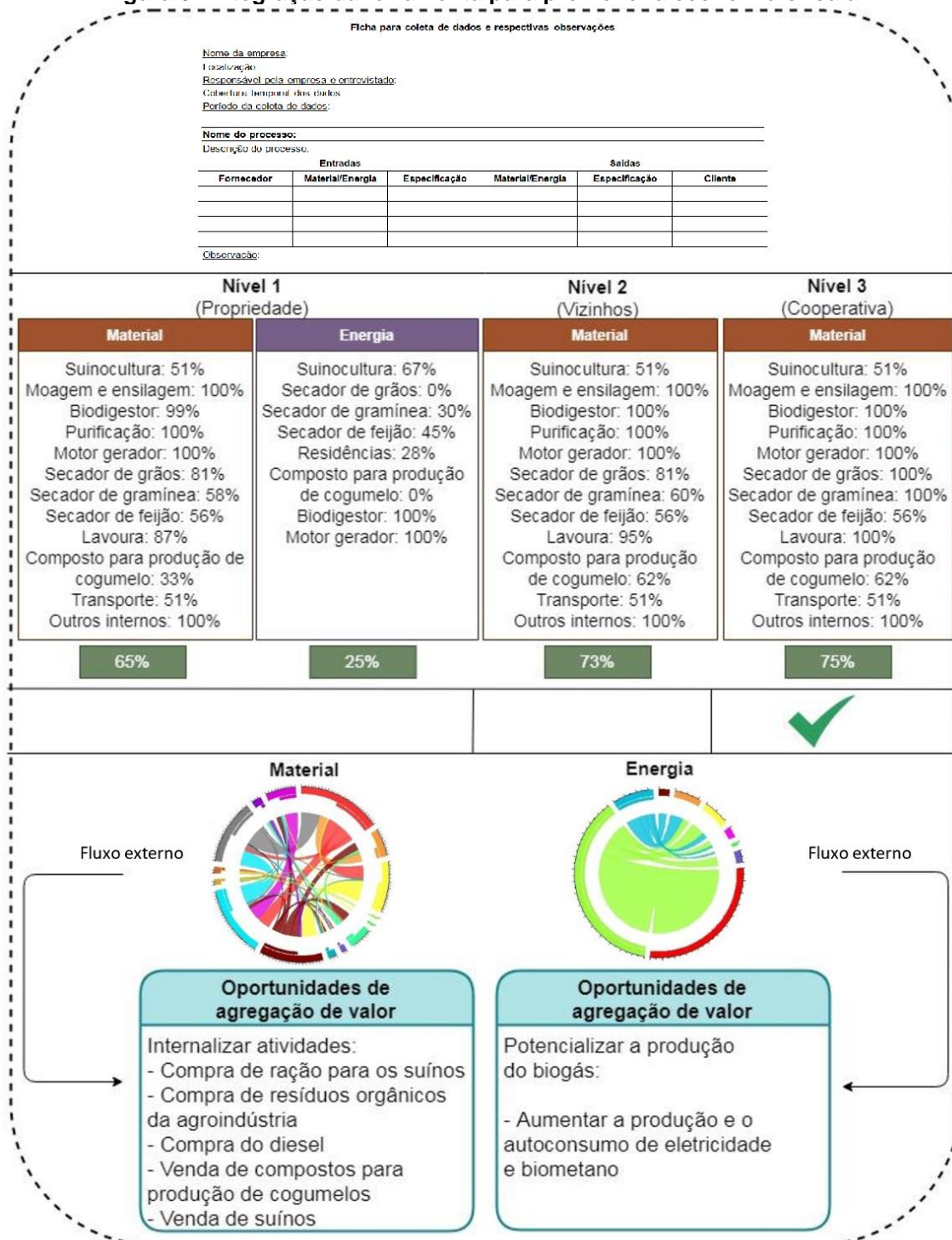
Inicialmente, a integração da ferramenta é apresentada na Figura 6.

A ferramenta para promover a economia circular é constituída de três vertentes: ficha para coleta de dados, indicadores quantitativos de circularidade e visualização gráfica circular. Além disso, os cálculos podem ser realizados em diferentes níveis, obtendo como resposta a circularidade (de processos e organizacional) de cada nível.

Após a aplicação dos dados, a ferramenta permite avaliar (por meio dos fluxos externos) as oportunidades de agregação de valor, ou seja, os materiais/energia que

são adquiridos ou vendidos para o exterior da propriedade apresentam oportunidades de internalização, gerando assim, mais vantagem competitiva, autonomia e independência.

Figura 6 - Integração da ferramenta para promover a economia circular



Fonte: Autoria própria

Em termos de material, as maiores oportunidades de internalizar os produtos podem ser observadas nos fluxos de entrada e saída no processo externo.

O maior fluxo de material do externo para a propriedade é representado pela água, parte da alimentação (farelo de soja, resíduos industriais e cevada), vitaminas e minerais, sendo proveniente do externo e direcionado para a suinocultura. Outros fluxos em menores quantidades compõem as entradas na propriedade rural proveniente da externalidade, como resíduos orgânicos da agroindústria que se insere no biodigestor; gesso em pó agrícola que entra na atividade de composto para a produção de cogumelo; e diesel que é comprado para abastecer os veículos. Neste caso, os maiores potenciais de gerar valor podem ocorrer caso esses materiais fossem internalizados com a cooperativa agroindustrial. Um caminho potencial seria que os resíduos orgânicos, gesso em pó agrícola e diesel fossem adquiridos da cooperativa.

Os materiais que têm origem na propriedade e destino à externalidade também podem ser observados. O principal material vendido são os compostos para a produção de cogumelos. O segundo maior fluxo representa a venda de suínos para frigoríficos externos à propriedade. Outros materiais, em menores quantidades, apresentam rotas que cruzam as fronteiras da propriedade para o externo, como a venda de feijão e a destinação de embalagem (de sementes, adubos e defensivos agrícolas) para reciclagem. Portanto, a venda dos compostos e dos animais para a cooperativa poderia potencializar a geração de valor interno, criando oportunidades de mercado, negócios e promovendo a economia circular do sistema.

Em termos de energia elétrica, as maiores oportunidades estão em potencializar a produção do biogás e, com isso, gerar mais eletricidade para abastecer a propriedade e biometano para abastecer os veículos. Além disso, a atuação com vizinhos e cooperativa pode promover a produção do biogás mediante a novos modelos de negócios com ênfase na gestão da geração e descarte de resíduos animais e agrícolas, fazendo a destinação desses materiais ao biodigestor.

Uma das principais oportunidades em internalizar os materiais está no consumo do diesel. Neste caso, o objetivo é ainda melhor que internalizar o diesel, mas sim, substituir pelo consumo de biometano, sendo um produto proveniente de fonte renovável e produzido dentro da propriedade. Sem dúvida, potencializar a produção do biometano pode resultar em vantagens econômicas e ambientais positivas.

Portanto, as maiores oportunidades estão ligadas com os fluxos de entrada e saída do processo externo, com isso, novos modelos de negócios podem surgir, além da valoração interna da propriedade, vizinhos e cooperativa. Por isso, a atuação em um conjunto de organizações, rede de empresas, cooperativas e afins pode contribuir com o potencial de agregação de valor interno nos materiais, gerando oportunidades de mercado, aumentando a economia circular e contribuindo com questões ambientais.

Diante da geração, estruturação e aplicação da ferramenta, foram obtidos os resultados da dissertação, contudo, uma comparação para o conjunto de outras pesquisas encontradas no corpo da literatura pode ser considerada limitado devido a diferenças nas características, no questionário e na elaboração dos indicadores de circularidade. Entretanto, dados do relatório da *Circle Economy* (2019) apresentado junto ao Fórum Econômico Mundial em Davos/Suíça em janeiro de 2019, mostram que a economia circular no mundo é de aproximadamente 9%, ou seja, o planeta reutiliza menos de 10% de combustíveis fósseis, metais e biomassa usados todos os anos em processos produtivos.

Embora a comparabilidade de circularidade entre as informações da *Circle Economy* (2019), e este estudo não seja proporcional, pode-se obter uma ideia do nível de circularidade que a cooperativa agroindustrial está apresentando. Em termos de material, 75% são circular e 25% não são circular no nível cooperativa. Nesse contexto, isso mostra que grande parte dos materiais está atuando em circulação no sistema, contribuindo com a economia circular.

Salienta-se que a economia circular de uma organização totalmente circular nem sempre é vantajoso. É necessário que outras abordagens econômicas e sociais sejam complementadas com o objetivo de gerar, de fato, uma economia circular de alta performance. Logo, nem sempre internalizar é vantajoso. Essa limitação reflete que não se pode generalizar que o maior índice de circularidade (100%) é melhor. Contudo, quanto maior a circularidade em nível de processo ou organizacional, a tendência é de gerar maior valor interno, mais vantagem competitiva e, conseqüentemente, menos resíduos.

