



**PROPOSTA DE UM FRAMEWORK DE INDICADORES DE CIRCULARIDADE
PARA A AGRICULTURA SUSTENTÁVEL**

**PROPOSAL FOR A CIRCULARITY INDICATOR FRAMEWORK FOR
SUSTAINABLE AGRICULTURE**

TAMAKOSHI, J. P.; NADAE J.; SANCHEZ, J. A. G.
PROPOSTA DE UM FRAMEWORK DE INDICADORES DE
CIRCULARIDADE PARA A AGRICULTURA SUSTENTÁVEL.
Revista Ciência e Sustentabilidade, Juazeiro do Norte,
V.8, Nº1, p.83-97, jan./jun. 2024.

Jaqueline de Paiva Tamakoshi¹

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

Jeniffer de Nadae²

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

Jesus Antonio Garcia Sanchez³

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

1 Mestranda, bolsista Capes, no Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento, Tecnologia e Sociedade na Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) com ênfase em Economia Circular na cadeia produtiva dos alimentos orgânicos. MBA em Gestão de Projetos pela USP Esalq (2023). Bióloga Licenciada pela UNIFEI (2020).

E-mail: jaqueline.paiva94@unifei.edu.br

2 Professora da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Professora permanente do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento, Tecnologias e Sociedade (DTECS/UNIFEI) e professora colaboradora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP/UNIFEI). Pós Doutora em Engenharia de Produção pela Escola Politécnica da USP - 2019. Doutora em Engenharia de Produção pela Escola Politécnica da USP, linha de pesquisa Qualidade e Engenharia do Produto (QEP) -2016, doutorado Sanduíche Université du Québec à Trois-Rivières. Mestre em Engenharia de Produção pela Faculdade de Engenharia de Bauru da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP/Bauru) no ano de 2010. Possui graduação em Administração de Empresas e Agronegócios (2008), pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP/UD-Tupã/SP).

E-mail: jnadae@gmail.com

3 Professor do Instituto de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI. Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidad Industrial de Santander (2000-2005). Mestrado em Engenharia de Estruturas pela Universidade de São Paulo - USP (2006-2008). Doutorado em Engenharia de Estruturas - EESC USP (2009).

E-mail: jesus@unifei.edu.br

RESUMO

A Economia Circular visa transformar o modelo linear de ‘extrair, transformar, descartar’ em um ciclo contínuo de uso e regeneração de recursos, promovendo tanto a sustentabilidade quanto a resiliência econômica. Para apoiar a transição do setor industrial rumo à circularidade, há o framework RESOLVE. No entanto, o setor agrícola e a produção de alimentos também enfrentam desafios relacionados a emissões e à degradação ambiental, o que torna necessária a adaptação dos princípios da Economia Circular a esse contexto. Observando a ausência de um framework amplamente utilizado e reconhecido para indicadores de circularidade na agricultura, este estudo propõe uma adaptação do RESOLVE voltada para a agricultura sustentável, com foco nas práticas regenerativas e orgânicas. A partir de dois guias focados em produção de alimentos e circularidade, foram desenvolvidos treze rótulos para cobrir a complexidade do tema. Esses rótulos, que atuam como indicadores de circularidade, são: (1) Caminhos para a Regeneração, (2) Escolhas Circulares, (3) Do Descarte ao Valor, (4) Embalagens que Circulam, (5) Logística Sustentável, (6) Energia Verde, (7) Gestão Responsável da Água, (8) Gestão Eficiente de Resíduos Sólidos, (9) Colaboração e Capacitação, (10) Inovação Digital na Agricultura, (11) Biotecnologia Sustentável, (12) Governança Circular, e (13) Justiça Circular. A metodologia aplicada envolveu uma análise multirrótulos para a validação teórica desses indicadores, fundamentada em práticas e evidências presentes na literatura acadêmica recente. Como resultado, foi possível identificar que o foco das práticas circulares na agricultura reside principalmente na busca pela gestão eficiente da água e dos resíduos sólidos. Além disso, observou-se um aumento no uso de biotecnologia como meio de promover a sustentabilidade agrícola. Por outro lado, áreas como logística de transporte, uso de energia verde, capacitação, tecnologias e governança apresentam lacunas significativas que precisam ser abordadas.

Palavras-chave: Framework; Economia Circular; Agricultura Sustentável; Agricultura Regenerativa; Indicadores.

ABSTRACT

The Circular Economy aims to transform the linear model of ‘extract, transform, discard’ into a continuous cycle of resource use and regeneration, promoting both sustainability and economic resilience. To support the industrial sector’s transition towards circularity, there is the RESOLVE framework. However, the agricultural sector and food production also face challenges related to emissions and environmental degradation, which makes it necessary to adapt the principles of the Circular Economy to this context. Observing the absence of a widely used and recognized framework for circularity indicators in agriculture, this study proposes an adaptation of RESOLVE aimed at sustainable agriculture, with a focus on regenerative and organic practices. Based on two guides focused on food production and circularity, thirteen labels were developed to cover the complexity of the topic. These labels, which act as indicators of circularity, are: (1) Pathways to Regeneration, (2) Circular Choices, (3) From Disposal to Value, (4) Packaging that

Circulates, (5) Sustainable Logistics, (6) Green Energy, (7) Responsible Water Management, (8) Efficient Solid Waste Management, (9) Collaboration and Capacity Building, (10) Digital Innovation in Agriculture, (11) Sustainable Biotechnology, (12) Circular Governance, and (13) Circular Justice. The methodology applied involved a multi-label analysis for the theoretical validation of these indicators, based on practices and evidence found in recent academic literature. As a result, it was possible to identify that the focus of circular practices in agriculture lies mainly in the search for efficient water and solid waste management. In addition, there has been an increase in the use of biotechnology as a means of promoting agricultural sustainability. On the other hand, areas such as transportation logistics, the use of green energy, training, technologies and governance present significant gaps that need to be addressed.

