



PRÁTICAS DE ECONOMIA CIRCULAR NA CADEIA PRODUTIVA DO AGRONEGÓCIO DO LEITE: REVISÃO INTEGRATIVA DA LITERATURA

Willian Carlos Barreto Luzini, Universidade Federal de Rondônia,
willbarretos@hotmail.com

Guilherme Prado Alves, Universidade de São Paulo

Mariluce Paes-de-Souza, Universidade Federal de Rondônia

ISBN dos Anais: 978-65-5465-127-1

RESUMO

Este artigo tem como objetivo analisar as práticas de economia circular na cadeia produtiva do agronegócio leite, a partir da realização de uma revisão integrativa da literatura, obedecendo um protocolo para sistematizar o conhecimento. As bases de dados utilizadas para essa revisão foram: *Web of Science* e *Scopus*, considerando manuscritos publicados no período de 2014 a 2023, no idioma inglês e revisados por pares. A seguinte sentença foi utilizada para seleção de artigos: (“*circular economy*” and “*milk production*”). A partir dos critérios de seleção, a pesquisa resultou em 9 publicações para análise. As variáveis de análise relacionadas à economia circular foram agrupadas em duas principais categorias: otimização de recursos e redução de resíduos. Os resultados indicaram que as práticas e os processos implementados de economia circular melhoram a competitividade das empresas. Logo, a transição para uma economia circular é um passo lógico para a indústria de transformação de leite em direção a sustentabilidade empresarial. A adoção de práticas de economia circular na cadeia produtiva do agronegócio do leite resulta em significativas melhorias ambientais, aumento da competitividade empresarial e valorização de subprodutos, e consequente promoção do desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Economia Circular; Cadeia Produtiva; Agronegócio; Desenvolvimento Sustentável.

INTRODUÇÃO

A Economia Circular tem emergido como um modelo alternativo e sustentável frente ao tradicional sistema econômico linear. A economia linear segue a abordagem “pegar, fabricar, usar, eliminar”, gerando uma quantidade considerável de resíduos, que

causam degradação ambiental (Casallas-Ojeda *et al.*, 2021). A Economia Circular, por outro lado, visa possibilitar um ideal aproveitamento e reaproveitamento sistemático de produtos industrializados, bens duráveis e não duráveis, desde a etapa de concepção de projeto até após a sua reutilização e o ciclo de vida útil (Abdalla; Sampaio, 2018). Ela busca a otimização dos materiais por meio da ampliação da vida útil dos produtos e ativos durante e após o seu uso; redução do uso de insumos e recursos não renováveis e priorização de recursos renováveis e insumos; e promoção da maior circulação de resíduos e subprodutos através da reutilização (Gonçalves; Barroso, 2019).

A Economia Circular procura soluções para os problemas ambientais e desafios impostos pelas mudanças climáticas, conciliando desenvolvimento econômico e sustentável, capaz de atender as necessidades das gerações atuais e futuras (Uvarova *et al.*, 2020). Leitão (2015) destaca que a Economia Circular estimula novas práticas de gestão e descortina oportunidades, criando valor às organizações em harmonia com o meio ambiente.

Mostagel e Oghazi (2018) citam que Economia Circular envolve três aspectos importantes: a redução do impacto ambiental, os benefícios econômicos e a solução para amenizar a escassez de recursos naturais. Os princípios fundamentais das estratégias da Economia Circular centram-se na redução, reutilização e eficiência da utilização de recursos ao mesmo tempo que impulsionam o crescimento econômico e ligam-se diretamente à gestão de resíduos sustentáveis. A economia circular pode contribuir para a melhoria do sistema alimentar, pois reconhece o desperdício alimentar e procura soluções para reduzir esse desperdício quando é gerado (Uvarova *et al.*, 2020).