Entende-se que, mediante a aplicação em uma propriedade rural (seus vizinhos e cooperativa agroindustrial que a propriedade está inserida) a ferramenta pode anunciar os efeitos, valores e vantagens do atual cenário da fazenda agrícola em termos de circularidade. O índice de circularidade de processos e da organização,

e, rotas com entradas e saídas em termos de material e energia (por meio da visualização gráfica circular) pode ser obtido mediante a aplicação da ferramenta. Os resultados, servem também, para a tomada de decisão a fim de impulsionar e encorajar a propriedade, vizinhos e cooperativa na atuação de internalizar materiais com o objetivo de tornar o negócio mais forte, competitivo e independente.

De forma integrada, a ferramenta apresentou uma nova proposta de mensuração de economia circular em termos de material e energia, e, visualização gráfica circular. A aplicação se concretizou em uma propriedade rural, atuando em rotas de entrada e saída com vizinhos e cooperativa agroindustrial. Contudo, a ferramenta não está livre de limitações e apresenta oportunidades para estudos futuros, relatadas nas seções 5.1 (p. 68) e 5.2 (p. 69), respectivamente.

4.5 DISCUSSÕES QUANTO AOS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Como apresentado na justificativa desta dissertação (seção 1.2, p. 17) os resultados da pesquisa estão vinculados no auxílio de alguns objetivos e metas elaborados a partir dos ODS (ONU, 2015).

O Objetivo nº 2 é auxiliado na promoção de alcançar a segurança alimentar e promover uma agricultura mais sustentável. Na propriedade rural, a expansão da lavoura e a atuação dos locais para estocar os grãos podem contribuir com algumas metas do ODS, como dobrar a produção agrícola até 2030, gerando oportunidades de agregação de valor e emprego no campo, além disso, auxiliar nas reservas de alimentos para tentar reduzir a volatilidade dos preços dos mesmos.

Quanto ao ODS nº 7, a propriedade agrícola, por meio do biogás pode gerar eletricidade e biocombustível proveniente de fonte limpa, auxiliando em algumas metas, como aumentar substancialmente as fontes renováveis na matriz energética mundial e dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética até 2030.

Seguindo nessa perspectiva, os resultados apresentados diante da propriedade estão apoiados no Objetivo nº 8 por meio da modernização tecnológica e inovação no campo, aumento da circulação de material e energia dentro da organização, potencializando com isso, a agregação de valor nos produtos e promovendo o crescimento econômico sustentável.

O Objetivo nº 12 está contribuindo com os resultados do estudo quanto à promoção de padrões de produção mais sustentável, diante de algumas metas, como atingir a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais, e reduzir potencialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso (mitigado pela atuação da economia circular nesta pesquisa).

Além disso, a contemplação de medidas para combater a mudança climática e seus impactos (Objetivo nº 13) faz parte das práticas encontradas na propriedade rural, tais como: integrar estratégias de manejo, destino e redução de resíduos animais e agrícolas; promover iniciativas de geração de energia elétrica limpa e produção de biocombustível.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante o desenvolvimento desta pesquisa, o objetivo geral de identificar potenciais oportunidades para agregação de valor a partir da internalização de fluxos externos para promover a economia circular em propriedades rurais foi atingido, juntamente com os objetivos específicos propostos.

Quanto ao primeiro objetivo específico, as práticas e métricas existentes de economia circular em propriedades rurais foram avaliadas e discutidas mediante uma revisão sistemática da literatura. No cenário global, as práticas de economia circular estão concentradas em aplicações e publicações encontradas em periódicos de alto impacto e com mais ênfase nos últimos anos. A maior relevância dessa atuação parece estar direcionada para países europeus e aplicados mais assiduamente na cadeia do biogás, atuando em práticas na geração de biofertilizante e eletricidade.

Os critérios e parâmetros de economia circular, associados a propriedades rurais foram atingidos pelo segundo objetivo específico. Nota-se que existem pesquisas científicas discutindo que é possível mensurar a circularidade de organizações, contudo, vantagens, limitações, forças e críticas são relatadas diante dos indicadores existentes. Algumas ferramentas e indicadores estão sendo desenvolvidos e aplicados no contexto de mensurar a circularidade. Contudo, cada um parece ser aplicado em determinado produto ou organização. Logo, existe uma carência de estruturas práticas a fim de auxiliar as organizações em gerenciar os materiais e torná-los mais circulares.

O terceiro objetivo específico foi alcançado mediante a estruturação da ferramenta proposta. Identificou-se na literatura que não existe mensuração de circularidade em processos e organizações em termos de material e energia e, com isso, uma nova ferramenta foi proposta atuando em três vertentes: a primeira pela ficha para coleta de dados em termos de fluxos de entradas, saídas e informações quantitativas; a segunda vertente resultou na elaboração de indicadores quantitativos para mensurar a circularidade em nível de processo e a nível organizacional; a terceira pela visualização gráfica circular contendo fluxos de entradas (e suas origens) e saídas (e seus destinos). Os indicadores podem resultar em uma escala de 0% a 100% de circularidade. Os indicadores, ainda, podem ser aplicados diante dos limites de fronteiras utilizados em cada análise, como a circularidade de uma organização, de um conjunto de organização, de uma rede de empresas e outros.

Quanto ao quarto objetivo específico, a ferramenta proposta foi aplicada em uma propriedade rural em termos de material (mensurado em Ton/ano) e energia elétrica (mensurado em kWh/ano). Para a mensuração de materiais, 15 processos (suinocultura, moagem e ensilagem, biodigestor, purificação, motor gerador, secador de grãos, secador de semente de gramínea, secador de feijão, lavoura, composto para a produção de cogumelo, transporte) e mais quatro processos foram adicionados, pois possuem fluxos de entradas e saídas com vizinhos, cooperativa e meio externo.

Ainda no quarto objetivo específico, em termos de eletricidade, oito processos foram utilizados, como suinocultura, secador de grãos, secador de semente de gramínea, secador de feijão, residências, composto para a produção de cogumelo, biodigestor e motor gerador. Além disso, foi criado o processo nomeado de 'rede', totalizando nove processos com fluxos de entradas e saídas de energia elétrica.

As potenciais oportunidades da ferramenta foram atingidas mediante ao quinto objetivo específico. A ferramenta serve para identificar as oportunidades para internalizar fluxos que possuem potencial de agregação de valor utilizando indicadores de economia circular e visualização gráfica. A ferramenta permite uma análise por processos/atividades, em termos de fluxos de entradas e saídas de material e energia. As quantidades que entram e saem dos processos podem ser calculadas e representar o nível de circularidade da organização. Com isso, tomadores de decisão podem atuar estrategicamente no prisma ambiental e econômico da sustentabilidade, a fim de, tornar o sistema produtivo mais circular.

O índice de circularidade foi calculado mediante o estabelecimento de limites de fronteiras. O primeiro cálculo mensurou o índice da unidade rural e resultou em 65% de circularidade em termos de material e 25% em energia elétrica. O segundo cálculo estabeleceu como limite de fronteira, a inclusão dos vizinhos da propriedade, resultando em 73% de circularidade em termos de material. O terceiro incluiu a propriedade, os vizinhos e a cooperativa agrícola no indicador de economia circular, resultando em 75% de circularidade em termos de material.

O impacto gerado nesta pesquisa pode auxiliar os aspectos em termos da sustentabilidade. Mediante a aplicação das práticas de economia circular, as ações ambientais amigáveis ao meio ambiente podem se tornar benéficas, como mitigar aspectos de mudanças climáticas, redirecionar fluxos externos para dentro da propriedade ou cooperativa, e gerar eletricidade e combustível proveniente de fonte renovável.

As contribuições econômicas podem ser destinadas em redução de custos de eletricidade e combustível, redução no desperdício de insumos e opções de investimentos a médio e longo prazo podem ser economicamente viáveis. Por meio da inserção de matérias no ciclo interno, vantagens econômicas e competitivas podem surgir. No prisma social, o aporte destina-se à geração de emprego e renda, oferecendo oportunidade para o desenvolvimento social e para a expansão regional.

5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Como qualquer indicador de sustentabilidade, as limitações existem. Os pontos fortes do indicador proposto remetem à facilidade quanto ao uso, simplicidade e transparência. Contudo, as limitações estão direcionadas em apresentar um indicador que avalie apenas o aspecto ambiental da sustentabilidade como uma métrica para avaliar a circularidade de material e energia. Os limites de fronteiras para a aplicação devem estar bem definidos e claros, para que os processos fora do limite da organização não sejam prejudicados no cálculo de circularidade.

Além disso, a aplicação do estudo na propriedade rural levou em conta informações mensuradas em base úmida. Nesse sentido, o balanço de massa e energia não foi considerado, tais como trocas físicas e biológicas com o sistema em termos de massa e energia.

A eficiência dos indicadores propostos (em termos de circularidade) pode ser representada por uma abordagem ambientalmente correta. Manter material e energia dentro dos limites propostos (organização, vizinhos ou rede de organização) contribuem com a geração de valor agregado, reduzem potenciais compras de matéria-prima e direciona caminhos eficientes de resíduos animais e agrícolas, embora essas contribuições podem não ser economicamente competitivas.