Keywords: Framework; Circular Economy; Sustainable Agriculture; Regenerative Agriculture; Indicators.

1 INTRODUÇÃO

A Economia Circular (EC) é um modelo econômico que busca ir além do tradicional sistema linear de “extrair, transformar, descartar”, que tem prevalecido desde o início da Revolução Industrial. Em vez disso, a EC visa criar um ciclo contínuo de desenvolvimento regenerativo, onde os recursos são mantidos em uso pelo maior tempo possível, os produtos e materiais são reciclados e regenerados, e o desperdício é minimizado. O propósito central desse modelo é dissociar o crescimento econômico do consumo de recursos finitos, promovendo ao mesmo tempo a sustentabilidade ambiental e resiliência econômica (Ellen Macarthur Foundation, 2021; Liaros, 2021) more extreme weather events and global competition are increasingly making industrial agriculture less economically viable. This paper explores how circular economy (CE).

Dentro desse contexto, a Fundação Ellen MacArthur desenvolveu o framework RESOLVE para guiar indústrias e governos na transição para a EC. O RESOLVE propõe seis ações principais: Regenerar (Regenerate), Compartilhar (Share), Otimizar (Optimise), Ciclar (Loop), Virtualizar (Virtualise) e Trocar (Exchange). Essas ações visam maximizar o uso de recursos, prolongar a vida útil dos produtos e promover a substituição de materiais não renováveis por alternativas mais sustentáveis. O framework oferece uma abordagem estruturada para a criação de estratégias que não só minimizam o impacto ambiental, mas também incentivam a inovação e o crescimento econômico sustentável nas indústrias (Ellen Macarthur Foundation, 2015).

No entanto, o foco da EC e de um framework que ajude na transição não deve se limitar apenas ao setor industrial. O meio de produção de alimentos também necessita de uma atenção especial, dado seu impacto sobre os recursos naturais e a sustentabilidade global já que o sistema alimentar global é responsável por um terço das emissões de gases de efeito estufa e de metade das pressões exercidas pela humanidade sobre a biodiversidade (Aznar-Sánchez *et al.*, 2020; FAO, 2016; Mattei; Michellon, 2021).

Isso pois, atualmente, não há um framework único e amplamente reconhecido para a Economia Circular voltado especificamente para o setor agrícola, como existe para a indústria com o RESOLVE. No entanto, já existem várias propostas de iniciativas propõem os princípios da Economia Circular à agricultura e à produção de alimentos. Exemplos dessas propostas de iniciativas, que servirão de base para a construção do framework proposto neste estudo, são as estratégias e propostas da Economia Circular, voltada para a produção de alimentos, pela Fundação Ellen MacArthur, que fornecem diretrizes para a implementação da circularidade na produção alimentícia (Ellen Macarthur Foundation, 2021; Liaros, 2021)more extreme weather events and global competition are increasingly making industrial agriculture less economically viable. This paper explores how circular economy (CE, e o Guia de Boas Práticas do Setor Agroalimentar, elaborado durante o projeto Reinova_Si, que visa impulsionar práticas inovadoras de Economia Circular em micro e pequenas empresas do setor agroalimentar (Adral, 2022).

A proposta deste trabalho se diferencia, e porventura, complementa dos guias existentes, como os da Fundação Ellen MacArthur e do projeto Reinova_Si, ao focar especificamente na agricultura regenerativa, desenvolvendo rótulos específicos que atuam como indicadores práticos de circularidade. A agricultura orgânica foi também escolhida como foco inicial por ser conhecida como um exemplo natural de circularidade, devido às suas práticas já alinhadas com a regeneração dos recursos naturais. Embora a agricultura orgânica e regenerativa tenham muitos princípios em comum e frequentemente se sobreponham, a principal diferença é que a agricultura orgânica foca na eliminação de insumos sintéticos e na produção sustentável, enquanto a agricultura regenerativa enfatiza a regeneração e melhoria contínua dos ecossistemas agrícolas.(Aznar-Sánchez *et al.*, 2020; Velasco-Muñoz *et al.*, 2021)global climate change, environmental degradation, and increasing food demand, the circular economy (CE.

No entanto, esse framework também foi concebido de forma a ser adaptável e aplicável a outras formas de agricultura que compartilham o objetivo de promover a sustentabilidade e a regeneração dos ecossistemas. Dessa forma, além de fornecer uma ferramenta prática e mensurável para agricultores, pesquisas acadêmicas e gestores, este estudo oferece uma base útil para a implementação de princípios da Economia Circular em diferentes contextos agrícolas sustentáveis. Além disso, baseia-se em evidências científicas recentes, garantindo relevância e aplicabilidade no contexto atual da agricultura sustentável.

Assim, a pergunta que guia esse estudo é “Como os princípios da Economia Circular podem ser adaptados e aplicados a diferentes práticas agrícolas sustentáveis, utilizando indicadores práticos para promover a sustentabilidade e a circularidade no setor agrícola?”

A metodologia utilizada envolveu uma análise multirrótulos, que foi realizada para identificar e classificar práticas de agricultura orgânica e regenerativa que estão alinhadas com os princípios da Economia Circular. É importante destacar que, neste contexto metodológico, os rótulos referem-se aos indicadores de circularidade. Esses indicadores foram validados com base em uma revisão bibliográfica de artigos atuais que apresentam práticas sustentáveis alinhadas aos princípios da EC.