Embora a Economia Circular forneça novos princípios para melhorar a eficiência dos recursos e reduzir o desperdício, a maioria das empresas ainda segue modelos de negócio tradicionais, com a percepção de que vantagens competitivas podem ser alcançadas através do aumento da produção. Os modelos de negócios circulares, no entanto, procuram o aumento da rentabilidade e da eficiência através da adaptação de várias inovações nos modelos de negócios (Uvarova *et al.*, 2020). Os modelos de negócio circulares estão frequentemente relacionados com projetos de investimento de maior dimensão, que em muitos setores, incluindo o setor leiteiro, desenvolvem e introduzem



novas tecnologias e soluções tecnológicas. No entanto, as empresas carecem de informação e compreensão das vantagens, benefícios e desafios dos modelos de negócio da economia circular.

No setor agropecuário, como na cadeia produtiva do agronegócio do leite, a implementação de práticas de Economia Circular torna-se necessária para enfrentar desafios relacionados à sustentabilidade ambiental, eficiência econômica e responsabilidade social, promovendo um novo caminho para um futuro sustentável (Uvarova *et al.*, 2020). O setor leiteiro apresenta práticas circulares e há muitos exemplos que demonstram o potencial da produção leiteira circular, como citado por Stanchev *et al.* (2020). No entanto, permanecem desafios significativos para alcançar um setor leiteiro verdadeiramente circular que seja regenerativo, considerando os ciclos de nutrientes, água, carbono e resíduos.

Diante disso, surge a questão da pesquisa: o que abordam as produções científicas sobre práticas de economia circular na cadeia produtiva do agronegócio leite? A partir desta pergunta, este artigo enfatiza a análise de como tais práticas podem otimizar o uso de recursos e reduzir a geração de resíduos, promovendo um ciclo produtivo mais eficiente e sustentável. A relevância desta pesquisa está na sua capacidade de proporcionar uma compreensão das inovações e estratégias implementadas no setor. A justificativa para tal estudo reside na necessidade de transformar a cadeia produtiva do leite em um modelo de produção mais sustentável e resiliente. As contribuições esperadas incluem a promoção de boas práticas e a formulação de recomendações para políticas públicas e iniciativas empresariais que possam apoiar a transição para a economia circular no agronegócio leite.

Deste modo, este trabalho busca não apenas mapear o conhecimento existente, mas também destacar as oportunidades de inovação e de melhoria contínua, a partir de variáveis e indicadores analisados sobre as práticas e processos implementados da Economia Circular para o setor agropecuário leiteiro.



METODOLOGIA

A metodologia utilizada para realização deste artigo é uma revisão integrativa da literatura, metodologia cuja proposta combina dados da literatura teórica e empírica, além de incorporar um vasto leque de propósitos, como: definição de conceitos, revisão de teorias e evidências, e análise de problemas metodológicos de um tópico particular (Souza; Silva; Carvalho, 2010).

Com base nessas informações, foram realizadas pesquisas em duas bases de dados: *Web of Science* e *Scopus*. Esses dois bancos de dados foram escolhidos como fonte de pesquisa, pois são reconhecidos na comunidade acadêmica por reunirem publicações revisadas por pares. Configurou-se as plataformas para buscar os termos nos tópicos: título, resumo e palavras-chave.

A sentença de busca delimitada para esta pesquisa foi (“circular economy” and “milk production”). Como critérios de inclusão de publicações, foi estabelecido o período de 2014 a 2023, e manuscritos escritos em língua Inglesa. O ano de 2014 foi definido como limite inferior por se tratar do ano da primeira publicação que relaciona os dois temas desta pesquisa; o ano de 2023 foi definido como limite superior para que a pesquisa considerasse apenas manuscritos já publicados. Para os critérios de exclusão, foi realizada uma pré-seleção pelo título das publicações, em que foi avaliada a conexão entre o título e seu potencial para responder à pergunta de pesquisa. A seguir, foram removidos os artigos duplicados e os estudos que não estavam de acordo com o estudo com base na leitura dos resumos. O quadro 1 descreve as etapas e a caracterização da revisão integrativa.