O transporte foi mensurado em termos de quantidade de diesel utilizado, contudo não foi efetuado o rateio entre os maquinários, equipamentos e veículos que são utilizados em cada processo devido à não existência de informações. Ademais, dados de emissões não foram mensurados.

A coleta de dados em termos de eletricidade representa o consumo histórico da propriedade, contudo alguns processos foram agrupados com outros, devido não haver informações de consumo separado por processo, logo pode haver informações

aproximadas em termos de kWh por ano. Além disso, algumas informações referentes aos materiais (mensurados em Ton/ano) podem representar dados aproximados com a realidade do que a propriedade compra, vende e produz.

Nem sempre internalizar é vantajoso. Essa limitação reflete que não se pode generalizar que o maior índice de circularidade (100%) é melhor. Contudo, quanto maior a circularidade em nível de processo ou organizacional, a tendência é de gerar maior valor interno, mais vantagem competitiva e, conseqüentemente, menos resíduos.

5.2 SUGESTÃO PARA ESTUDOS FUTUROS

Por meio do desenvolvimento desta dissertação, sugerem-se algumas oportunidades para continuidade na melhoria e aplicação da ferramenta em trabalhos futuros.

- Primeiramente, embora a ferramenta tenha sido aplicada em uma propriedade rural, espera-se e sugere-se que outros trabalhos possam fazer uso a fim de torná-la acessível e gerar comparabilidade dos resultados. A ferramenta pode ser replicada em qualquer processo ou organização que possua fluxos de material e energia.
- A elaboração de novos modelos de negócios circulares direcionados para o setor agro é importante para a transição de uma economia linear para circular, contribuindo assim, com ações de material e energia atuando em ciclo fechado, gerando maior agregação de valor interno.
- Sugere-se, ainda, uma análise mais profunda sobre uso de terras agrícolas e uso de fertilizantes como N, P e K.
- Ampliar o escopo da ferramenta para uma plataforma de análises múltiplas propriedades e/ou cooperativas compõe uma das oportunidades. Diante disso, espera-se que a ferramenta possa ser usada em outras unidades rurais e cooperativas agroindustriais. Outras propriedades e cooperados podem fazer uso da ferramenta com o objetivo de potencializar a circularidade do negócio rural.
- Além disso, a geração de novas informações em termos de atividade rural, processos, fluxos de material e energia em diferentes regiões do

estado, do país, e em intercooperativas podem compor a utilização da ferramenta e torná-la mais robusta.

- Nessa perspectiva, a padronização, a criação de uma certificação e o depósito de uma propriedade intelectual pode compor a ampliação do escopo da ferramenta.
- O estudo, ainda, pode ser aplicado como forma de complementar outras abordagens, como por exemplo, a ACV, a Avaliação do Custo de Ciclo de Vida, a Avaliação Social do Ciclo de Vida, a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida. A abordagem do ciclo de vida permite avaliar quantitativamente e cientificamente o quão sustentável é a circularidade de um sistema.
- Sugere-se uma análise horizontal de incremento de circularidade, ou seja, derivar um indicador complementar atuando somente com as entradas e com as saídas.
- Estende-se a ferramenta (e os indicadores) para vertentes nos aspectos econômicos e sociais da sustentabilidade. Acrescentar uma mensuração da circularidade em termos de custos e geração de valores agregados, mensurados monetariamente, pode potencializar ainda mais os produtos e determinar possíveis negócios e investimentos. Além disso, uma mensuração para o aspecto social a nível local e regional poderia contribuir com a geração de emprego, renda e desenvolvimento social.

REFERÊNCIAS

ABEPRO (Associação Brasileira de Engenharia de Produção). **Áreas e Sub-áreas de Engenharia de Produção**. 2008. Disponível em:

<http://www.abepro.org.br/interna.asp?p=399&m=424&s=1&c=362>. Acesso em 27 mai. 2018.

AGROCYCLE. **For Circular Economy**. 2018. Disponível em:

<http://www.agrocycle.eu/>. Acesso em 19 out. 2018.

ALFARO, J.; MILLER, S. Applying industrial symbiosis to smallholder farms: modeling a case study in Liberia, West Africa. **Journal of Industrial Ecology**, v. 18, n. 1, p. 145-154, 2014.

ALMEIDA, I. I.; SOBREIRA, A. E. A.; UCHÔA, L. R.; SANTOS, D. L.; FURTADO, R. M.; FERNANDES, C. N. V. Caracterização física de substrato utilizado no cultivo da abobrinha sob doses e tipos de biofertilizantes. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DE ÁGUA E SOLO, 2., 2017. **Anais...** Mossoró (RN), dez, 2017. Disponível em: <https://even3.blob.core.windows.net/anais/73288.pdf>. Acesso em 23 abr. 2019.

ALPTEKIN, E.; CANAKCI, M. Determination of the density and the viscosities of biodiesel-diesel fuel blends. **Renewable Energy**, v. 33, n. 12, p. 2623-2630, 2008.

BEKCHANOV, M.; MIRZABAEV, A. Circular economy of composting in Sri Lanka: opportunities and challenges for reducing waste related pollution and improving soil health. **Journal of Cleaner Production**, v. 202, p. 1107-1119, 2018.

BLADES, L.; MORGAN, K.; DOUGLAS, R.; GLOVER, S.; DE ROSA, M.; CROMIE, T.; SMYTH, B. Circular biogas-based economy in a rural agricultural setting. **Energy Procedia**, v. 123, p. 89-96, 2017.

BLÁZQUEZ, F. C.; GONZÁLEZ, A. G.; SÁNCHEZ, C. S.; RODRÍGUEZ, V. D.; SALCEDO, F. C. Waste valorization as an example of circular economy in extremadura (Spain). **Journal of Cleaner Production**, v. 181, p. 136-144, 2018.

BRADLEY GUY, G.; KIBERT, C. J. Developing indicators of sustainability: US experience. **Building Research & information**, v. 26, n. 1, p. 39-45, 1998.

BRASIL. Agromais. **Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. 2019. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/agromais/>. Acesso em 25 fev. 2019.

BSI 8001. **The rise of the circular economy**. The British Standards Institution. 2019. Disponível em: <https://www.bsigroup.com/en-GB/standards/benefits-of-using-standards/becoming-more-sustainable-with-standards/BS8001-Circular-Economy/>. Acesso em 15 abr. 2019.

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

CASAREJOS, F.; BASTOS, C. R.; RUFIN, C.; FROTA, M. N. Rethinking packaging production and consumption vis-à-vis circular economy: a case study of compostable cassava starch-based material. **Journal of Cleaner Production**, v. 201, p. 1019-1028, 2018.

CEPEA (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada). **Mercado de trabalho do agronegócio**. 2018. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/mercado-de-trabalho-do-agronegocio.aspx>. Acesso em 25 fev. 2019.

CHANDRA, R.; VIJAY, V. K.; SUBBARAO, P. M. V.; KHURA, T. K. Performance evaluation of a constant speed IC engine on CNG, methane enriched biogas and biogas. **Applied Energy**, v. 88, n. 11, p. 3969-3977. 2011.

CHEN, L.; CONG, R. G.; SHU, B.; MI, Z. F. A sustainable biogas model in China: The case study of Beijing Deqingyuan biogas project. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 78, p. 773-779, 2017.

CHERTOW, M. R. Industrial symbiosis: literature and taxonomy. **Annual Review of Energy and the Environment**, v. 25, n. 1, p. 313-337, 2000.

CIRCLE ECONOMY. **The Circularity Gap Report - 2019**. Disponível em: <https://www.circularity-gap.world/>. Acesso em 28 mai. 2019.

CIRCOS. **Circular genome data visualization**. 2016. Disponível em: <http://circos.ca/software/>. Acesso em 28 mai. 2019.

CIRCULAR ECONOMY TOOLKIT. **Resource for an Evolving World**. 2019. Disponível em: <http://circulareconomytoolkit.org/index.html>. Acesso em 13 mai. 2019.

CNI (Confederação Nacional da Indústria). **Sustentabilidade Industrial**. Informativo CNI, Ano 5, Número 2, junho de 2018. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/areas-de-atuacao/meio-ambiente-e-sustentabilidade/#tab-2>. Acesso em 04 set. 2018.

COMMONER, B. **The closing circle: nature, man and technology**. New York, A Knopf e book, p. 11-44, 1971.

CRADLE-TO-CRADLE CERTIFIED. **The Cradle to Cradle Certified™ Product Standard**. 2019. Disponível em: <https://www.c2ccertified.org/get-certified/product-certification>. Acesso em 13 mai. 2019.

CUTAIA, L.; SCAGLIARINO, C.; MENCHERINI, U.; IACONDINI, A. Industrial symbiosis in Emilia-Romagna region: results from a first application in the agroindustry sector. **Procedia Environmental Science, Engineering and Management**, v. 2, p. 11-36, 2014.