Dessa forma, a princípio foram propostos 13 rótulos que servem como indicadores de circularidade e que abrangem de forma holística ações e medidas para tornar uma agricultura mais circular: (1) Caminhos para a Regeneração, (2) Escolhas Circulares, (3) Do Descarte ao Valor, (4) Embalagens que Circulam, (5) Logística Sustentável, (6) Energia Verde, (7) Gestão Responsável da Água, (8) Gestão Eficiente de Resíduos Sólidos, (9) Colaboração e Capacitação, (10) Inovação Digital na Agricultura, (11) Biotecnologia Sustentável, (12) Governança Circular e (13) Justiça Circular. Esses rótulos foram elaborados para avaliar e promover práticas agrícolas sustentáveis, permitindo a aplicação prática dos princípios da Economia Circular no setor agrícola.

2 METODOLOGIA

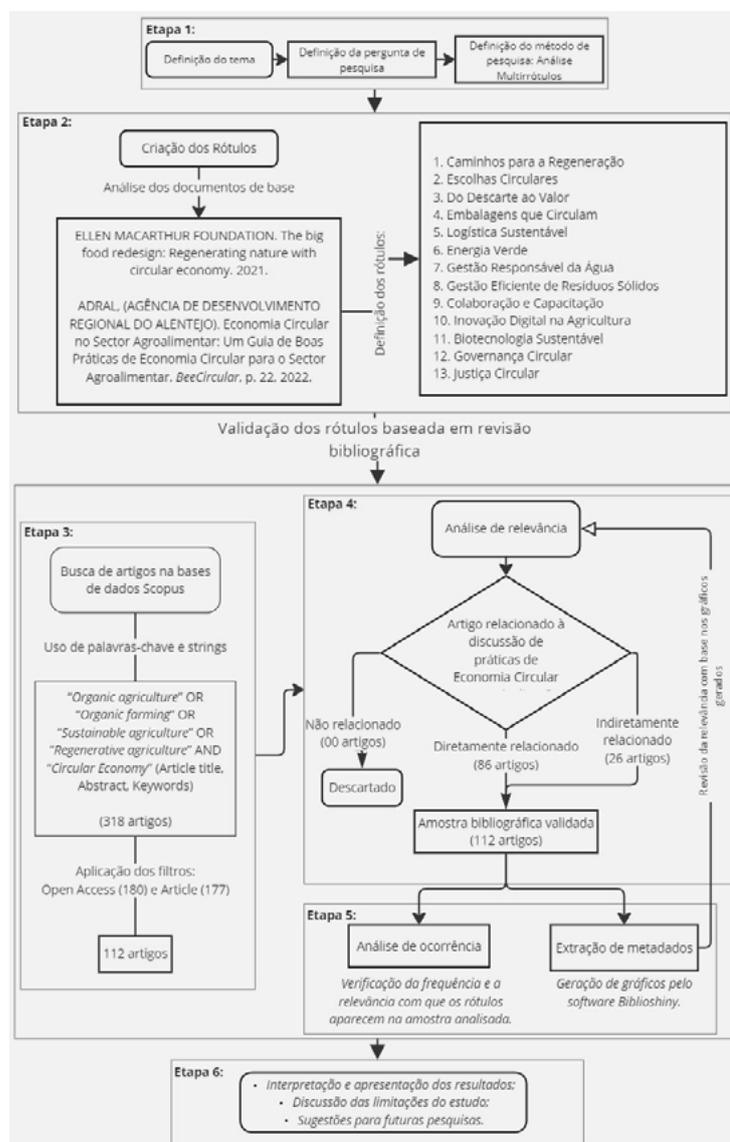
A classificação de rótulos é uma técnica de aprendizado que permite a atribuição de múltiplos rótulos a cada exemplo de treinamento, em vez de apenas uma classe por exemplo. Isso é particularmente útil em cenários onde um único exemplo pode ter várias características ou rótulos associados, como na classificação de imagens ou categorização de texto. Diferente de outras técnicas de classificação, como a binária ou multiclasse, a classificação de rótulos exige a previsão de múltiplos rótulos simultaneamente (Cherman; Monard; Metz, 2011; Fürnkranz *et al.*, 2008). Essa metodologia é especialmente interessante para este estudo porque permite uma análise mais precisa e abrangente das práticas agrícolas, capturando a complexidade e a diversidade das práticas alinhadas com os princípios da Economia Circular, onde mais de um princípio pode ser observado em uma agricultura sustentável.

Ainda de acordo com Fürnkranz *et al.* (2008), os rótulos são selecionados com base nas especificidades do domínio de estudo e nas características dos dados analisados. No contexto deste trabalho, os rótulos foram escolhidos para representar os diferentes princípios da Economia Circular observados nas práticas agrícolas. A escolha dos rótulos foi influenciada pela disponibilidade de dados relevantes, a complexidade das práticas agrícolas analisadas, e a necessidade de capturar com precisão os aspectos de circularidade presentes na agricultura sustentável. Em alguns casos, foi necessário criar novos rótulos ou agrupar rótulos existentes para refletir melhor as categorias relevantes e garantir que todas as dimensões importantes fossem consideradas (Fürnkranz *et al.*, 2008).

O diagrama metodológico a seguir (Figura 1) detalha o processo de validação de rótulos relacionados à Economia Circular na agricultura sustentável, dividido em seis etapas. Na Etapa 1, foram definidos o tema, a pergunta de pesquisa e a metodologia. Na Etapa 2, os rótulos foram criados com base em documentos de referência. As etapas 3, 4 e 5 têm o objetivo de validar bibliograficamente esses rótulos. A Etapa 3 envolveu uma busca bibliográfica na base de dados Scopus, utilizando palavras-chave que foram além da agricultura orgânica e da Economia Circular, incluindo práticas agrícolas sustentáveis, regenerativas e circulares, com o objetivo de abranger uma gama mais ampla de estudos relevantes. Na Etapa 4, esses artigos foram analisados e classificados como diretamente, indiretamente relacionados ou não

relacionados ao tema, garantindo que até mesmo aqueles que não mencionavam explicitamente os conceitos principais pudessem contribuir com informações importantes. Até porque sabe-se que práticas sustentáveis na agricultura são mais antigas que o conceito de Economia Circular em si. Na Etapa 5, realizou-se a leitura detalhada dos estudos e a análise de ocorrência dos rótulos, além da extração de metadados, gerando gráficos que permitiram a reavaliação dos estudos selecionados. Finalmente, a Etapa 6 focou na interpretação dos resultados, discussão das limitações e sugestões para futuras pesquisas. Cada etapa foi projetada e executada para garantir a precisão e abrangência dos rótulos antes da interpretação e apresentação final dos resultados.