Quadro 1: Caracterização da Revisão integrativa

Etapa	Objetivos	Caracterização da Revisão integrativa
1 ^a	Delimitação do Tema	Práticas da Economia Circular e Cadeia Produtiva do Leite
2 ^a	Pergunta Norteadora	Quais são as práticas de economia circular na cadeia produtiva do leite?
3 ^a	Base de Dados	Web of Science e Scopus
4 ^a	Descritores	<i>circular economy, milk production</i>
5 ^a	Critérios de Inclusão	Anos 2014- 2023; Artigos em Inglês; Revisado por pares
6 ^a	Critérios de Exclusão	Pré-seleção do Título; Duplicados; Leitura dos Resumos
7 ^a	Identificação dos Estudos Pré Selecionados	9 artigos finais (6 artigos da WoS e 3 artigos da Scopus)
8 ^a	Categorização dos estudos selecionados	Identificação do artigo; título; Ano; Base de dados; Periódicos; ISSN; Autores; País
9 ^a	Análise e interpretação dos resultados	Variáveis e indicadores sobre as práticas e processos implementados

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A busca foi realizada em abril de 2024. Como resultado, foram identificados 119 artigos a partir da sentença (“*circular economy*” and “*milk production*”), sendo 100 na Web of Science e 19 na Scopus. Após a aplicação do critério de data (2014 a 2023) e idioma, restaram 78 artigos na Web of Science e 14 na Scopus.

Em seguida, foi feita uma pré-seleção dos 78 artigos identificados na Web of Science através do título, resultando em 26 artigos para leitura dos resumos. Destes, 7 foram selecionados para leitura completa. Já na Scopus, foi realizada a leitura dos resumos dos 14 artigos, dos quais 3 foram selecionados para leitura completa. Somando os artigos selecionados na Web of Science e Scopus, totalizou-se 10 artigos para leitura completa.

Após a leitura dos artigos, um deles foi removido por não estar no escopo da pesquisa, restando 9 artigos para análise dos dados. Os artigos selecionados foram analisados sob a ótica de variáveis relacionadas à economia circular, agrupadas em duas principais categorias: otimização de recursos e redução de resíduos. Na otimização de recursos, foram examinados os aspectos de uso eficiente de água, energia, matérias-primas e a preservação do ambiente. Já na redução de resíduos, a análise se concentrará na gestão de resíduos orgânicos, não recicláveis e recicláveis.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O quadro 2 apresenta as informações bibliométricas das publicações selecionadas, e o quadro 3 relaciona os títulos e seus respectivos objetivos. O quadro 4 contém informações extraídas dos estudos revisados, detalhando aspectos críticos das práticas dos processos de implementação, otimização de recursos (como água e energia) e redução de resíduos (orgânicos, recicláveis, etc).

Quadro 2: Visão abrangente dos artigos

Artigo	Ano	Base	Periódico	ISSN	Autores	País
1	2020	WoS	Journal of Cleaner Production	0959-6526	P. Stanchev , V. Vasilaki, D. Egas, J. Colon, S. Ponsa, E. Katsou	Espanha
2	2020	WoS	IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science	-	I. Uvarova, D. Atstaja, U. Grinbergs, J. Petersons, A. G. Zetterstroma, S. Kraze	Letônia
3	2022	WoS	Sustainable Production and Consumption	2352-5509	R. Rebolledo-Leiva, L. Vásquez-Ibarra, E. Entrena-Barbero, M. Fernández, G. Feijoo, M. T. Moreira, S. González-García	Espanha
4	2021	WoS	Journal of Environmental Management	0301-4797	A. S. Stasinakis, P. Charalambous, I. Vryrides	Chipre
6	2021	WoS	Molecules	1420-3049	C. M. Montone, S. E. Aita, C. Cavaliere, A. Cerrato, A. Laganà, S. Piovesana and A. L. Capriotti	Itália
7	2022	WoS	Trends in Food Science & Technology	0924-2244	V. Lavelli, M. P. Beccalli	Itália
8	2022	Scopus	Trends in Food Science & Technology	0924-2244	D. Granato, M. Carocho, L. Barros, I. Zabetakis, A. Mocan, A. Tsoupras, Adriano G. C., Tatiana C. P.	Brasil

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Quadro 3. Título e objetivo dos artigos selecionados.