DAHL, A. L. Achievements and gaps in indicators for sustainability. **Ecological Indicators**, v. 17, p. 14-19, 2012.

DI MAIO, F.; REM, P.C. A robust indicator for promoting circular economy through recycling. **Journal of Environmental Protection**, v. 6, n. 10, p.1095-1104. 2015.

DONIA, E.; MINEO, A. M.; SGROI, F. A methodological approach for assessing business investments in renewable resources from a circular economy perspective. **Land Use Policy**, v. 76, p. 823-827, 2018.

DUMONT, B.; FORTUN-LAMOTHE, L.; JOUVEN, M.; THOMAS, M.; TICHIT, M. Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century. **Animal**, v. 7, n. 6, p. 1028-1043, 2013.

EASAC (The European Academies Science Advisory Council). **Indicators for a circular economy**. 2016. Disponível em: https://www.easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Circular_Economy/EASAC_Indicators_web_complete.pdf. Acesso em 17 abr. 2019.

EASAC (The European Academies Science Advisory Council). **Science advice for the benefit of Europe**. 2019. Disponível em: <https://easac.eu/>. Acesso em 16 abr. 2019.

EEA (European Environment Agency). **Circular Economy in Europe**. EEA Report Nº 2/2016. 2016. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/publications/circular-economy-in-europe>. Acesso em 15 abr. 2019.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards a circular economy-economic and business rationale for an accelerated transition**. Ellen MacArthur Foundation: Cowes, UK, 2013. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>. Acesso em 25 fev. 2019.

EMBRACO. **Relatório de Sustentabilidade: Embraco 2015 & 2016**. 2017. 28 p. Disponível em: http://www.embraco.com/DesktopModules/DownloadsAdmin/Arquivos/20180208_Embraco2016_PT.pdf. Acesso em 25 abr. 2019.

ERKMAN, S. Industrial ecology: a new perspective on the future of the industrial system. **Swiss medical weekly**, v. 131, n. 37-38, p. 531-538, 2001.

EUROPEAN COMMISSION. **The common agricultural policy at a glance**. 2018. Disponível em: https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/cap-glance_en#thecapinpractice. Acesso em 25 abr. 2019.

EUROPEAN COUNCIL (Council of the European Union). **Waste management and recycling: Council adopts new rules**. 2018. Disponível em: <http://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2018/05/22/waste-management-and-recycling-council-adopts-new-rules/>. Acesso em 04 set. 2018.

FAO (Food and Agriculture Organization). **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/about/what-we-do/pt/>. Acesso em 20 fev. 2019.

FERNANDEZ-MENA, H.; NESME, T.; PELLERIN, S. Towards an Agro-Industrial Ecology: a review of nutrient flow modelling and assessment tools in agro-food systems at the local scale. **Science of the Total Environment**, v. 543, p. 467-479, 2016.

FROSCH, R. A. Industrial ecology: a philosophical introduction. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 89, n. 3, p. 800-803, 1992.

GALLOPIN, G. C. Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A systems approach. **Environmental Modeling & Assessment**, v. 1, n. 3, p. 101-117, 1996.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 114, p. 11-32, 2016.

GHISELLINI, P.; PROTANO, G.; VIGLIA, S.; GAWORSKI, M.; SETTI, M.; ULGIATI, S. Integrated agricultural and dairy production within a circular economy framework. A comparison of Italian and Polish farming systems. **Journal of Environmental Accounting and Management**, v. 2, n. 4, p. 367-384, 2014.

GRANT, G. B.; SEAGER, T. P.; MASSARD, G.; NIES, L. Information and communication technology for industrial symbiosis. **Journal of Industrial Ecology**, v. 14, n. 5, p. 740-753, 2010.

GRIFFITHS, P.; CAYZER, S. Design of indicators for measuring product performance in the circular economy. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE DESIGN AND MANUFACTURING, 2016. **Anais...** Springer, Cham, p. 307-321, 2016.

GRIMM, D.; WÖSTEN, H. A. B. Mushroom cultivation in the circular economy. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 102, n. 18, p. 7795-7803, 2018.

GU, Z.; GU, L.; EILS, R.; SCHLESNER, M.; BRORS, B. Circlize implements and enhances circular visualization in R. **Bioinformatics**, v. 30, n. 19, p. 2811-2812, 2014.

HENRY, R. C.; ENGSTRÖM, K.; OLIN, S.; ALEXANDER, P.; ARNETH, A.; ROUNSEVELL, M. D. A. Food supply and bioenergy production within the global cropland planetary boundary. **PloS one**, v. 13, n. 3, p. e0194695, 2018.

HERCZEG, G.; AKKERMAN, R.; HAUSCHILD, M. Z. Supply chain collaboration in industrial symbiosis networks. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 1058-1067, 2018.

IBGE. **Cidades - município de Castro**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/castro/pesquisa/18/16459?indicador=16559&tipo=ranking>. Acesso em 26 fev. 2019.

INGRAO, C.; FACCILONGO, N.; DI GIOIA, L.; MESSINEO, A. Food waste recovery into energy in a circular economy perspective: a comprehensive review of aspects related to plant operation and environmental assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 184, p. 869-892, 2018.

KILKIŞ, Ş.; KILKIŞ, B. Integrated circular economy and education model to address aspects of an energy-water-food nexus in a dairy facility and local contexts. **Journal of Cleaner Production**, v. 167, p. 1084-1098, 2017.

KOUGIAS, P. G.; ANGELIDAKI, I. Biogas and its opportunities-A review. **Frontiers of Environmental Science & Engineering**, v. 12, p. 1-12, 2018.

KRISTENSEN, D. K.; KJELDSSEN, C.; THORSØE, M. H. Enabling sustainable agro-food futures: exploring fault lines and synergies between the integrated territorial paradigm, rural eco-economy and circular economy. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**, v. 29, n. 5, p. 749-765, 2016.

KUISMA, M.; KAHILUOTO, H. Biotic resource loss beyond food waste: agriculture leaks worst. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 124, p. 129-140, 2017.

LINDER, M.; SARASINI, S.; VAN LOON, P. A metric for quantifying product-level circularity. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 545-558, 2017.

LONCA, G.; MUGGÉO, R.; IMBEAULT-TÉTREAU, H.; BERNARD, S.; MARGNI, M. Does material circularity rhyme with environmental efficiency? Case studies on used tires. **Journal of Cleaner Production**, v. 183, p. 424-435, 2018.

LYLE, J. T. **Regenerative design for sustainable development**. John Wiley & Sons. New York, 1994.

LYYTIMÄKI, J.; NYGRÉN, N. A.; PULKKA, A.; RANTALA, S. Energy transition looming behind the headlines? Newspaper coverage of biogas production in Finland. **Energy, Sustainability and Society**, v. 8, n. 1, p. 15, 2018.

MAAß, O.; GRUNDMANN, P. Governing transactions and interdependences between linked value chains in a circular economy: the case of wastewater reuse in Braunschweig (Germany). **Sustainability**, v. 10, n. 4, p. 1125, 2018.

MCCOOL, S. F.; STANKEY, G. H. Indicators of sustainability: challenges and opportunities at the interface of science and policy. **Environmental Management**, v. 33, n. 3, p. 294-305, 2004.

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. **Remaking the way we make things**: Cradle to cradle. New York, 104 p., 2002.

MEYFROIDT, P. Trade-offs between environment and livelihoods: Bridging the global land use and food security discussions. **Global Food Security**, v. 16, p. 9-16, 2018.

MOHAN, S. V.; NIKHIL, G. N.; CHIRANJEEVI, P.; REDDY, C. N.; ROHIT, M. V.; KUMAR, A. N.; SARKAR, O. Waste biorefinery models towards sustainable circular bioeconomy: critical review and future perspectives. **Bioresource technology**, v. 215, p. 2-12, 2016.

MOLINA-MORENO, V.; LEYVA-DÍAZ, J.; LLORENS-MONTES, F.; CORTÉS-GARCÍA, F. 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.

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

NIELSEN, P. H. Microbial biotechnology and circular economy in wastewater treatment. **Microbial biotechnology**, v. 10, n. 5, p. 1102-1105, 2017.

NIUTANEN, V.; KORHONEN, J. Industrial ecology flows of agriculture and food industry in Finland: utilizing by-products and wastes. **The International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 10, n. 2, p. 133-147, 2003.

NOYA, I.; ALDEA, X.; GONZÁLEZ-GARCÍA, S.; GASOL, C. M.; MOREIRA, M. T.; AMORES, M. J.; MARÍN, D.; BOSCHMONART-RIVES, J. 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.

O'ROURKE, D.; CONNELLY, L.; KOSHLAND, C. Industrial ecology: a critical review. **International Journal of Environment and Pollution**, v. 6, n. 2/3, p. 89-112, 1996.