Figura 1 - Diagrama metodológico



Fonte: Autores (2024)

Os rótulos utilizados nesta pesquisa foram elaborados a partir das estratégias e propostas de Economia Circular da Fundação Ellen MacArthur, especificamente voltadas para a produção alimentícia (Ellen MacArthur Foundation, 2021), e do Guia de Boas Práticas do Setor Agroalimentar, desenvolvido durante o projeto Reinova_Si, uma colaboração transnacional entre Portugal e Espanha que visa promover a adoção de práticas circulares em microempresas e pequenas e médias empresas do setor agroalimentar (Adral, 2022). Embora a agricultura orgânica seja mencionada em ambos os projetos como uma estratégia para alcançar a circularidade no setor agroalimentar, há uma lacuna significativa de estudos que relacionam diretamente a Economia Circular com a agricultura regenerativa e orgânica, destacando a relevância deste trabalho. Diante disso, foram propostos 13 rótulos com base nesses estudos, que abrangem aspectos sociais, ambientais e econômicos, essenciais para tornar o framework mais holístico. A criação desses rótulos visa capturar a complexidade inerente à agricultura regenerativa, com foco especial na agricultura orgânica, reconhecendo seu potencial não apenas para promover a circularidade, mas também para contribuir para o desenvolvimento sustentável das regiões onde é praticada.

Esses rótulos foram concebidos como pilares fundamentais que traduzem os princípios da Economia Circular para o contexto da agricultura e da produção de alimentos sustentáveis, proporcionando uma base sólida para avaliar e promover práticas que integrem sustentabilidade social, ambiental e econômica. A seguir (Quadro 1), os rótulos propostos são apresentados:

Quadro 1 - Framework: 13 indicadores de circularidade na agricultura.

Rótulo	Objetivo Principal	Práticas Fundamentais	Contribuições das Organizações	Exemplos de Práticas Sustentáveis
Caminhos para a Regeneração	Garantir a regeneração dos sistemas naturais através de práticas agrícolas sustentáveis.	Agricultura regenerativa; Sistemas de produção de baixo impacto.	Retribuir à natureza; Implementar iniciativas para melhorar a comunidade local; Restaurar ecossistemas danificados.	Agrofloresta; Rotação de culturas; Uso de energias renováveis.
Escolhas Circulares	Selecionar matérias-primas e produtos que minimizem impactos ambientais e sociais negativos.	Criação de critérios específicos para seleção de materiais; Priorização de materiais abundantes, seguros e biológicos.	Apoiar a regeneração dos ecossistemas; Minimizar perdas sistêmicas através de escolhas conscientes de fornecedores.	Uso de materiais locais, regionais ou nacionais.



Do Descarte ao Valor	Desenvolver sistemas que ampliem o ciclo de vida dos materiais, reduzindo resíduos e impactos ambientais.	Reutilização e maximização de matérias-primas; Redução de emissões de CO ₂ e consumo de recursos.	Evitar a extração de novos recursos naturais; Minimizar o descarte em aterros; Potencializar o aproveitamento de matérias-primas.	Implementação de práticas sustentáveis em processos agroalimentares.
Embalagens que Circulam	Fomentar a sustentabilidade através do uso de embalagens projetadas para reutilização, reciclagem ou compostagem.	Uso de embalagens reutilizáveis; Implementação de embalagens que promovam a circularidade dos materiais.	Repensar o produto, embalagem e modelo de negócio de forma integrada; Eliminar embalagens que não agregam valor.	Priorizar materiais que podem circular durante todo o ciclo de vida do produto.
Logística Sustentável	Reduzir as emissões de gases de efeito estufa e o impacto ambiental através da reestruturação do processo logístico.	Reutilização de embalagens, caixas e paletes; Otimização de rotas e uso de veículos de baixas emissões.	Revisão do modelo de negócio para garantir a devolução de materiais reutilizáveis; Implementar práticas logísticas sustentáveis.	Utilização de veículos de baixas emissões; Otimização de rotas para reduzir custos e impactos ambientais.
Energia Verde	Reduzir o impacto ambiental e melhorar a qualidade de vida por meio do uso de fontes de energia renováveis.	Instalação de microturbinas eólicas e painéis fotovoltaicos; Controle de consumo energético e metas de redução.	Escolher fornecedores de energia renovável; Buscar maior eficiência energética.	Utilização de energia solar, eólica, hídrica e de marés; Implementação de sistemas de energia renovável em locais residenciais e comerciais.
Gestão Responsável da Água	Priorizar o uso consciente e sustentável da água para preservar este recurso vital.	Captação de águas pluviais; Tratamento e reutilização de águas cinzentas; Circuitos de lavagem fechados.	Promover a adoção de práticas hídricas sustentáveis; Incentivar a reutilização e conservação da água.	Implementação de sistemas de captação e reutilização de água; Uso de tecnologias de tratamento de águas residuais.
Gestão Eficiente de Resíduos Sólidos	Promover a separação, gerenciamento e destinação adequada dos resíduos sólidos para reduzir impactos ambientais.	Conhecimento sobre o destino adequado para cada tipo de resíduo; Compostagem interna de resíduos orgânicos.	Implementar formações internas para garantir o correto encaminhamento de resíduos; Criar locais adequados para separação e gerenciamento de resíduos.	Compostagem interna para reduzir impacto ambiental; Enriquecimento do solo com nutrientes a partir de resíduos orgânicos.
Colaboração e Capacitação	Investir em formações sobre sustentabilidade e EC, e estabelecer parcerias estratégicas para promover o desenvolvimento sustentável.	Formação de colaboradores em temas de sustentabilidade, EC, eco inovação e conservação da biodiversidade	Transição para sistemas <i>paperless</i> ; Estabelecimento de parcerias com outras empresas e instituições.	Implementação de sistemas de gestão digital; Estabelecimento de colaborações para reduzir custos e impactos ambientais.



