



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB
CENTRO DE TECNOLOGIA – CT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL – DECA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

NATHÁLIA VITÓRIA ALVES DE OLIVEIRA

A COMPOSTAGEM COMO ESTRATÉGIA PARA A BIOECONOMIA: REVISÃO DE
LITERATURA E PERSPECTIVAS FUTURAS

JOÃO PESSOA – PB

MARÇO DE 2026

NATHÁLIA VITÓRIA ALVES DE OLIVEIRA

A COMPOSTAGEM COMO ESTRATÉGIA PARA A BIOECONOMIA: REVISÃO
DE LITERATURA E PERSPECTIVAS FUTURAS

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido à Coordenação do Curso de
Graduação em Engenharia Ambiental
da Universidade Federal da Paraíba,
como requisito parcial e obrigatório
para a obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Claudia
Coutinho Nobrega

JOÃO PESSOA –PB

MARÇO DE 2026

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

O48c Oliveira, Nathalia Vitoria Alves de.
A compostagem como estratégia para a bioeconomia:
revisão de literatura e perspectivas futuras / Nathalia
Vitoria Alves de Oliveira. - João Pessoa, 2026.
79 f. : il.

Orientação: Claudia Coutinho Nobrega.
TCC (Graduação) - UFPB/Tecnologia.

1. Economia de base biológica. 2. Economia Circular.
3. Gestão de resíduos orgânicos. 4. Resíduos Orgânicos.
5. Sustentabilidade. I. Nobrega, Claudia Coutinho. II.
Título.

UFPB/BSCT

CDU 628 (043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

NATHÁLIA VITÓRIA ALVES DE OLIVEIRA

A COMPOSTAGEM COMO ESTRATÉGIA PARA A BIOECONOMIA: REVISÃO DE LITERATURA E PERSPECTIVAS FUTURAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 24/03/2026 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Claudia Coutinho Nobrega

Prof.^a Dr.^a Claudia Coutinho Nobrega

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UEPB

APROVADA

(Aprovado/Reprovado)

Aline Flavia Nunes Remigio Antunes

Prof.^a Dr.^a Aline Flavia Nunes Remigio Antunes

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UEPB

APROVADO

(Aprovado/Reprovado)

Elisângela Maria Rodrigues Rocha

Prof.^a Dr.^a Elisângela Maria Rodrigues Rocha

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UEPB

APROVADA

(Aprovado/Reprovado)

Aline Flavia Nunes Remigio Antunes

Prof.^a Dr.^a Aline Flavia Nunes Remigio Antunes

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus por permitir a conclusão do bacharel, foi uma longa jornada, desde quando comecei o curso em outra instituição, na qual o curso foi encerrado as atividades, até chegar aqui, não foi uma caminhada fácil, mas **Até aqui nos ajudou o SENHOR. (1º Samuel 7:12)**

Agradeço aos meus pais **Francisco Aurélio Alves de Oliveira** e **Simone Maria Alves de Oliveira** por me dar todas as estruturas necessárias para eu ter uma educação de qualidade e todo suporte desde do início ao fim do curso, além de todo o incentivo para chegar até o fim.

Dedico a esse parágrafo a minha amada tia **Silvana Alves Santos**, na qual tenho como modelo exemplar, formada na área de gestão ambiental, tendo mestrado e muitos artigos publicados, me inspirou e me incentivou a cursar e conhecer a área ambiental, e que me incentiva até hoje a continuar estudando, seja para mestrados, doutorados, pós-doutorados e concursos, além de incentivar a trabalhar na área sempre.

Quero também agradecer a minha prima **Thainá Alves Lycarião**, doutora em ciências biológicas, que assim como a minha tia, sempre me incentivou a estudar em instituições públicas, e principalmente me incentivou a ser pesquisadora e trabalhar em campo. E também quero dedicar agradecimentos ao meu primo **Jorge Lycarião Neto** por todo carinho, suporte e incentivo por mim, chegar até aqui não é fácil, mas como toda a rede de apoio, sempre é possível chegar até o final.