OMETTO, A. R.; RAMOS, P. A. R.; LOMBARDI, G. The benefits of a Brazilian agro-industrial symbiosis system and the strategies to make it happen. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 13-14, p. 1253-1258, 2007.

ONU. **17 Metas para transformar o mundo**. 2015. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>. Acesso em 08 mar. 2019.

PAGOTTO, M.; HALOG, A. Towards a circular economy in Australian agri-food industry: an application of input-output oriented approaches for analyzing resource efficiency and competitiveness potential. **Journal of Industrial Ecology**, v. 20, n. 5, p. 1176-1186, 2016.

PAINI, D. R.; SHEPPARD, A. W.; COOK, D. C.; DE BARRO, P. J.; WORNER, S. P.; THOMAS, M. B. Global threat to agriculture from invasive species. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 27, p. 7575-7579, 2016.

PATRICIO, J.; AXELSSON, L.; BLOMÉ, S.; ROSADO, L. Enabling industrial symbiosis collaborations between SMEs from a regional perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 202, p. 1120-1130, 2018.

PAULIUK, S. Critical appraisal of the circular economy standard BS 8001: 2017 and a dashboard of quantitative system indicators for its implementation in organizations. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 129, p. 81-92, 2018.

PIERIE, F.; DSOUZA, A.; VAN SOMEREN, C.; BENDERS, R.; VAN GEMERT, W.; MOLL, H. Improving the sustainability of farming practices through the use of a symbiotic approach for anaerobic digestion and digestate processing. **Resources**, v. 6, n. 4, p. 50, 2017.

PORTAL DA INDÚSTRIA. **Economia circular traz oportunidades para avanço da agenda da sustentabilidade no Brasil**. 2018. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/cni/canais/mapa-estrategico-da-industria/reportagem-especial/capitulo-6-economia-circular-traz-oportunidades-para-avanco-da-agenda-da-sustentabilidade-no-brasil/>. Acesso em 25 fev. 2019.

RENAULT. **Relatório de Sustentabilidade**: Renault do Brasil. 2018. 86 p. Disponível em: http://institutorenault.com.br/relatorio_sustentabilidade/index/. Acesso em 29 abr. 2019.

RENNER. **Relatório Anual**. 2018. 142 p. Disponível em: <https://www.lojasrennersa.com.br/conteudo/relatorio-anual-lojas-renner-2018>. Acesso em 29 abr. 2019.

SAIDANI, M.; YANNOU, B.; LEROY, Y.; CLUZEL, F. 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, R.; BARROS, M. V.; DO ROSÁRIO, J. G. D. P.; PIEKARSKI, C. M.; DA LUZ, L. M.; DE FRANCISCO, A. C. Life cycle assessment of electricity from biogas: A systematic literature review. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, 2019.

SANTOS, V. E. N.; MAGRINI, A. Biorefining and industrial symbiosis: A proposal for regional development in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 177, p. 19-33, 2018.

SEHNEM S. Circular business models: babbling initial exploratory. **Environmental Quality Management**, v. 28, n. 3, p. 83-96, 2019.

SEHNEM, S.; CAMPOS, L. M.; JULKOVSKI, D. J.; CAZELLA, C. F. Circular business models: level of maturity. **Management Decision**, v. 57, n. 4, p. 1043-1066, 2019.

SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambiente & Sociedade**, p. 137-148, 2007

TAMPIO, E.; LEHTONEN, E.; KINNUNEN, V.; MÖNKÄRE, T.; ERVASTI, S.; KETTUNEN, R.; RASI S.; RINTALA, J. A demand-based nutrient utilization approach to urban biogas plant investment based on regional crop fertilization. **Journal of Cleaner Production**, v. 164, p. 19-29, 2017.

TEN BERGE, H. F.; HIJBEEK, R.; VAN LOON, M. P.; RURINDA, J.; TESFAYE, K.; ZINGORE, S.; CRAUFURDE, P.; VAN HEERWAARDEN, J.; BRENTROP, F.; SCHRÖDER, J. J.; BOOGAARD, H. L.; DE GROOTG, H. L. E.; VAN ITTERSUM, M. K. Maize crop nutrient input requirements for food security in sub-Saharan Africa. **Global Food Security**, v. 23, p. 9-21, 2019.

THEROND, O.; DURU, M.; ROGER-ESTRADE, J.; RICHARD, G. A new analytical framework of farming system and agriculture model diversities. a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 37, n. 3, p. 21, 2017.

TOOP, T. A.; WARD, S.; OLDFIELD, T.; HULL, M.; KIRBY, M. E.; THEODOROU, M. K. AgroCycle-developing a circular economy in agriculture. **Energy Procedia**, v. 123, p. 76-80, 2017.

TROKANAS, N.; CECELJA, F.; RAAFAT, T. Semantic input/output matching for waste processing in industrial symbiosis. **Computers & Chemical Engineering**, v. 66, p. 259-268, 2014.

TUNSTALL, D. B. Developing environmental indicators: definitions, frameworks, and issues. **World Resources Inst.**, Washington, DC (EUA), 1992.

USDA. **Departamento de Agricultura dos Estados Unidos**. 2019. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/regions/brazil>. Acesso em 26 fev. 2019.

VANEECKHAUTE, C.; STYLES, D.; PRADE, T.; ADAMS, P.; THELIN, G.; RODHE, L.; GUNNARSSON, I.; D'HERTEFELDT, T. Closing nutrient loops through decentralized anaerobic digestion of organic residues in agricultural regions: a multi-dimensional sustainability assessment. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 136, p. 110-117, 2018.

VEGA-QUEZADA, C.; BLANCO, M.; ROMERO, H. Synergies between agriculture and bioenergy in Latin American countries: a circular economy strategy for bioenergy production in Ecuador. **New Biotechnology**, v. 39, p. 81-89, 2017.

VOTORANTIM. **Relatório integrado 2017**: Votorantim Cimentos. 2017. 60 p. Disponível em: <https://www.votorantimcimentos.com.br/wp-content/uploads/2017/08/relatorio-integrado-2017-versao-completa-min.pdf>. Acesso em 30 abr. 2019.

XUAN, L. I.; BAOTONG, D. E. N. G.; HUA, Y. E. The research based on the 3-R principle of agro-circular economy model-the Erhai lake basin as an example. **Energy Procedia**, v. 5, p. 1399-1404, 2011.

ZABANIOTOU, A. Redesigning a bioenergy sector in EU in the transition to circular waste-based Bioeconomy-A multidisciplinary review. **Journal of Cleaner Production**, v. 177, p. 197-206, 2018.

ZHAO, R.; LIU, Y.; ZHANG, Z.; GUO, S.; TSENG, M. L.; WU, K. J. Enhancing eco-efficiency of agro-products' closed-loop supply chain under the belt and road initiatives: a system dynamics approach. **Sustainability**, v. 10, n. 3, p. 668, 2018.

ZHU, Q.; LOWE, E. A.; WEI, Y. A.; BARNES, D. Industrial symbiosis in China: a case study of the Guitang Group. **Journal of Industrial Ecology**, v. 11, n. 1, p. 31-42, 2007.

APÊNDICE A - Modelo da ficha para coleta de dados e respectivas observações

Ficha para coleta de dados e respectivas observações

Nome da empresa:

Localização:

Responsável pela empresa e entrevistado:

Cobertura temporal dos dados:

Período da coleta de dados:

Nome do processo:

Descrição do processo:

Entradas			Saídas		
Fornecedor	Material/Energia	Especificação	Material/Energia	Especificação	Cliente

Observação:

APÊNDICE B - Ficha para coleta de dados e respectivas observações da propriedade rural

Ficha para coleta de dados e respectivas observações

Tipo de empresa: Propriedade rural

Localização: Castro - PR

Entrevistado: Proprietário da propriedade

Cobertura temporal dos dados: 2018

Período da coleta de dados: Janeiro a Abril de 2019

Nome do processo: Suinocultura

Descrição do processo: A suinocultura consiste na criação de porcos (genética *topigs*) de ciclo completo. Os animais são mantidos em confinamento a uma temperatura controlada. A alimentação dos suínos consiste em aproximadamente 51% de milho (tipo 1 úmido), 13% de milho (tipo 1 seco), 20% de farelo de soja (apresentando de 44% a 46% de proteína), 5% de núcleo (vitaminas e minerais), 5% de cevada (resíduos de cervejaria), e 5% de resíduos industriais (pizza). Atualmente a propriedade possui cerca de 12.700 suínos, contando com aproximadamente 14.000m² de área destinada a criação. O abate anual é de aproximadamente 25.000 animais. O peso médio de abate é de 100 kg. O milho úmido sai da lavoura e passa pelo processo de moagem e ensilagem (silo trincheira) antes da suinocultura. O milho seco passa pelo processo de secagem de grãos e posteriormente é encaminhado para o processo de moagem e ensilagem, antes da suinocultura. O farelo de soja é comprado de uma empresa a uma distância de aproximadamente 50 km da propriedade. O transporte do farelo é feito por caminhão da propriedade rural. A cevada é comprada em cervejarias a uma distância de aproximadamente 70 km da propriedade, sendo que o transporte é realizado pelas cervejarias. Os resíduos industriais são comprados em uma empresa fabricante de alimentos a distância de aproximadamente 50 km da propriedade. O transporte é realizado pela propriedade. Vitaminas e minerais são adquiridos em um fornecedor a uma distância de 300 km, via transporte fornecedor. A água usada na suinocultura é extraída de um poço artesiano da propriedade. O biogás utilizado nesse processo serve para aquecimento da água, e com isso ocorre o aquecimento do piso da maternidade e creches dos suínos. Os animais vivos são vendidos para frigoríficos a uma distância entre 150 a 500 km da propriedade, utilizando transporte do cliente. Os animais mortos são triturados e inseridos no biodigestor. As embalagens de vitaminas e minerais descartadas são encaminhadas para o processo de reciclagem. Os efluentes de suínos são destinados 50% para a atividade de composto para a produção de cogumelo e 50% para o biodigestor.