Inovação Digital na Agricultura	Promover o uso de tecnologias digitais para otimizar a gestão agrícola e melhorar a sustentabilidade e eficiência dos sistemas de produção.	Uso de sensores agrícolas, drones e imagens de satélite para monitoramento e gestão precisos; Agricultura de precisão.	Implementar rastreabilidade por meio de códigos QR e etiquetas de RFID; Compartilhar informações via plataformas digitais.	Agricultura urbana e vertical; Compostagem de resíduos orgânicos utilizando tecnologia digital.
Biotecnologia Sustentável	Avançar a agricultura orgânica e a Economia Circular por meio do uso de biotecnologias sustentáveis.	Melhoramento de culturas através da manipulação genética; Desenvolvimento de microrganismos benéficos para a saúde do solo e das plantas.	Produção de bioinsumos e biofertilizantes; Pesquisa e desenvolvimento de OGM controlados para benefícios específicos.	Uso de biorrefinarias para extrair compostos de resíduos; Conservação de recursos genéticos e preservação de variedades tradicionais.
Governança Circular	Analisar políticas e regulamentações que promovam práticas agrícolas sustentáveis e estimulem a Economia Circular.	Implementação de políticas públicas favoráveis à EC; Incentivos governamentais para práticas sustentáveis.	Estabelecer parcerias entre governo, instituições de pesquisa e indústria para criar um ambiente propício à EC.	Criação de um marco regulatório para a EC na agricultura; Colaboração entre atores públicos e privados para a transição para a EC.
Justiça Circular	Garantir que a transição para a Economia Circular promova não apenas a sustentabilidade ambiental, mas também a justiça social. Isso envolve garantir que os benefícios e responsabilidades sejam distribuídos de maneira justa entre todos os membros da sociedade, e que os impactos dessa transição sejam cuidadosamente avaliados e geridos.	Avaliação dos impactos sociais, econômicos e ambientais decorrentes da transição para a Economia Circular. Inclusão de comunidades vulneráveis no planejamento e na implementação de práticas circulares. Desenvolvimento de políticas que garantam a equidade na distribuição dos benefícios e encargos da Economia Circular. Monitoramento e mitigação de quaisquer impactos adversos que possam surgir durante a transição.	Realizar avaliações de impacto social e ambiental para garantir que a transição para a Economia Circular não prejudique comunidades vulneráveis. Promover a participação ativa das comunidades na tomada de decisões relacionadas à circularidade. Implementar programas de capacitação para garantir que todos possam se beneficiar das novas oportunidades geradas pela Economia Circular.	Programas de reciclagem que oferecem benefícios econômicos diretos às comunidades locais; Iniciativas de capacitação em habilidades verdes para populações vulneráveis; Políticas de compras públicas que priorizam empresas que seguem princípios de Justiça Circular. Avaliação de impacto ambiental e social antes da implementação de grandes projetos circulares.

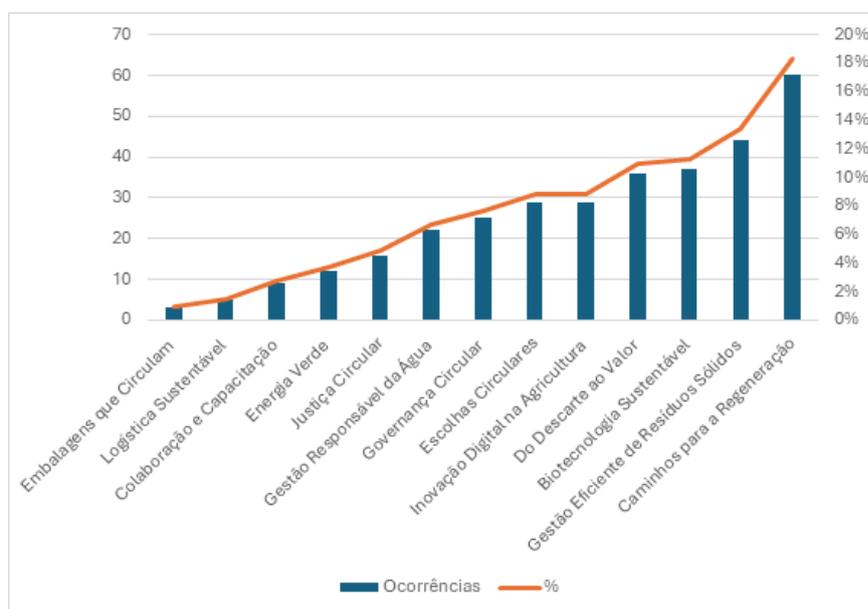
Fonte: Autores (2024)

O conjunto de artigos utilizados para a validação dos rótulos foram coletados em 15 de agosto de 2014.