Quero imensamente agradecer a minha orientadora Prof.^a Dr.^a **Claudia Coutinho Nobrega** pela paciência, carinho e dedicação em me orientar e me ajudar a realizar esse trabalho de conclusão de curso. Venho também agradecer a minha banca pela dedicação para avaliar o meu trabalho e o meu esforço em apresentar esse trabalho.

Dedico esse parágrafo em agradecimento aos meus amados amigos que fiz ao longo do curso, **Ana Lívia Lima, Tayane Siqueira, Hellen Loyse, Alice Maria, Karen Vitória, Vitória Bitu, Camila Smangorzewski, Cecília Izabel, Manoella Moraes, Maria Clara Ribeiro, Clara Gomes, Maria Eduarda Macedo, Mirella Souza, Jefferson Luiz, Izabely Ester, Larissa Amaral, Michelle**

Rayllanne, Letícia Raquel e aos demais amigos que compõe o grupo “**Amigos da UF**”

De antemão, agradecer também aos meus amigos que trabalham comigo na empresa **João Henrique, Pedro Aragão, Maria Eduarda Ramalho, Ângelo Saturnino, Shirley Mendonça, Nicole França e Mayra Daher** por todo carinho e suporte que vocês me deram dentro da empresa.

E por fim, dedico esse parágrafo ao meu amado amigo de longa data **Nicky Vasconcellos**, obrigada por ser o meu irmão durante esses 12 anos de amizade, obrigado por todo o suporte e toda a alegria que você proporciona, que a nossa amizade dure mais 12 anos, 20 anos, 40 anos, até a outra vida.....

RESUMO

A bioeconomia fundamenta-se na utilização sustentável de recursos biológicos renováveis como alternativa ao modelo econômico linear baseado em recursos fósseis. Nesse contexto, a compostagem destaca-se como tecnologia estratégica para valorização da fração orgânica dos resíduos sólidos, promovendo o fechamento de ciclos de nutrientes e a reinserção de materiais nos sistemas produtivos. O presente estudo teve como objetivo analisar, por meio de uma revisão sistemática da literatura científica, como a compostagem tem sido abordada enquanto estratégia da bioeconomia no período de 2016 a 2024, identificando tendências, padrões de produção científica, núcleos temáticos e lacunas de pesquisa. A metodologia seguiu o protocolo PRISMA, com busca realizada na base de dados Scopus, resultando inicialmente em 140 documentos, dos quais 56 artigos compuseram a amostra final da análise. Além da revisão sistemática, foi conduzida análise bibliométrica com o software VOSviewer, contemplando coautoria, coocorrência de palavras-chave, citações, acoplamento bibliográfico e cocitação. Os resultados evidenciaram crescimento recente da produção científica, com destaque para países asiáticos, especialmente Índia, China e Malásia, além de relevante participação europeia. Identificaram-se núcleos temáticos consolidados relacionados à valorização de resíduos orgânicos, integração entre compostagem e digestão anaeróbia, sustentabilidade ambiental e economia circular. A análise de palavras-chave demonstrou forte inter-relação entre bioeconomia, compostagem, gestão de resíduos e sustentabilidade, confirmando a consolidação conceitual da compostagem como instrumento operacional da bioeconomia circular. Contudo, observaram-se lacunas quanto à integração entre análises ambientais, econômicas e de governança. Conclui-se que a compostagem configura-se como tecnologia fundamental para a transição a sistemas produtivos sustentáveis, contribuindo para mitigação de impactos ambientais, recuperação de nutrientes e fortalecimento de cadeias de valor bioeconômicas.

Palavras-Chave: Economia de base biológica, Economia Circular, Gestão de resíduos orgânicos, Resíduos Orgânicos, Sustentabilidade.