Entradas			Saídas		
Fornecedor	Material/Energia	Especificação	Material/Energia	Especificação	Cliente
Moagem e ensilagem	Milho	5.383 Ton/ano	Animais vivos	2.800 Ton/ano	Externo
Externo	Farelo de soja	1.200 Ton/ano	Animais mortos	50 Ton/ano	Biodigestor
Externo	Cevada	480 Ton/ano	Embalagens de vitaminas e minerais	12 Ton/ano	Externo
Externo	Resíduos industriais	480 Ton/ano	Efluente de suínos	11.582 Ton/ano	Composto para a produção de cogumelo
Externo	Vitaminas e minerais	310 Ton/ano	Efluente de suínos	11.582 Ton/ano	Biodigestor
Externo	Água	60.000 L/dia (21.900 Ton/ano)			
Biodigestor	Biogás	126.121 m ³ /ano (140 Ton/ano)			
Rede	Eletricidade	183.240 kWh/ano			

Observação: A suinocultura avaliada nesta pesquisa representa dados de três propriedades de suínos do mesmo proprietário que estão localizadas em fazendas próximas. A água e as embalagens de vitaminas e minerais utilizados na suinocultura, para a aplicação na ferramenta, foram considerados como externalidade. Os processos de trituração, moagem e ensilagem compõe o consumo de eletricidade da suinocultura.

Ficha para coleta de dados e respectivas observações

Tipo de empresa: Propriedade rural

Localização: Castro - PR

Entrevistado: Proprietário da propriedade

Cobertura temporal dos dados: 2018

Período da coleta de dados: Janeiro a Abril de 2019

Nome do processo: Moagem e ensilagem

Descrição do processo: A moagem corresponde ao processo de moer o grão (milho), reduzindo a partículas menores com o auxílio de um moinho a fim de facilitar o processo digestivo na alimentação dos animais. A ensilagem é o processo de estocagem do milho, sendo retirada diariamente para a alimentação dos suínos. O grão é proveniente dos processos de lavoura (milho úmido) e do secador de grãos (milho seco). O diesel é utilizado nesse processo para o funcionamento do motor moedor. Como destino, o milho é encaminhado para a alimentação dos animais (suinocultura).

Entradas			Saídas		
Fornecedor	Material/Energia	Especificação	Material/Energia	Especificação	Cliente
Lavoura	Milho	4.000 Ton/ano	Milho	5.383 Ton/ano	Suinocultura
Secador de grãos	Milho	1.383 Ton/ano			
Transporte	Diesel	18.000 L/ano (15 Ton/ano)			

Ficha para coleta de dados e respectivas observações

Tipo de empresa: Propriedade rural

Localização: Castro - PR

Entrevistado: Proprietário da propriedade

Cobertura temporal dos dados: 2018

Período da coleta de dados: Janeiro a Abril de 2019

Nome do processo: Biodigestor

Descrição do processo: Equipamento utilizado na transformação de matéria orgânica em biofertilizante e biogás. As entradas do biodigestor consistem em resíduos orgânicos, como animais mortos, resíduos orgânicos da agroindústria, resíduos de limpeza e efluente de suínos. Os resíduos da agroindústria são comprados em uma empresa a 60 km de distância e transportado via propriedade. Os resíduos de limpeza são provenientes da secadora de feijão da propriedade. Os efluentes de suínos são provenientes do processo de suinocultura. Como saída, o processo gera biofertilizante que é destinado a lavoura da propriedade. Ainda como saída deste processo, o biogás apresenta sete opções de destinos: purificação (para posteriormente gerar biometano), motor gerador (para posteriormente gerar eletricidade), suinocultura (no aquecimento da água para aquecer o piso das maternidades e creches), residências (uso em nove residências da propriedade para o aquecimento de água para banho e uso como gás de cozinha), secador de semente de gramínea (secagem de azevém), secador de feijão (secagem de feijão), e vizinhos (gerar vapor a fim de pasteurizar e higienizar a terra no plantio de cogumelo). Todo o sistema de biogás é transportado via tubulação subterrânea.

Entradas			Saídas		
Fornecedor	Material/Energia	Especificação	Material/Energia	Especificação	Cliente
Suicultura	Animais mortos	50 Ton/ano	Biofertilizante	12.342 m ³ /ano (14.625 Ton/ano)	Lavoura
Externo	Resíduos orgânicos da agroindústria	120 Ton/ano	Biogás	10.089 m ³ /ano (11 Ton/ano)	Purificação
Secador de feijão	Resíduos de limpeza	5 Ton/ano	Biogás	227.017 m ³ /ano (252 Ton/ano)	Motor gerador
Suicultura	Efluente de suínos	11.582 Ton/ano	Biogás	126.121 m ³ /ano (140 Ton/ano)	Suicultura
Rede	Eletricidade	44.017 kWh/ano	Biogás	25.224 m ³ /ano (28 Ton/ano)	Propriedade
			Biogás	25.224 m ³ /ano (28 Ton/ano)	Secador de semente de gramínea
			Biogás	50.448 m ³ /ano (56 Ton/ano)	Secador de feijão
			Biogás	50.448 m ³ /ano (56 Ton/ano)	Vizinhos

Observação: O biodigestor da propriedade é composto por 2 modelos do tipo alemão e 1 modelo do tipo canadense. O biogás produzido com destino às residências da propriedade para a mensuração na ferramenta foi utilizado como o processo nomeado de 'outros'.

Ficha para coleta de dados e respectivas observações

Tipo de empresa: Propriedade rural

Localização: Castro - PR

Entrevistado: Proprietário da propriedade

Cobertura temporal dos dados: 2018

Período da coleta de dados: Janeiro a Abril de 2019

Nome do processo: Purificação

Descrição do processo: O processo de purificação do biogás tem como objetivo potencializar o poder calorífico do gás e melhorar sua qualidade. A purificação ocorre por absorção (PSA - *Pressure Swing Adsorption*). Nesse processo o metano (CH₄) é isolado e a porcentagem final de CH₄ representa aproximadamente 95% do gás purificado, 3% de CO₂ e 2% de outros gases. O biometano é um combustível gasoso com características semelhantes ao gás natural. O biometano é utilizado como combustível veicular, abastecendo 2 automóveis e 2 empilhadeiras na propriedade.

Entradas			Saídas		
Fornecedor	Material/Energia	Especificação	Material/Energia	Especificação	Cliente
Biodigestor	Biogás	10.089 m ³ /ano (11 Ton/ano)	Biometano	5.060 m ³ /ano (4 Ton/ano)	Transporte

Ficha para coleta de dados e respectivas observações

Tipo de empresa: Propriedade rural

Localização: Castro - PR

Entrevistado: Proprietário da propriedade

Cobertura temporal dos dados: 2018

Período da coleta de dados: Janeiro a Abril de 2019

Nome do processo: Motor gerador

Descrição do processo: O motor gerador é um equipamento que transforma energia mecânica (por meio da rotação) em energia elétrica. Como origem, o biogás se insere no motor gerador ocorrendo a transformação para energia elétrica. Parte da energia é transferida para a rede de eletricidade e parte é utilizada no sistema de funcionamento do biodigestor (agitadores, sistema de controle do biodigestor, compressores).

Entradas			Saídas		
Fornecedor	Material/Energia	Especificação	Material/Energia	Especificação	Cliente
Biodigestor	Biogás	227.017 m ³ /ano (252 Ton/ano)	Eletricidade	128.719 kWh/ano	Rede
			Eletricidade	44.017 kWh/ano	Biodigestor

Ficha para coleta de dados e respectivas observações

Tipo de empresa: Propriedade rural

Localização: Castro - PR

Entrevistado: Proprietário da propriedade

Cobertura temporal dos dados: 2018

Período da coleta de dados: Janeiro a Abril de 2019

Nome do processo: Secador de grãos

Descrição do processo: O processo de secagem de grãos possui a finalidade de reduzir o teor de umidade dos grãos a fim de manter a qualidade do produto. Nesse processo ocorre a secagem de milho, soja e trigo. A de lenha de eucalipto é extraída da propriedade. Como saída, o milho seco é encaminhado para o processo de moagem e ensilagem (para posteriormente compor a alimentação dos animais na suinocultura). A soja e o trigo são vendidos para a cooperativa e transportado pela propriedade. Os resíduos de limpeza dos grãos são encaminhados para a atividade de composto para a produção de cogumelo.