3 RESULTADOS

Os estudos analisados na amostra desse são do período de 2016 a 2024. A frequência com que os rótulos apareceram nos estudos pode ser conferida no gráfico a seguir (Figura 2):

Figura 2 - Ocorrência dos rótulos nos estudos



Fonte: Autores (2024)

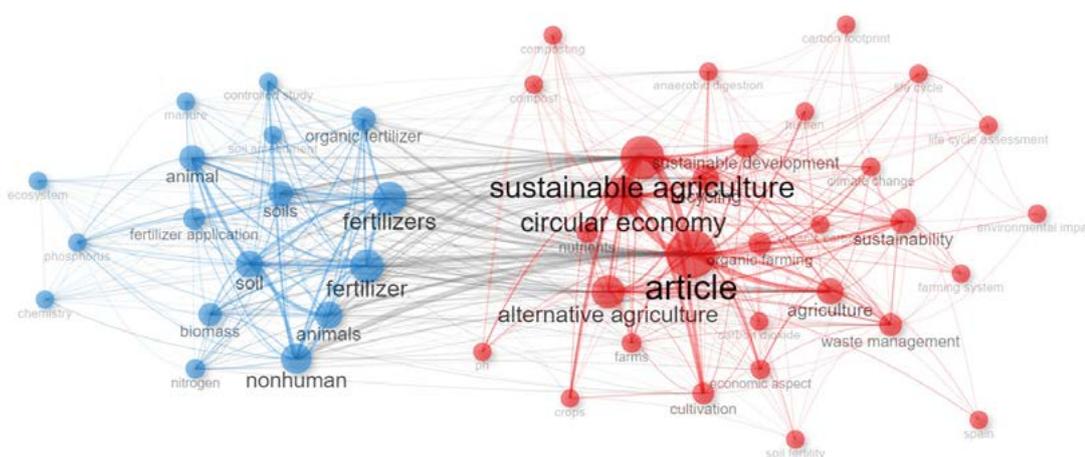
A análise dos dados revela uma clara predominância de práticas relacionadas à regeneração e sustentabilidade no setor agrícola. O rótulo “Caminhos para a Regeneração” apresenta o maior número de ocorrências, indicando uma forte ênfase em práticas agrícolas que visam restaurar ecossistemas e promover a agricultura regenerativa. Em seguida, destacam-se a “Gestão Eficiente de Resíduos Sólidos” e a “Biotecnologia Sustentável”, com um número considerável de ocorrências, refletindo a relevância atribuída ao manejo de resíduos e ao uso de tecnologias sustentáveis na melhoria da saúde do solo e das plantas. O rótulo “Do Descarte ao Valor” também mostra alta frequência, evidenciando a importância de transformar resíduos em recursos valiosos. As práticas associadas à “Inovação Digital na Agricultura” e às “Escolhas Circulares” recebem atenção significativa, ressaltando o interesse em otimizar a gestão agrícola e selecionar materiais que minimizem impactos ambientais. A “Governança Circular” e a “Gestão Responsável da Água” são áreas notáveis, refletindo a necessidade de um ambiente regulatório favorável e a preocupação com a preservação dos recursos hídricos. No entanto, rótulos como “Justiça Circular”, “Energia Verde”, e “Colaboração e Capacitação” têm menos ocorrências, sugerindo um menor foco ou desenvolvimento nessas áreas específicas. A menor frequência de

“Logística Sustentável” e “Embalagens que Circulam” indica uma possível lacuna ou menor destaque dessas práticas no contexto atual. Esses dados proporcionam uma visão abrangente das áreas prioritárias e das lacunas existentes nas práticas e políticas relacionadas à Economia Circular na agricultura.

O processo de validação dos rótulos por meio dos artigos foi importante por basear esses rótulos em evidências científicas. Esses artigos forneceram uma base sólida de informações sobre práticas agrícolas sustentáveis, economia circular, e gestão de recursos, que são centrais para o desenvolvimento de sistemas agrícolas mais resilientes e ecologicamente corretos. Além disso, a variedade e a relevância dos artigos garantiram que os rótulos fossem amplamente abrangentes e aplicáveis a diferentes contextos e desafios dentro da agricultura sustentável.

A partir da extração de metadados dos artigos, foi possível gerar gráficos e analisá-los no software *Biblioshiny*, o que permitiu confirmar a eficácia do método de coleta dos artigos para a validação dos rótulos propostos. No grafo de coocorrência (Figura 3) foi possível identificar dois principais agrupamentos de termos relacionados ao tema da pesquisa. agrupamento em vermelho no grafo parece representar temas relacionados à agricultura sustentável, economia circular, e práticas sistêmicas como desenvolvimento sustentável, sustentabilidade e manejo de resíduos, enquanto o agrupamento azul foca em aspectos técnicos e específicos, como uso de fertilizantes, solo e biomassa. A interconexão entre esses grupos sugere que, ao se buscar a sustentabilidade agrícola, a EC se faz presente.

Figura 3 - Rede de coocorrência



Fonte: Autores (2024)

A partir da classificação multirrótulos e da análise dos grupos de artigos (diretamente e indiretamente relacionados) dentro de cada rótulo, foi possível levantar as boas práticas executadas para cada rótulo (Quadro 2).