ABSTRACT

The bioeconomy is based on the sustainable use of renewable biological resources as an alternative to the linear economic model dependent on fossil resources. In this context, composting stands out as a strategic technology for the valorization of the organic fraction of solid waste, promoting nutrient cycling and reintegration of materials into productive systems. This study aimed to analyze, through a systematic literature review, how composting has been addressed as a bioeconomy strategy between 2016 and 2024, identifying scientific trends, thematic clusters, and research gaps. The methodology followed the PRISMA protocol, with data collection conducted in the Scopus database, initially identifying 140 documents, of which 56 articles composed the final corpus. In addition to the systematic review, a bibliometric analysis was performed using VOSviewer software, including co-authorship, keyword co-occurrence, citation, bibliographic coupling, and co-citation analyses. The results indicated recent growth in scientific production, with emphasis on Asian countries, particularly India, China, and Malaysia, alongside significant European participation. Consolidated thematic clusters were identified, focusing on organic waste valorization, integration between composting and anaerobic digestion, environmental sustainability, and circular economy approaches. Keyword analysis demonstrated strong interrelation among bioeconomy, composting, waste management, and sustainability, confirming the conceptual consolidation of composting as an operational tool of circular bioeconomy. However, gaps remain regarding the integration of environmental, economic, and governance assessments. It is concluded that composting represents a key technology for the transition toward sustainable production systems, contributing to impact mitigation, nutrient recovery, and the strengthening of bio-based value chains.

Keywords: Bio-based economy, Circular Economy, Organic waste management, Organic Waste, Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação de três abordagens para a Bioeconomia	19
Figura 2 - Economia Circular e Gestão de Resíduos	23
Figura 3 - Fases de um modelo de Economia Circular	24
Figura 4 - Esquema Simplificado do Processo de Compostagem	27
Figura 5 - Etapas do Processo de Compostagem	28
Figura 6 - Escala de Prioridades para o Gerenciamento dos Resíduos Sólidos	29
Figura 7 - Fluxograma do Processo de Seleção dos Estudos (PRISMA)	44
Figura 8 - Mapa de coautoria entre autores da amostra analisada.	45
Figura 9 - Mapa de citações entre autores da amostra analisada.	46
Figura 10 - Mapa de acoplamento bibliográfico entre autores da amostra analisada.	48
Figura 11 - Mapa de cocitação entre autores citados nos estudos analisados.	50
Figura 12 - Mapa de coautoria entre organizações da amostra analisada.	51
Figura 13 - Mapa de citações entre organizações da amostra analisada.	52
Figura 14 - Mapa de acoplamento bibliográfico entre organizações da amostra analisada.	54
Figura 15 - Mapa de coautoria entre países da amostra analisada.	56
Figura 16 - Mapa de citações entre países da amostra analisada.	57
Figura 17 - Mapa de acoplamento bibliográfico entre países da amostra analisada.	59
Figura 18 - Mapa de co-ocorrência de todas as palavras-chave dos estudos analisados.	61
Figura 19 - Mapa de coocorrência das palavras-chave dos autores dos estudos analisados.	62
Figura 20 - Mapa de coocorrência das palavras-chave indexadas (Index Keywords) dos estudos analisados.	63
Figura 21 - Mapa de citações entre os documentos da amostra analisada.	64
Figura 22 - Mapa de acoplamento bibliográfico entre os documentos da amostra analisada.	66
Figura 23 - Mapa de citações entre as fontes (periódicos) da amostra analisada.	68
Figura 24 - Mapa de acoplamento bibliográfico entre as fontes (periódicos) da amostra analisada.	69
Figura 25 - Mapa de cocitação das fontes citadas nos estudos analisados.	71
Figura 26 - Mapa de cocitação das referências citadas nos estudos analisados.	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Diversas áreas em que a Bioeconomia atua	20
Quadro 2 - Cadeia de Valor em Bioeconomia	21

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ACV – Avaliação de Ciclo de Vida
- BCR – Bio-Circular-Green Economy
- CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
- EC – Economia Circular
- GEE – Gases de Efeito Estufa
- GRS – Gestão de Resíduos Sólidos
- IRR – Taxa Interna de Retorno
- ISSO – Organização Internacional de Padronização
- NBR – Norma Brasileira
- NPV – Valor Presente Líquido
- ODS – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
- PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos
- PRISMA - Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
- PSS - Sistemas Produto-Serviço