Entradas			Saídas		
Fornecedor	Material/Energia	Especificação	Material/Energia	Especificação	Cliente
Lavoura	Milho	1.800 Ton/ano	Milho seco	1.383 Ton/ano	Moagem e ensilagem
Lavoura	Soja	1.400 Ton/ano	Soja seca	833 Ton/ano	Cooperativa
Lavoura	Trigo	500 Ton/ano	Trigo seco	446 Ton/ano	Cooperativa
Propriedade	Lenha	300 Ton/ano	Resíduo de limpeza de milho	18 Ton/ano	Composto para a produção de cogumelo
Rede	Eletricidade	50.208 kWh/ano	Resíduo de limpeza de soja	9 Ton/ano	Composto para a produção de cogumelo
			Resíduo de limpeza de trigo	5 Ton/ano	Composto para a produção de cogumelo

Observação: Para os cálculos da ferramenta, o fornecedor 'propriedade' foi nomeado de 'outros'.

Ficha para coleta de dados e respectivas observações

Tipo de empresa: Propriedade rural

Localização: Castro - PR

Entrevistado: Proprietário da propriedade

Cobertura temporal dos dados: 2018

Período da coleta de dados: Janeiro a Abril de 2019

Nome do processo: Secador de semente de gramínea

Descrição do processo: O processo de secagem de semente de gramínea tem o objetivo de reduzir o teor de umidade da azevém e manter a qualidade do produto. A azevém é vendida para a cooperativa e transportado pela propriedade. Os resíduos de limpeza de azevém são doados para produtores vizinhos e transportado via cliente.

Entradas			Saídas		
Fornecedor	Material/Energia	Especificação	Material/Energia	Especificação	Cliente
Lavoura	Azevém	200 Ton/ano	Azevém seca	168 Ton/ano	Cooperativa
Biodigestor	Biogás	25.224 m ³ /ano (28 Ton/ano)	Resíduo de limpeza de azevém	20 Ton/ano	Composto para a produção de cogumelo
Rede	Eletricidade	42.960 kWh/ano			

Ficha para coleta de dados e respectivas observações

Tipo de empresa: Propriedade rural

Localização: Castro - PR

Entrevistado: Proprietário da propriedade

Cobertura temporal dos dados: 2018

Período da coleta de dados: Janeiro a Abril de 2019

Nome do processo: Secador de feijão

Descrição do processo: O processo de secagem de grão possui a finalidade de reduzir o teor de umidade do feijão a fim de manter a qualidade do produto. A de lenha de eucalipto é extraído da propriedade. O feijão é vendido para empresas em um raio de aproximadamente 500 km e o transporte é realizado pela empresa compradora. Os resíduos de limpeza do feijão são destinados ao biodigestor.

Entradas			Saídas		
Fornecedor	Material/Energia	Especificação	Material/Energia	Especificação	Cliente
Lavoura	Feijão úmido	450 Ton/ano	Feijão seco	407 Ton/ano	Externo
Propriedade	Lenha	15 Ton/ano	Resíduo de limpeza do feijão	5 Ton/ano	Biodigestor
Biodigestor	Biogás	50.448 m ³ /ano (56 Ton/ano)			
Rede	Eletricidade	14.320 kWh/ano			

Observação: Para os cálculos da ferramenta, o fornecedor 'propriedade' foi nomeado de 'outros internos'.

Ficha para coleta de dados e respectivas observações

Tipo de empresa: Propriedade rural

Localização: Castro - PR

Entrevistado: Proprietário da propriedade

Cobertura temporal dos dados: 2018

Período da coleta de dados: Janeiro a Abril de 2019

Nome do processo: Lavoura

Descrição do processo: Representa uma operação agrícola constituindo os estágios plantio, tratos culturais, colheita e comercialização. Os cultivos de inverno são azevém com 450 hectares de terra plantada, aveia preta (para melhoramento de solo e cobertura verde) com 200 hectares de terra plantada, e trigo (tipo melhorador) com 150 hectares de terra plantada. Os cultivos de verão são milho (tipo consumo e tipo 1) com 300 hectares de terra plantada, soja (metade tipo transgênica e metade convencional) com 350 hectares de terra plantada, e feijão (tipo carioca) com 150 hectares de terra plantada. As sementes, fertilizantes e produtos agroquímicos são comprados da cooperativa, utilizando transporte da propriedade. Todo o biofertilizante é proveniente do biodigestor. Como saída, o trigo, a soja e parte do milho são destinados a secadora de grãos. O restante do milho é conduzido para o processo de moagem e ensilagem. Destina-se o feijão para a secadora de feijão. Além disso, parte da azevém (semente) é encaminhada para o processo de secadora de semente de gramínea, e o restante (capim, silagem) é vendido para pecuaristas a uma distância de aproximadamente 500 km da propriedade. O capim úmido em forma silagem serve para alimentação de bovinos. O transporte é realizado pelo cliente. Por fim, as embalagens retornam ao fabricante.

Entradas			Saídas		
Fornecedor	Material/Energia	Especificação	Material/Energia	Especificação	Cliente
Cooperativa	Sementes	98 Ton/ano	Milho úmido	1.800 Ton/ano	Secador de grãos
Cooperativa	Aubos	873 Ton/ano	Soja úmida	1.400 Ton/ano	Secador de grãos
Cooperativa	Defensivos Agrícolas	280 Ton/ano	Trigo úmido	500 Ton/ano	Secador de grãos
Biodigestor	Biofertilizante	12.342 m ³ /ano (14.625 Ton/ano)	Milho úmido	4.000 Ton/ano	Moagem e ensilagem
			Feijão úmido	450 Ton/ano	Secador de feijão
			Azevém (semente) úmida	200 Ton/ano	Secador de semente de gramínea
			Azevém (capim, silagem) úmida	2.400 Ton/ano	Vizinhos
			Palha	900 Ton/ano	Composto para a produção de cogumelo
			Embalagem (sementes, adubos, defensivos agrícolas)	12 Ton/ano	Externo

Ficha para coleta de dados e respectivas observações

Tipo de empresa: Propriedade rural

Localização: Castro - PR

Entrevistado: Proprietário da propriedade

Cobertura temporal dos dados: 2018

Período da coleta de dados: Janeiro a Abril de 2019

Nome do processo: Composto para a produção de cogumelo

Descrição do processo: Técnica aplicada a fim de estimular a decomposição e estabilização de matéria orgânica, sob condições controladas. Esse processo antecede a produção de cogumelos. A palha é o resíduo da lavoura. A cama de frango ou cascão de frango é um resíduo da criação de frango, como serragem e esterco de frango. O gesso em pó agrícola é um subproduto da indústria de fertilizante e seu objetivo é controlar o PH. A aquisição e o transporte da palha e da cama de frango são realizados por propriedades vizinhas. A compra do gesso em pó é realizada em uma indústria de fertilizantes a uma distância de aproximadamente 350 km da propriedade, sendo o transporte realizado pela indústria. O efluente de suíno é proveniente da suinocultura da propriedade. A água utilizada nesse processo é proveniente de água da chuva e ocorre em um processo de ciclo fechado. Como saída, o processo apresenta três fases. A fase 1 inicia-se com a pré-fermentação (5 dias de duração), após acontece a fermentação (8 dias de duração). A fase 2 (nomeada de pasteurização) acontece durante 6 dias, sendo que o ambiente é controlado, fechado e ventilado internamente. Nesta fase ocorre a formação do bloco para cogumelos. Na fase 3 (nomeada de composto incubado) é colocado o inóculo (fungo do champignon), após isso, o composto é resfriado e monitorado por 24 horas, correspondendo a uma duração de aproximadamente 18 dias. As três fases são vendidas para produtores de cogumelos em um raio de até 500 km da propriedade, sendo transportado pelo cliente.

Entradas			Saídas		
Fornecedor	Material/Energia	Especificação	Material/Energia	Especificação	Cliente
Lavoura	Palha	900 Ton/ano	Composto fase 1	1.296 Ton/ano	Externo
Vizinhos	Palha	5.100 Ton/ano	Composto fase 2	6.480 Ton/ano	Externo
Vizinhos	Cama de frango	4.500 Ton/ano	Composto fase 3	6.480 Ton/ano	Externo
Externo	Gesso em pó agrícola	420 Ton/ano	Composto fase 1	144 Ton/ano	Vizinhos
Suínocultura	Efluentes de suínos	11.582 Ton/ano	Composto fase 2	720 Ton/ano	Vizinhos
Água da chuva	Água	Reutilizada	Composto fase 3	720 Ton/ano	Vizinhos
Secador de grãos	Resíduo de limpeza de milho	18 Ton/ano			
Secador de grãos	Resíduo de limpeza de soja	9 Ton/ano			
Secador de grãos	Resíduo de limpeza de trigo	5 Ton/ano			
Secador de semente de gramínea	Resíduo de limpeza de azevém	20 Ton/ano			
Rede	Eletricidade	848.546 kWh/ano			

Observação: A água utilizada nesse processo ocorre em ciclo fechado.