Artigo	Title	Título	Objetivo
1	Multilevel environmental assessment of the anaerobic treatment of dairy processing effluents in the context of circular economy	Avaliação ambiental multinível do tratamento anaeróbio de efluentes do processamento de laticínios no contexto da economia circular	Propor uma abordagem para medir o desempenho ambiental do tratamento anaeróbio de efluentes do processamento de laticínios com base nos princípios da economia circular.
2	Transition to the circular economy and new circular business models - an in-depth study of the whey recycling	Transição para a economia circular e novos modelos de negócios circulares – um estudo aprofundado da reciclagem do soro de leite	Investigar a eficiência de custos e a viabilidade financeira dos modelos de negócio circulares na indústria de transformação de leite na Letónia.
3	Coupling Material Flow Analysis and Network DEA for the evaluation of eco-efficiency and circularity on dairy farms	Acoplamento de Análise de Fluxo de Materiais e Rede DEA para avaliação da ecoeficiência e circularidade em fazendas leiteiras	Proposição de um novo método para avaliação da ecoeficiência e circularidade que une a Análise de Fluxo de Materiais e a Rede DEA abordagem, chamada de método MFA + Network DEA.
4	Dairy wastewater management in EU: Produced amounts, existing legislation, applied treatment processes and future challenges	Gestão de águas residuais do setor leiteiro na UE: Quantidades produzidas, legislação existente, processos de tratamento aplicados e desafios futuros	Estudar a gestão de águas residuais de laticínios nos países da UE-27, fornecendo informações sobre as quantidades produzidas de resíduos sólidos urbanos por país da União Europeia.
5	High-Resolution Mass Spectrometry and Chemometrics for the Detailed Characterization of Short Endogenous Peptides in Milk By-Products	Espectrometria de massa e quimiometria de alta resolução para a caracterização detalhada de peptídeos endógenos curtos em subprodutos do leite	Investigar peptídeos endógenos curtos no leite e seus subprodutos (soro de leite integral, soro desnatado e permeado de soro de leite) por espectrometria de massa de alta resolução, com uma aquisição de dados de triagem.
6	Cheese whey recycling in the perspective of the circular economy: Modeling processes and the supply chain to design the involvement of the small and medium enterprises	Reciclagem de soro de queijo na perspectiva da economia circular: Modelagem de processos e da cadeia de abastecimento para desenhar o envolvimento das pequenas e médias empresas	Identificar o envolvimento potencial das pequenas e médias empresas na reciclagem de soro de leite para utilização alimentar.
7	Implementation of Sustainable Development Goals in the dairy sector: Perspectives on the use of agro-industrial side-streams to design functional foods	Implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no setor lácteo: Perspectivas sobre o uso de fluxos secundários agroindustriais para projetar alimentos funcionais	Fornecer uma visão geral das aplicações tecnológicas de fibra alimentar, polifenóis, lipídios funcionais e carotenoides obtidos de fluxos secundários agroindustriais em laticínios através de conceitos de economia circular e sustentabilidade.
8	Opportunities for waste to energy in the milk production industry: Perspectives for the circular economy	Oportunidades de desperdício em energia na indústria de produção de leite: Perspectivas para a economia circular	Contribuir para a construção do conhecimento sobre a degradação anaeróbia do soro de queijo desenvolvendo uma análise bibliométrica e traçando tendências em pesquisas.
9	Integrated agricultural and dairy production within a circular economy framework. A comparison of Italian and Polish farming systems	Produção agrícola e leiteira integrada num quadro de economia circular. Uma comparação entre os sistemas agrícolas italianos e polacos	Analizar os efeitos induzidos por diferentes combinações de insumos (materias-primas, eletricidade, fertilizantes) e resultados (culturas, leite, carne, eletricidade) no desempenho do processo.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Quadro 4: Variáveis e indicadores analisados sobre as práticas e processos implementados.