SUMÁRIO

1.	13
1.1.	16
1.1.1.	16
1.1.2.	16
2.	17
2.1.	17
2.2.	22
2.3.	26
2.4.	30
3.	40
3.1.	40
3.2.	40
3.3.	41
3.4.	41
3.5.	42
4.	43
4.1.	43
4.1.1.	43
4.1.2.	49
4.1.3.	53
4.2.	59
4.2.1.	59
4.2.2.	60
4.2.3.	61
4.3.	62
4.3.1.	62
4.3.2.	65
4.3.3.	70
5.	71
6.	72

1. INTRODUÇÃO

A bioeconomia é definida como o conjunto de atividades econômicas fundamentadas na utilização sustentável e inovadora de recursos biológicos renováveis, especialmente a biomassa, em substituição às matérias-primas de origem fóssil. Essa abordagem contempla a produção de alimentos, rações, materiais, produtos químicos, combustíveis e energia, por meio de processos biológicos, químicos, termoquímicos ou físicos. Além de promover a diversificação produtiva, a bioeconomia contribui para a saúde pública, o desenvolvimento sustentável, o crescimento econômico nacional e o bem-estar da população (Afonso, 2021; Bugge, 2016).

Em razão de sua transversalidade e abrangência, a bioeconomia demanda uma ampla base de conhecimentos para seu pleno desenvolvimento. Trata-se de um campo intensivo em ciência e tecnologia, cuja competitividade está diretamente associada à capacidade de inovação. Nesse contexto, tornam-se necessários constantes levantamentos, estudos e análises, exigindo a formação e a atuação de recursos humanos qualificados nas dimensões científica, tecnológica, mercadológica e regulatória. Essa estrutura multidisciplinar é fundamental para a adequada compreensão das oportunidades e dos desafios inerentes à consolidação da bioeconomia (PACTI, 2022).

A bioeconomia apresenta forte convergência com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 17 (ODS 17), ao promover cooperação internacional, inovação tecnológica e articulação entre governos, setor privado, instituições acadêmicas e sociedade civil. Suas diretrizes alinham-se especialmente às metas 17.6, 17.7, 17.16 e 17.17, que enfatizam o fortalecimento da ciência, da transferência tecnológica e das parcerias multissetoriais como instrumentos para a implementação de modelos produtivos sustentáveis. Nesse contexto, a bioeconomia configura-se como estratégia relevante para a operacionalização do desenvolvimento sustentável por meio do uso responsável dos recursos biológicos (PACTI, 2022).

Dessa maneira, a bioeconomia contribui para o fortalecimento da capacidade institucional, para o estímulo a investimentos responsáveis e para a consolidação de redes colaborativas, elementos fundamentais à implementação efetiva da Agenda 2030. Ao integrar diferentes atores e promover a cooperação

internacional, reforça-se a governança, a inovação e a solidariedade global como pilares estruturantes do desenvolvimento sustentável.

A bioeconomia fortalece a integração entre o setor primário, especialmente a agricultura, a indústria de transformação e o setor de serviços, promovendo cadeias produtivas interdependentes baseadas no uso de recursos biológicos. Essa articulação contribui para a geração de valor, o aumento da eficiência produtiva e a diversificação econômica, consolidando bases para modelos produtivos mais sustentáveis (Oliveira e Silva; Pereira; Martins, 2018).

A compostagem de resíduos orgânicos apresenta-se como uma alternativa ambientalmente adequada para o tratamento de resíduos sólidos, ao gerar como produto final o composto orgânico destinado ao uso agrícola. Esse processo possibilita a valorização da fração orgânica dos resíduos, promovendo sua reinserção nos ciclos produtivos e reduzindo a destinação inadequada em aterros sanitários. Ademais, a compostagem atende a princípios considerados fundamentais no conceito de desenvolvimento sustentável, tais como a minimização dos impactos ambientais, a redução da geração de rejeitos e a maximização da reciclagem de materiais orgânicos, configurando-se como estratégia eficiente para a gestão sustentável de resíduos sólidos (EMBRAPA, 2010).

A fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos representa parcela significativa da massa total gerada globalmente, sendo composta majoritariamente por restos alimentares, resíduos de jardins e subprodutos agroindustriais. A destinação desses resíduos por meio de tecnologias biológicas, como a compostagem e a digestão anaeróbia, contribui para a mitigação de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e para a redução da disposição em aterros sanitários (Saravanan *et al.*, 2022).

A compostagem, enquanto processo biológico aeróbio controlado, promove a estabilização da matéria orgânica e a transformação de resíduos em composto orgânico com potencial agrônomo. Além de reduzir o volume de resíduos, o processo favorece a ciclagem de nutrientes e a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, inserindo-se diretamente nos princípios da economia circular e da bioeconomia sustentável (Khoshenevisan *et al.*, 2021).

No âmbito da bioeconomia, a valorização de resíduos orgânicos por meio da compostagem integra estratégias de reaproveitamento de carbono e nutrientes, reduzindo a pressão sobre recursos naturais e fertilizantes sintéticos. Dessa forma, a compostagem não apenas constitui tecnologia de tratamento, mas também instrumento estratégico de transição para sistemas produtivos regenerativos e de baixo carbono (Awasthi *et al.*, 2019).

A crescente geração de resíduos orgânicos, associada ao crescimento populacional e à intensificação das cadeias agroalimentares, impõe desafios ambientais, econômicos e sociais relacionados à gestão sustentável desses materiais. Estudos indicam que a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos pode ultrapassar 40% do total gerado, evidenciando a necessidade de estratégias eficazes de tratamento e valorização (Maina; Kachrimanidou; Koutinas, 2017).

Além disso, a literatura recente destaca a necessidade de avaliação sistemática dos impactos ambientais, energéticos e econômicos associados às tecnologias de tratamento de resíduos orgânicos, especialmente quando inseridas em modelos de bioeconomia. A ausência de síntese estruturada sobre essas interações justifica a realização de uma revisão sistemática que organize e analise criticamente os resultados existentes (Awasthi *et al.*, 2019).

A transição para a bioeconomia demanda integração entre políticas públicas, inovação tecnológica e gestão sustentável de resíduos, porém os estudos disponíveis encontram-se dispersos em diferentes áreas do conhecimento, incluindo engenharia ambiental, biotecnologia, agronomia e energia renovável (Maina; Kachrimanidou; Koutinas, 2017).

A revisão sistemática torna-se necessária para identificar tendências, lacunas e convergências na produção científica relacionada à compostagem dentro da bioeconomia, permitindo mapear tecnologias, indicadores de sustentabilidade e modelos de valorização de resíduos orgânicos (Saravanan *et al.*, 2022).

Adicionalmente, a literatura aponta desafios técnicos e ambientais associados aos processos biológicos, como controle de emissões, eficiência na recuperação de nutrientes e viabilidade econômica, reforçando a importância de consolidar evidências científicas para orientar futuras pesquisas e decisões estratégicas (Khoshnevisan *et al.*, 2021).

A presente revisão sistemática contribui para a consolidação do conhecimento sobre a interface entre compostagem e bioeconomia, organizando evidências científicas relativas à valorização de resíduos orgânicos e à recuperação de nutrientes em sistemas circulares (Awasthi *et al.*, 2019).

A presente pesquisa está estruturada a partir de uma revisão sistemática da literatura com enfoque na interface entre bioeconomia e compostagem, buscando identificar tendências científicas, lacunas de conhecimento e padrões de produção acadêmica no período recente. A organização do trabalho contempla a contextualização teórica do tema, a descrição metodológica detalhada da revisão sistemática, a análise bibliométrica e qualitativa dos estudos selecionados e, por fim, a discussão integrada dos resultados à luz dos princípios da economia circular e da sustentabilidade ambiental.