Ficha para coleta de dados e respectivas observações

Tipo de empresa: Propriedade rural

Localização: Castro - PR

Entrevistado: Proprietário da propriedade

Cobertura temporal dos dados: 2018

Período da coleta de dados: Janeiro a Abril de 2019

Nome do processo: Transporte

Descrição do processo: Processo de abastecimento de combustível para a movimentação de automóveis leves e pesados. O diesel é transportado pelo fabricante a uma distância de aproximadamente 150 km até a propriedade. A propriedade possui caminhonetes, caminhões, tratores, carregadeiras, colheitadeiras e motores estacionários que são abastecidos com diesel (tipo s10 e s500). Os automóveis e empilhadeiras são abastecidos com biometano. O biometano é produzido na própria propriedade.

Entradas			Saídas		
Fornecedor	Material/Energia	Especificação	Material/Energia	Especificação	Cliente
Externo	Diesel	160.000 L/ano (135 Ton/ano)	Diesel	18.000 L/ano (15 Ton/ano)	Moagem e ensilagem
Purificação	Biometano	5.060 m ³ /ano (4 Ton/ano)	Diesel	142.000 L/ano (120 Ton/ano)	Propriedade
			Biometano	5.060 m ³ /ano (4 Ton/ano)	Propriedade

Observação: A eletricidade utilizada no transporte (sistema de abastecimento dos automóveis - bombas de combustível) foi considerada junto ao processo nomeado de 'residências'. Para os cálculos da ferramenta, o cliente 'propriedade' foi nomeado de 'outros'.

APÊNDICE C - Portfólio final de artigos descobertos na literatura

Quadro 3 - Características dos documentos encontrados na literatura

ID	Referência	Estudo de Caso	Revisão	Área de atuação	Instituição / País	Periódico / Editora	FI	Citações
1	Grimm e Wösten (2018)		x	Cogumelos	Utrecht University / Holanda	Applied Microbiology and Biotechnology / Springer	3,340	6
2	Vaneekhaute <i>et al.</i> (2018)	x		Biogás	Université Laval / Suécia	Resources, Conservation and Recycling / Elsevier	5,120	6
3	Ingrao <i>et al.</i> (2018)		x	Resíduos alimentares	Kore University of Enna / Itália	Journal of Cleaner Production / Elsevier	5,651	11
4	Blázquez <i>et al.</i> (2018)	x		Avicultura	University of Extremadura / Espanha	Journal of Cleaner Production / Elsevier	5,651	3
5	Maaß e Grundmann (2018)	x		Águas residuais	Leibniz Institute for Agricultural Engineering and Bioeconomy / Alemanha	Sustainability / MDPI	2,075	0
6	Santos e Magrini (2018)	x		Biorrefinaria	Universidade Federal do Rio de Janeiro / Brasil	Journal of Cleaner Production / Elsevier	5,651	3
7	Zabaniotou (2018)		x	Bioenergia	Aristotle University of Thessaloniki / Grécia	Journal of Cleaner Production / Elsevier	5,651	12
8	Zhao <i>et al.</i> (2018)	x		Cadeia de suprimentos agrícola	Southwest Jiaotong University / China	Sustainability / MDPI	2,075	6
9	Bekchanov e Mirzabaev (2018)	x		Fertilizantes químicos	Bonn University / Sri Lanka	Journal of Cleaner Production / Elsevier	5,651	4
10	Kougias e Angelidaki (2018)		x	Biogás	Technical University of Denmark / Dinamarca	Frontiers of Environmental Science & Engineering / Springer	1,961	15

ID	Referência	Estudo de Caso	Revisão	Área de atuação	Instituição / País	Periódico / Editora	FI	Citações
11	Patricio <i>et al.</i> (2018)	x		Cerveja e cogumelos	Chalmers University of Technology / Suécia	Journal of Cleaner Production / Elsevier	5,651	0
12	Pierie <i>et al.</i> (2017)	x		Biogás	Hanze University of Applied Science / Holanda	Resources / MDPI	0,000	1
13	Kılıç e Kılıç (2017)	x		Laticínios	The Scientific and Technological Research Council of Turkey / Turquia	Journal of Cleaner Production / Elsevier	5,651	13
14	Vega-Quezada, Blanco e Romero (2017)	x		Biodiesel (óleo de palma de microalgas)	Technical University of Machala / Equador	New Biotechnology / Elsevier	3,733	8
15	Tampio <i>et al.</i> (2017)	x		Biogás	Natural Resources Institute Finland / Finlândia	Journal of Cleaner Production / Elsevier	5,651	5
16	Nielsen (2017)		x	Bioenergia (biotecnologia microbiana)	Aalborg University / Dinamarca	Microbial Biotechnology / Wiley	3,913	4
17	Molina-Moreno <i>et al.</i> (2017)	x		Biogás	University of Granada / Espanha	Water / MDPI	2,069	12
18	Kuisma e Kahiluoto (2017)	x		Agroalimentar	Natural Resources Institute Finland / Finlândia	Resources, Conservation and Recycling / Elsevier	5,120	3
19	Therond <i>et al.</i> (2017)		x	Sistemas agrícolas	French National Institute for Agricultural Research / França	Agronomy for Sustainable Development / Springer	4,503	37
20	Noya <i>et al.</i> (2017)	x		Suinocultura	University of Santiago de Compostela / Espanha	Science of The Total Environment / Elsevier	4,610	7

ID	Referência	Estudo de Caso	Revisão	Área de atuação	Instituição / País	Periódico / Editora	FI	Citações
21	Chen <i>et al.</i> (2017)	x		Biogás	Jiangsu Normal University / China	Renewable and Sustainable Energy Reviews / Elsevier	9,184	20
22	Toop <i>et al.</i> (2017)	x		Digestão anaeróbia	Harper Adams University / Reino Unido	Energy Procedia / Elsevier	0,000	8
23	Blades <i>et al.</i> (2017)	x		Biogás	Queen's University Belfast / Irlanda	Energy Procedia / Elsevier	0,000	11
24	Pagotto e Halog (2016)	x		Agroalimentar	University of Queensland / Austrália	Journal of Industrial Ecology / Wiley	4,356	21
25	Kristensen, Kjeldsen e Thorsøe (2016)		x	Agroalimentar	Aarhus University / Dinamarca	Journal of Agricultural and Environmental Ethics / Springer	1,240	10
26	Mohan <i>et al.</i> (2016)		x	Biorrefinaria	Indian Institute of Chemical Technology / Índia	Bioresource Technology / Elsevier	5,807	169
27	Fernandez-Mena, Nesme e Pellerin (2016)		x	Agroalimentar	University of Bordeaux / França	Science of The Total Environment / Elsevier	4,610	19
28	Cutaia <i>et al.</i> (2014)	x		Fluxos de entradas e saídas	University of Bologna / Itália	Procedia Environmental Science, Engineering and Management / National Society of Environmental Sciences and Engineering	0,000	2

ID	Referência	Estudo de Caso	Revisão	Área de atuação	Instituição / País	Periódico / Editora	FI	Citações
29	Ghisellini <i>et al.</i> (2014)	x		Laticínios	University of Bologna / Itália	Journal of Environmental Accounting and Management / L & H Scientific Publishing	0,000	7
30	Alfaro e Miller (2014)	x		Cadeia de suprimentos agrícola	University of Michigan / Estados Unidos	Journal of Industrial Ecology / Wiley	4,356	24
31	Dumont <i>et al.</i> (2013)		x	Produção animal	French National Institute for Agricultural Research / França	Animal / Cambridge	1,870	150
32	Xuan, Baotong e Hua (2011)	x		Política dos 3R's	Huazhong Normal University / China	Energy Procedia / Elsevier	0,000	20
33	Zhu <i>et al.</i> (2007)	x		Refinaria de açúcar	Dalian University of Technology / China	Journal of Industrial Ecology / Wiley	4,356	203
34	Ometto, Ramos e Lombardi (2007)	x		Refinaria de açúcar	Universidade de São Paulo / Brasil	Journal of Cleaner Production / Elsevier	5,651	43
35	Niutanen e Korhonen (2003)	x		Agroalimentar	University of Joensuu and Lahti Polytechnic / Finlândia	International Journal of Sustainable Development & World Ecology / Taylor & Francis	2,373	20
36	Erkman (2001)	x		Ecologia industrial	Institute for Communication and Analysis of Science and Technology / Suíça	Swiss Medical Weekly / EMH Swiss Medical Publishers	0,000	47

Fonte: Autoria própria