Variáveis	Indicadores	Práticas	Processos Implementados
Otimização de recursos	Água	Artigo 1: Digestão Anaeróbica Artigo 2: Águas Residuais. Artigo 4: Águas Residuais	Artigo 1: Permite a recuperação de recursos incorporados das águas residuais. Artigo 2: Implementação de CBMs Artigo 4: Pré-tratamento em série de águas residuais para remoção de gordura e ajuste de pH. Artigo 7: Reciclagem de soro de leite para recuperação de soro de leite em pó e água.
	Energia	Artigo 1: Digestão Anaeróbica Artigo 4: Consumo de energia elétrica de equipamentos eletromecânicos. Artigo 9: Digestão Anaeróbica. Artigo 10: Demanda Cumulativa de Energia.	Artigo 1: O excesso de eletricidade e calor produzido pela DA, produz redução no impacto ambiental. Artigo 4: Caldeira para geração de calor reduzindo as necessidades energéticas. Artigo 10: Digestor de Biogás e energia fotovoltaica.
	Matéria prima	Artigo 1: Efluentes lácteos. Artigo 2: Soro do leite. Artigo 4: Soro de leite integral, soro desnatado e permeado de soro de leite. Artigo 6: Soro de leite integral, queijo desnatado e permeado de soro de leite. Artigo 7: Soro de leite. Artigo 8: O soro de queijo.	Artigo 2: Modelos de negócios circulares de reciclagem. Artigo 3: Análise de Fluxo de Materiais Artigo 7: Controle e melhoria das propriedades nutricionais e da funcionalidade do soro de leite. Artigo 9: Processos anaeróbios.
Redução de resíduos	Orgânicos	Artigo 1: Fertilizantes minerais. Artigo 6: Solvente orgânicos. Artigo 9: Efluentes. Artigo 10: Poupar fertilizantes químicos.	Artigo 1: Substituição por fertilizantes orgânicos. Artigo 3: Esterco bovino como fertilizante orgânico. Artigo 6: Revalorização de subprodutos para a geração de compostos bioativos de elevado rendimento. Artigo 9: Processos anaeróbios. Artigo 10: Autoproduz matéria-prima e resíduos de forragem para o gado.
	Não Recicláveis	-	-
	Recicláveis	Artigo 2: Soro do leite. Artigo 4: Resíduos lácteos nas águas residuárias. Artigo 7: Soro de queijo, Soro do leite. Artigo 8: Produtos lácteos. Artigo 9: O soro de queijo.	Artigo 2: Processo de downcycling. Artigo 3: Análise de Fluxo de materiais. Artigo 4: Processos biológicos anaeróbios e/ou aeróbios para diminuição da carga orgânica e de nutrientes e utilização de membranas para os casos de recuperação de água. Artigo 7: Prevenção de contaminantes químicos e microbianos através da reciclagem do soro de leite. Artigo 8: Ingredientes bioativos e extratos.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).



No contexto do agronegócio, a otimização de recursos e a redução de resíduos são variáveis essenciais para promover práticas sustentáveis e eficientes. A otimização de recursos envolve o uso eficiente de água, energia, matérias-primas e a preservação do ambiente, enquanto a redução de resíduos foca na gestão de resíduos orgânicos, não recicláveis e recicláveis.

Dos estudos da revisão, Stanchev *et al.* (2020) mostram em seus resultados que o excesso de eletricidade e calor produzido a partir da central Digestão Anaeróbica aliado a Economia Circular provoca uma redução significativa do impacto ambiental global da instalação de processamento e permite a recuperação de recursos incorporados das águas residuais.

Uvarova *et al.* (2020) destaca que a implementação de modelos de negócios circulares melhora a competitividade das empresas de processamento de leite e que a transição para uma economia circular é um passo lógico para as empresas de transformação de leite garantirem o desenvolvimento empresarial sustentável. Além disso, a implementação de modelos de negócios circulares em empresas de processamento de leite oferece uma oportunidade para aumentar a eficiência e garantir o processamento adicional de resíduos ou águas residuais prejudiciais ao meio ambiente em produtos com maior valor agregado.