A estrutura metodológica adotada permite garantir rigor científico, transparência e reprodutibilidade ao processo de seleção e análise dos artigos, assegurando que os resultados apresentados sejam fundamentados em critérios claros e sistematizados de busca, triagem e avaliação das publicações.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Analisar por meio de uma revisão sistemática da literatura científica, dentre os anos de 2016 a 2024, como a compostagem tem sido abordada enquanto estratégia da bioeconomia, identificando tendências, aplicações e contribuições para a sociedade.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar a evolução temporal das publicações sobre compostagem no contexto da bioeconomia no período de 9 anos.
- Analisar os principais periódicos, autores, países e instituições que se destacam na produção científica sobre o tema.
- Mapear as palavras-chave mais recorrentes e suas inter-relações, utilizando o *software* VOSviewer.

- Identificar as principais abordagens temáticas, aplicações e tecnologias associadas à compostagem dentro da bioeconomia.
- Verificar lacunas de pesquisa e tendências futuras apontadas pela literatura científica analisada.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Bioeconomia: conceitos, abordagens e evolução

O conceito de bioeconomia assume diferentes significados conforme os referenciais teóricos que o fundamentam, tanto na produção científica quanto nas perspectivas de povos indígenas e comunidades tradicionais. No campo acadêmico, destacam-se três abordagens principais: a biotecnológica, voltada à inovação científica e à aplicação comercial da biotecnologia; a dos biorrecursos, centrada na organização de cadeias produtivas baseadas na biomassa e no uso eficiente de recursos renováveis; e a bioecológica, que incorpora uma visão ampliada orientada à sustentabilidade ambiental, à saúde dos ecossistemas e às dimensões sociais do uso dos recursos naturais (Johnson et al., 2022; Bugge et al., 2016).

De acordo com o relatório técnico da NatureFinance (2024), tais abordagens não são mutuamente excludentes, estando suas distinções relacionadas a diferentes prioridades estratégicas, contextos socioeconômicos e motivações políticas observadas entre os países do G20. No âmbito da abordagem bioecológica, destaca-se o conceito de sociobiodiversidade, que evidencia a inter-relação entre diversidade biológica e diversidade cultural, reconhecendo o papel dos conhecimentos tradicionais na conservação e no uso sustentável dos recursos naturais. No contexto brasileiro, a Rede Uma Concertação pela Amazônia propõe uma classificação específica das abordagens da bioeconomia voltadas à região amazônica, reforçando a necessidade de modelos adaptados às particularidades ecológicas, sociais e econômicas do território.

A compostagem constitui-se como alternativa relevante para a reutilização de materiais orgânicos, apresentando significativa importância

econômica tanto em propriedades rurais quanto em centros urbanos. No meio rural, possibilita o reaproveitamento de resíduos como esterco animal, palhas e folhas, promovendo a valorização desses materiais no próprio sistema produtivo. Nos grandes centros urbanos, destaca-se pelo potencial de tratamento de elevadas quantidades de resíduos orgânicos provenientes do descarte de alimentos por residências, supermercados, feiras e restaurantes, bem como de resíduos vegetais oriundos de floriculturas e atividades paisagísticas, entre outros materiais passíveis de transformação em composto orgânico. Dessa forma, a compostagem contribui para a redução do volume de resíduos destinados a aterros e para a geração de insumos agrícolas de valor agregado (Suquizaqui et al., 2022).

Segundo Maina; Kachrimanidou; Koutinas (2017), ao sintetizar resultados de diferentes contextos geográficos e tecnológicos, o estudo permite identificar padrões de aplicação, oportunidades de inovação e desafios operacionais associados à compostagem como estratégia de bioeconomia, fornecendo base teórica para políticas públicas e planejamento ambiental.

Khoshnevisan et al. (2021) explicam que além disso, a análise integrada das publicações selecionadas possibilita identificar lacunas de pesquisa relacionadas à eficiência dos processos, análise de ciclo de vida e modelos econômicos aplicáveis à gestão de resíduos orgânicos, fortalecendo o desenvolvimento de sistemas produtivos sustentáveis.