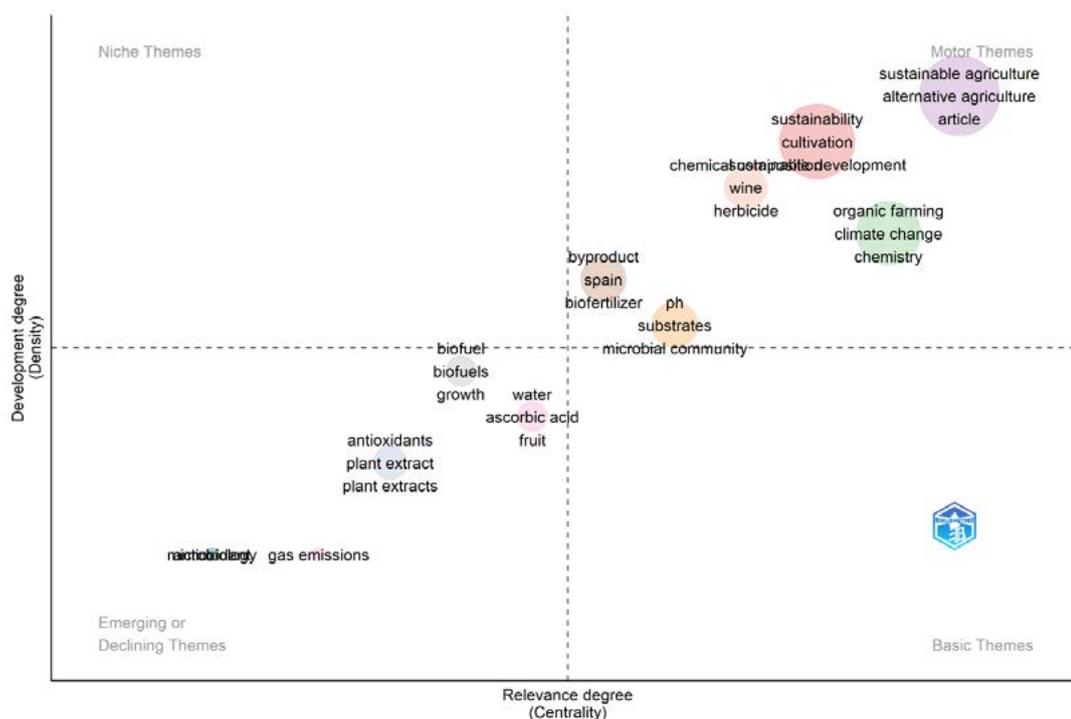
Quadro 2 - Práticas de circularidade identificadas nos estudos

Rótulos	Boas Práticas
Do Descarte ao Valor	Substituição de fertilizantes convencionais por biofertilizantes; Reutilização de Água; Transformação de resíduos orgânicos em produtos para fertilização e nutrição do solo; Gestão eficiente de nutrientes, visando fechar os ciclos; Utilização e reaproveitamento de subprodutos agrícolas e industriais.
Gestão Eficiente de Resíduos Sólidos	Reutilização de matérias-primas secundárias para criar fertilizantes fosfatados; Reciclagem de sedimentos de fundo e subprodutos da indústria açucareira; Utilização de compostagem e lama filtrante e de resíduos sólidos urbanos; Busca por alternativas sustentáveis aos fertilizantes nitrogenados sintéticos.
Caminhos para a Regeneração	Implementação da Economia Circular nas práticas de cultivo.
Colaboração e Capacitação	Aplicação da Economia Circular em diferentes setores da agricultura; Políticas agrícolas circulares; Educação para agricultura sustentável; Subsídios, incentivos fiscais e mercados de carbono para motivar os agricultores e empresas a adotarem práticas mais sustentáveis.
Biotecnologia Sustentável	Produção e uso de fertilizantes microbianos e bioestimulantes; Modificação de biomateriais na produção de bioplásticos e filmes; Uso de técnicas de digestão anaeróbica em resíduos orgânicos, como esterco suíno, para gerar energia renovável.
Gestão Responsável da Água	Uso de água reclamada (reutilizada) na agricultura; Incentivo aos agricultores ao uso das águas alternativas; Uso de águas residuais e advindas do tratamento de esgoto na agricultura.
Escolhas Circulares	Utilização de produtos circulares na agricultura; Entendimento das perspectivas do consumidor; Colaboração na cadeia de valor; Transparência e informação sobre a produção dos alimentos.
Inovação Digital na Agricultura	Uso da tecnologia para alcançar a circularidade na agricultura circular.
Energia Verde	Uso de energias alternativas, como a fotovoltaica.
Embalagens que Circulam	Uso de embalagens biodegradáveis desde a produção à comercialização.
Logística Sustentável	Uso da logística circular na otimização de recursos, transporte eficiente e gestão de resíduos.
Governança Circular	Criação de políticas e incentivos para promover práticas de economia circular (EC) em setores como agricultura e indústria. Reformulação de políticas e regulamentações para apoiar a integração de sistemas agrícolas e práticas circulares.
Justiça Circular	Transição para um modelo agroecológico com uma abordagem de responsabilidade compartilhada. Geração de oportunidades locais e aumento da rentabilidade dos pequenos abatedouros.

Fonte: Autores (2024)

Outro gráfico produzido a partir dos metadados dos artigos foi o mapa temático ou diagrama de co-palavras. A representação do mapa temático distribui as palavras-chave de acordo com sua frequência. O processo classifica temas baseados em sua densidade e centralidade, organizando-os em um diagrama bidimensional. A Figura 4 exemplifica o mapa temático da amostra, dividindo os temas em quatro quadrantes: (1) canto superior direito - temas centrais (Motor Themes); (2) canto inferior direito - temas fundamentais (Basic Themes); (3) canto inferior esquerdo - tópicos emergentes (Emerging or Declining Themes); (4) canto superior esquerdo - temas altamente especializados ou de nicho (Niche Themes) (Bayer de Oliveira Simoes; Spinola; Barbin Laurindo, 2022).

Figura 4 - Mapa temático



Fonte: Autores (2024)

Este gráfico (Figura 4) de análise de temas revela a dinâmica do campo de estudo em agricultura sustentável e economia circular, e destaca que temas como “agricultura sustentável” e “sustentabilidade” são centrais e bem desenvolvidos, liderando a pesquisa e inovação (*Motor Themes*). É possível identificar também, áreas especializadas, como “substrates” e “biofertilizer”, que são importantes, mas têm menor impacto geral (*Niche Themes*), e aponta temas emergentes, como “microbiologia do solo” e “emissões de gases”, que necessitam de mais atenção pois estão em estágio inicial (*Emerging or Declining Themes*). A ausência de temas em *Basic Themes* sugere que os fundamentos do campo já são robustos, ou que as áreas emergentes estão se desenvolvendo em outros quadrantes, oferecendo uma visão abrangente das prioridades e lacunas para futuras pesquisas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A condução deste estudo por meio da metodologia de classificação multirrótulos revelou um mapeamento das boas práticas na agricultura e produção de alimento sustentáveis, que estão alinhadas com os princípios da Economia Circular. Este mapeamento é de grande relevância, especialmente diante das crises ambientais e sociais atuais, enfatizando a urgência da transição para uma agricultura verdadeiramente sustentável.