Rebolledo-Leiva *et al.* (2022) combinam o novo método para avaliação da ecoeficiência e da circularidade com uma abordagem combinada orientada para insumos e produtos de Análise de Fluxo de Materiais (MFA) e Análise Envoltória de Dados de Rede (DEA). Identificou-se ainda que a implementação do método proposto pode ajudar as partes interessadas e os tomadores de decisão a melhorar o desempenho da ecoeficiência de diferentes sistemas, identificando as fontes de ineficiência e estabelecendo planos de melhoria mais precisos para atingir níveis sustentáveis e eficientes.

Stasinakis, Charalambous e Vryrides (2022) destacam que a União Europeia estabeleceu uma conclusão de melhores técnicas disponíveis (MTD) para garantir a proteção ambiental e a gestão eficiente dos resíduos sólidos urbanos na indústria leiteira europeia, a fim de conseguir uma monitorização eficiente das águas residuais produzidas,

reduzir o consumo de água e aumentar a eficiência dos recursos. As águas residuais produzidas são tratadas no local através de uma combinação de processos físico-químicos e biológicos ou transferidas para a estação de tratamento de águas residuais municipal. A recuperação de energia, materiais e/ou compostos poderá apoiar no futuro a gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos, criando receitas adicionais para a indústria leiteira.

Montone *et al.* (2021) evidenciaram que o soro de leite integral e desnatado apresentou não apenas um maior teor de peptídeos bioativos curtos em comparação ao leite integral, mas também uma composição peculiar de peptídeos que provavelmente são gerados durante o processo de fabricação do queijo. Os resultados demonstram claramente que o soro de leite representa uma fonte valiosa de compostos bioativos e que a implementação de processos de revalorização de subprodutos do leite é um caminho promissor na obtenção de produtos com elevado rendimento a partir de resíduos industriais lácteos.

Ainda sobre o soro do leite, Lavelli e Beccalli, (2022) evidenciam que as análises técnico-econômicas aplicadas aos processos de recuperação de soro de leite levaram à conclusão de que o processamento a jusante em produtos alimentares está associado a um elevado consumo de energia, o que poderia ser mitigado em fábricas de grande dimensão que operam 100 ou mais toneladas de soro de leite diariamente. As abordagens de avaliação de risco evidenciaram que, para a reciclagem do soro de leite no sistema alimentar, é necessária a prevenção de vários contaminantes químicos e microbianos. Além disso, o controle e a melhoria das propriedades nutricionais e da funcionalidade do soro de leite através de tratamentos físicos e químicos podem potencialmente abrir uma nova área de aplicações de valor acrescentado.

Granato *et al.* (2022) cita que os processadores de laticínios podem usar ingredientes bioativos e extratos obtidos de fluxos secundários agroindustriais para projetar modelos alimentares potencialmente funcionais e comercializar provisoriamente esses produtos com alegações nutricionais ou mesmo com alegações de saúde, caso a bioatividade seja verificada na intervenção humana. Esta abordagem aumentará o valor

nutricional dos produtos lácteos tradicionais e contribuirá para a circularidade nos sistemas alimentares, reduzindo o desperdício alimentar e melhorando a saúde humana.

Casallas-Ojeda *et al.* (2021) mostram que a pesquisa em torno do soro de queijo é relativamente recente e que o maior percentual de publicações é a partir de 2018. Doze variáveis do processo anaeróbio de degradação do soro de queijo foram identificadas e agrupadas em cinco fatores: substrato, configuração do reator, análise do digerido, análise microbiológica e inóculo. Da mesma forma, identificou-se que grande parte dos processos anaeróbios permitem a implementação da economia circular no setor lácteo. A aplicação da digestão anaeróbica no setor leiteiro pode ajudar a fechar os ciclos produtivos, produzir biocombustíveis e reduzir a poluição.