Embora diferentes tecnologias de conversão biológica estejam disponíveis, observa-se heterogeneidade nas abordagens metodológicas, nos indicadores de desempenho e nas análises de sustentabilidade aplicadas aos sistemas de compostagem e biorrefinarias orgânicas. Tal diversidade dificulta a consolidação de evidências científicas integradas sobre o papel da compostagem no fortalecimento da bioeconomia (Khoshnevisan et al., 2021).

Na Figura 1 mostra-se a classificação de três abordagens para a Bioeconomia

Figura 1 - Classificação de três abordagens para a Bioeconomia

1

Sociobiodiversidade: Refere-se à interligação entre as diversidades biológica e cultural e centra-se em cadeias de valor inclusivas de produtos florestais não-madeireiros pertencentes e produzidos por povos indígenas e comunidades tradicionais.³

2

Bioeconomia florestal: Refere-se a métodos de manejo como silvicultura de florestas nativas, sistemas integrados de produção pecuária-lavoura-floresta, sistemas agroflorestais e recuperação de áreas degradadas.

3

Agrobioeconomia: Refere-se a processos de produção intensiva, como florestas plantadas e agricultura comercial (Rede Uma Concertação pela Amazônia, 2023).

Fonte: FGV EAESP (2024).

A bioeconomia configura-se como um novo paradigma para o desenvolvimento sustentável no século XXI, fundamentado na ampliação acelerada das possibilidades proporcionadas pelas ciências biológicas e por sua aplicação na resolução de problemas complexos e de elevada magnitude. Esse paradigma está associado à incorporação de inovações tecnológicas que caracterizam a chamada “Terceira Revolução Industrial”, destacando-se, por exemplo, o desenvolvimento de novos polímeros destinados à impressão tridimensional (3D), os avanços na engenharia enzimática, na produção de prebióticos e probióticos, bem como na gastronomia molecular (OECD, 2009; European Commission, 2018; Bugge; Hansen; Klitkou, 2016).

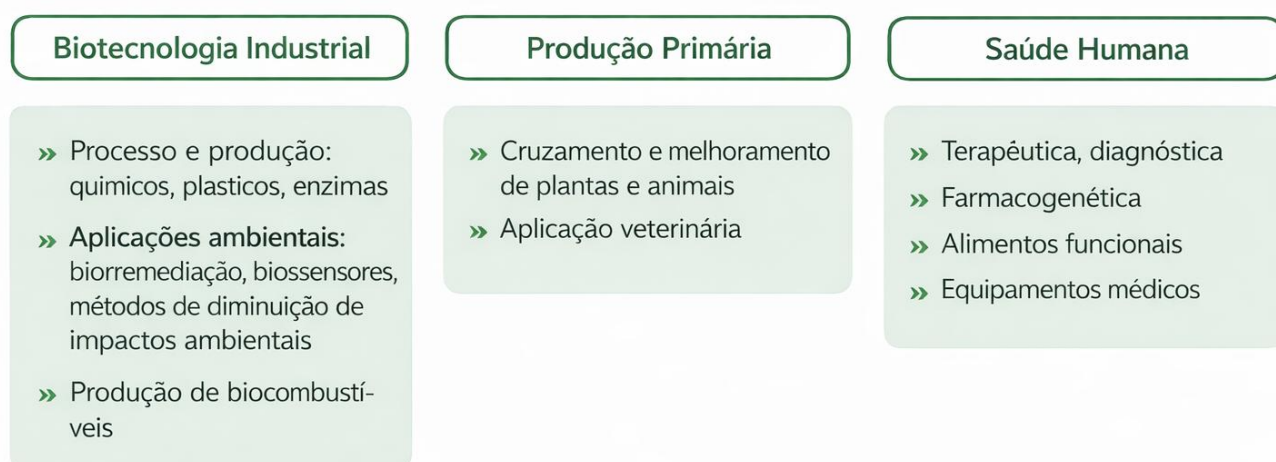
Paralelamente, observa-se a expansão de tecnologias emergentes, como os métodos de previsão baseados em análise de dados de mídias sociais (forecasting), o aprofundamento dos conhecimentos acerca da biossíntese em leveduras e suas aplicações no campo dos biocombustíveis, além do desenvolvimento de redes neurais artificiais, inclusive “perceptrons” químicos autônomos, capazes de aprendizado e com ampla aplicabilidade como biossensores. Tais inovações evidenciam a convergência entre biotecnologia,

digitalização e inteligência artificial, consolidando novas fronteiras para a produção sustentável.