Foi notável uma crescente preocupação em desenvolver abordagens que reintegrem os nutrientes ao solo e que sejam ecologicamente amigáveis. Isso reflete diretamente na ampliação de estudos relacionados à busca por soluções adequadas para os resíduos sólidos, originados tanto pela indústria quanto pela agricultura. Tais pesquisas propõem métodos para reintegrar esses materiais na cadeia circular ou para realizar descartes apropriados, contribuindo assim para a gestão sustentável de recursos. Paralelamente, a restauração e reutilização da água para fins agrícolas emergiram como tópicos de relevância. No entanto, é notável a carência de estudos aprofundados sobre embalagens biodegradáveis e a logística aplicada à agricultura, sugerindo áreas que demandam maior investigação.

Uma demanda por envolvimento governamental na promoção de práticas circulares na agricultura ficou evidente. A necessidade de incentivos e reconhecimento foi apontada, ressaltando a importância de se criar um ambiente favorável para a adoção de abordagens mais sustentáveis. No entanto é encorajador observar uma maior proximidade com os agricultores e uma crescente consciência sobre seu papel nas decisões agrícolas e a busca por uma transição circular mais justa e equitativa. A conscientização também se estende aos consumidores, cujas escolhas podem influenciar positivamente na demanda por produtos orgânicos e alinhados aos princípios da economia circular. Estas constatações indicam caminhos promissores para uma agricultura que se sustenta em princípios holísticos, beneficiando não apenas a produção, mas também o meio ambiente e a sociedade como um todo.

Refletindo sobre a pergunta central do estudo, podemos concluir que os princípios da Economia Circular podem ser adaptados e aplicados a diferentes práticas agrícolas sustentáveis por meio da implementação de indicadores práticos que promovem não apenas a sustentabilidade ambiental, mas também consideram os aspectos sociais e econômicos, alinhando-se aos três pilares do desenvolvimento sustentável: ambiental, econômico e social. A adaptação desses princípios no contexto agrícola permite a criação de sistemas de produção mais resilientes e regenerativos, onde recursos naturais são reutilizados e o desperdício é minimizado, contribuindo para a preservação dos ecossistemas e a regeneração ambiental.

Além disso, ao considerar o contexto social, esses indicadores ajudam a garantir que as práticas circulares sejam equitativas e inclusivas, beneficiando as comunidades locais e promovendo uma distribuição justa dos recursos e dos benefícios gerados. Assim, a aplicação dos princípios da Economia Circular na agricultura não só impulsiona a sustentabilidade e a circularidade no setor, mas também fortalece a coesão social e a economia local, promovendo um desenvolvimento verdadeiramente sustentável.

Embora esses rótulos tenham sido cuidadosamente desenvolvidos com base na literatura existente, é fundamental que sejam analisados e avaliados também *in loco*, garantindo que sua aplicação reflita as condições reais e os desafios específicos enfrentados no contexto da agricultura sustentável.

REFERÊNCIAS:

ADRAL, (Agência de Desenvolvimento Regional do Alentejo). Economia Circular no Sector Agroalimentar: Um Guia de Boas Práticas de Economia Circular para o Sector Agroalimentar. *BeeCircular*, p. 22, 2022. Disponível em: <<https://www.animar-dl.pt/biblioteca/economia-circular-no-sector-agroalimentar/>>. Acesso em: 28 jul. 2023.

AZNAR-SÁNCHEZ, José A. *et al.* Identification of opportunities for applying the circular economy to intensive agriculture in Almería (South-East Spain). *Agronomy*, v. 10, n. 10, 2020.

BAYER DE OLIVEIRA SIMOES, Priscila; SPINOLA, Mauro; BARBIN LAURINDO, Fernando Jose. Data, information and knowledge in smart maintenance processes: A literature review. 2022, [S.l.]: TECSI, 2022. p. 19. Disponível em: <<https://www.tecsi.org/contecsi/index.php/contecsi/19CONTECSI/paper/view/7113>>.

CHERMAN, Alvares; MONARD, Maria Carolina; METZ, Jean. *Multi-label Problem Transformation Methods: a Case Study*. [S.l.: s.n.], 2011.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Rumo à Economia Circular: O racional de negócio para acelerar a transição. [S.l.] *Ellen MacArthur Foundation*, p. 22, 2015.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. The big food redesign: Regenerating nature with circular economy. 2021.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). The State of Food and Agriculture: Climate Change, Agriculture and Food Security. [S.l.: s.n.], 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i6030e.pdf>>. Acesso em: 28 jul. 2023.

FÜRNKRANZ, J. *et al.* Multilabel classification via calibrated label ranking. *Machine Learning*, v. 73, n. 2, p. 133–153, 2008.

LIAROS, Steven. Circular Food Futures: What Will They Look Like? *Circular Economy and Sustainability*, v. 1, n. 4, p. 1193–1206, 1 dez. 2021. Disponível em: <<https://link.springer.com/10.1007/s43615-021-00082-5>>.

MATTEI, Taíse Fátima; MICHELLON, Ednaldo. Panorama da agricultura orgânica e dos agrotóxicos no Brasil: uma análise a partir dos censos 2006 e 2017. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 59, n. 4, p. e222254, 9 jul. 2021. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032021000400209&tlng=pt>. Acesso em: 28 jul. 2023.

VELASCO-MUÑOZ, Juan F. *et al.* Circular economy implementation in the agricultural sector: Definition, strategies and indicators. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 170, p. 105618, 1 jul. 2021.