Por fim, Ghisellini *et al.* (2014) identificaram que a transição da utilização de energia fóssil para a autossuficiência energética na exploração agrícola italiana melhorou vários indicadores calculados, em particular diminuiu a utilização de recursos materiais abióticos e a utilização de energia fóssil. Os potenciais de acidificação e eutrofização também diminuíram. Os indicadores de energia mostram que a autossuficiência é um caminho para um melhor desempenho em termos de eficiência na utilização de recursos. Porém, todas as explorações e cenários investigados estão muito longe de um estado real de sustentabilidade. Embora a diminuição da procura de energia fóssil seja certamente uma contribuição para diminuir ou prevenir novas alterações climáticas, a sustentabilidade global da exploração só pode ser alcançada através de uma utilização mais equilibrada de todos os outros recursos (por exemplo, uma melhor gestão das práticas de fertilização e alimentação animal), bem como através da otimização de insumos de trabalho e serviços.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão integrativa explorou as práticas de economia circular na cadeia produtiva do agronegócio do leite, destacando as variáveis de otimização de recursos e redução de resíduos. Os estudos revisados demonstraram que a implementação de modelos de negócios circulares e técnicas avançadas de gestão de resíduos pode reduzir



o impacto ambiental, aumentar a eficiência dos recursos e promover a sustentabilidade econômica e ambiental.

Os estudos analisados mostram que práticas como a digestão anaeróbica, a recuperação de subprodutos e a melhoria na gestão de resíduos são fundamentais para reduzir o impacto ambiental e aumentar a eficiência dos recursos. No entanto, a transição para um modelo verdadeiramente sustentável requer uma abordagem holística que considere a gestão equilibrada de todos os recursos disponíveis e a otimização dos processos produtivos.

A integração de práticas circulares nos processos de produção com foco na reutilização de resíduos e subprodutos para criar novos produtos de valor agregado, a implementação de práticas de eficiência energética, gestão eficiente da água e uso otimizado de matérias-primas nas operações diárias, o desenvolvimento de programas de treinamento e capacitação para produtores de leite sobre a importância e as técnicas de economia circular, além da criação de políticas de incentivo fiscal e subsídios podem ser uma alternativa para que modelos circulares gerem uma transformação sustentável e competitiva no setor lácteo.

A revisão sugere que futuras pesquisas poderiam focar em estudos de caso específicos para avaliar a implementação prática de modelos de economia circular em diferentes contextos e escalas na indústria leiteira. Além disso, investigar novas tecnologias emergentes e métodos de revalorização de subprodutos lácteos pode fornecer adicionais sobre como aprimorar a sustentabilidade e a eficiência das cadeias produtivas no agronegócio do leite. Avaliações de impacto econômico e ambiental detalhadas, bem como estudos longitudinais sobre a adoção de práticas circulares, também são recomendados para apoiar a transição para um setor leiteiro mais sustentável e competitivo.

REFERÊNCIAS

ABDALLA, F. A.; SAMPAIO, A. C. F. Os novos princípios e conceitos inovadores da Economia Circular. **Entorno geográfico**, n. 15, p. 82-102, 2018.



ALCÂNTARA, L. A.; SILVA, M. C. A.; NISHIJIMA, T. Educação ambiental e os sistemas de gestão ambiental no desafio do desenvolvimento sustentável. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 5, n. 5, p. 734-740, 2012.

BUGAIAN, L.; DIACONU, C. Circular economy: concepts and principles. **Journal of Social Sciences**, n. 2, p. 5-12, 2020.

CASALLAS-OJEDA, M. *et al.* Opportunities for waste to energy in the milk production industry: Perspectives for the circular economy. **Sustainability**, v. 13, n. 22, p. 12892, 2021.

DRUN, K. C.; GARCIA, Hugney Matos. Desenvolvimento sustentável e gestão ambiental nas organizações. **Revista Científica Eletrônica de Ciências Ambientais Aplicadas da EDUVALE**, v. 1, n. 1, p. 59-68, 2012.

DE ASSUNÇÃO, G. M. A gestão ambiental rumo à economia circular: como o Brasil se apresenta nessa discussão. **Sistemas & Gestão**, v. 14, n. 2, p. 223-231, 2019.

DE CASTRO, A. M. G.; LIMA, S. M. V.; CRISTO, C. M. P. N. Cadeia produtiva: marco conceitual para apoiar a prospecção tecnológica. In: **XXII Simpósio de Gestão e Inovação Tecnológica**. Salvador, 2002.

DE ÁVILA LERIPIO, A.; LERIPIO, D. C. CADEIAS PRODUTIVAS SUSTENTÁVEIS: SUSTAINABLE PRODUCTION CHAINS. **MIX Sustentável**, v. 1, n. 1, p. 142-159, 2015.

GHISELLINI, P. *et al.* Integrated agricultural and dairy production within a circular economy framework. A comparison of Italian and Polish farming systems. **J. Environ. Account. Manag**, v. 2, p. 367-384, 2014.

GONÇALVES, T. M.; BARROSO, A. F. F. A economia circular como alternativa à economia linear. In: **Anais do XI SIMPROD**, 2019.

GRANATO, D. *et al.* Implementation of Sustainable Development Goals in the dairy sector: Perspectives on the use of agro-industrial side-streams to design functional foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 124, p. 128-139, 2022.

GONÇALVES, T. M.; BARROSO, A. F. F. A economia circular como alternativa à economia linear. In: **Anais do XI SIMPROD**, 2019.

LAVELLI, V.; BECCALLI, M. P. Cheese whey recycling in the perspective of the circular economy: Modeling processes and the supply chain to design the involvement of



the small and medium enterprises. **Trends in Food Science & Technology**, v. 126, p. 86-98, 2022.

LEITÃO, A.. Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI. **Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting**, v. 1, n. 2, p. 149-171, 2015.

LUZ, B. *et al.* Economia circular Holanda: Brasil: da teoria à prática. **Rio de Janeiro: Exchange**, v. 4, 2017.

MACARTHUR, E. *et al.* Towards the circular economy. **Journal of Industrial Ecology**, v. 2, n. 1, p. 23-44, 2013.

MONTONE, C. M. *et al.* High-resolution mass spectrometry and chemometrics for the detailed characterization of short endogenous peptides in milk by-products. **Molecules**, v. 26, n. 21, p. 6472, 2021.

MOSTAGHEL, R.; OGHAZI, P. Circular Business Model Challenges and Lessons Learned – An Industrial Perspective. **Journal Sustainability**. v. 10, n. 3, 2018.

NASCIMENTO, L. F. Gestão ambiental e sustentabilidade. **Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC**, p. 45-46, 2012.

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

SÁNCHEZ-ZURANO, A. *et al.* Assessment of the mixotrophic production of Chlorella vulgaris using milk whey as a nutrient source. **Journal of Applied Phycology**, v. 36, n. 1, p. 87-100, 2024.

SCHROEDER, J. T.; SCHROEDER, Ivanir. Responsabilidade social corporativa: limites e possibilidades. **RAE eletrônica**, v. 3, 2007.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, Rachel de. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Einstein (São Paulo)**, v. 8, p. 102-106, 2010.

STAHEL, Walter R. The circular economy. **Nature**, v. 531, n. 7595, p. 435-438, 2016.

STANCHEV, P. *et al.* Multilevel environmental assessment of the anaerobic treatment of dairy processing effluents in the context of circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 261, p. 121139, 2020.



STASINAKIS, Athanasios S.; CHARALAMBOUS, Panagiotis; VYRIDES, Ioannis. Dairy wastewater management in EU: Produced amounts, existing legislation, applied treatment processes and future challenges. **Journal of environmental management**, v. 303, p. 114152, 2022.

UVAROVA, Inga *et al.* Transition to the circular economy and new circular business models—an in-depth study of the whey recycling. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2020. p. 012019.

VIANA, G.; FERRAS, R. P. R. A cadeia produtiva do leite: um estudo sobre a organização da cadeia e sua importância para o desenvolvimento regional. **Revista Capital Científico-Eletrônica (RCCe)-ISSN 2177-4153**, v. 5, n. 1, p. 23-40, 2007.

VIER, M. B. *et al.* Reflexões sobre a economia circular. **COLÓQUIO-Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 18, n. 4, out/dez, p. 27-47, 2021.

ZANATTA, P. Gestão ambiental e o desenvolvimento sustentável. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 296-312, 2017.