No contexto brasileiro, a apropriação das oportunidades advindas desse novo paradigma requer o comprometimento institucional do Estado, materializado por meio da formulação e implementação de uma Política Nacional de Bioeconomia. Para tanto, torna-se imprescindível o alinhamento estratégico de prioridades, a ampliação de investimentos e a modernização do marco regulatório, de modo a promover avanços consistentes em ciência, tecnologia e inovação, bem como o fortalecimento de políticas de apoio ao desenvolvimento empresarial nos setores abrangidos pela bioeconomia.

No Quadro 1 pode observar as diversas áreas da bioeconomia

Quadro 1 - Diversas áreas em que a Bioeconomia atua



Fonte: Confederação Nacional da Indústria – CNI (2014).

O ponto de partida da Agenda fundamenta-se no reconhecimento de que o desenvolvimento de soluções inovadoras no campo das biociências está intrinsecamente ancorado na produção e na consolidação do conhecimento científico. Nesse contexto, torna-se imprescindível o fortalecimento e a ampliação da base de recursos humanos qualificados, bem como o aprimoramento da infraestrutura laboratorial, a fim de viabilizar o avanço de linhas de pesquisa estratégicas, especialmente nas áreas de biologia sintética, genômica, proteômica e biomateriais (OECD, 2009; European Commission, 2018).

O objetivo central consiste na formação de uma massa crítica de pesquisadores altamente capacitados, capaz de impulsionar o surgimento de novos talentos e lideranças científico-tecnológicas no Brasil. Para tanto, evidencia-se a necessidade de criar ou fortalecer, com base em critérios competitivos e meritocráticos, um conjunto estratégico de grupos de pesquisa de excelência, favorecendo sua articulação com instituições internacionais de reconhecida relevância. Essa integração pode contribuir para que tais grupos se consolidem como referências na fronteira do conhecimento em bioeconomia.

Dessa forma, a bioeconomia apresenta-se como uma oportunidade concreta para o desenvolvimento nacional, desde que estruturada a partir de uma articulação coerente entre os interesses do Estado brasileiro, do setor empresarial, da comunidade acadêmica e da sociedade civil. Essa estratégia deve estar fundamentada no respeito aos princípios da sustentabilidade e da conservação dos recursos naturais, ao mesmo tempo em que assegura a competitividade da indústria nacional no cenário econômico global.

No Quadro 2 pode-se observar a cadeia de valor em bioeconomia

Quadro 2 - Cadeia de Valor em Bioeconomia



Fonte: Confederação Nacional da Indústria – CNI (2014).

De modo geral, o arcabouço regulatório da bioeconomia apresenta elevada complexidade e entraves burocráticos, o que pode limitar a inovação e a transformação do conhecimento científico em desenvolvimento econômico.

Nesse sentido, a modernização das normas e o fortalecimento de políticas públicas tornam-se estratégicos para estimular a produção científica, ampliar cooperações nacionais e internacionais e garantir maior adaptação às novas oportunidades tecnológicas e de mercado.

A consolidação da bioeconomia requer a formação de um perfil profissional orientado à integração entre pesquisa, empreendedorismo e inovação, bem como o fortalecimento de grupos científicos multidisciplinares capazes de estabelecer relações eficazes com o setor empresarial. Para tanto, faz-se necessária a remoção de barreiras que dificultam a transferência de conhecimento científico e tecnológico do ambiente acadêmico para o setor produtivo. Igualmente, é imprescindível ampliar o domínio de estratégias relacionadas à proteção, comercialização e gestão da propriedade intelectual, com destaque para o uso estratégico de patentes como instrumento de competitividade e valorização tecnológica (CNI, 2017, p. 25-30).

2.2. Economia circular e gestão de resíduos orgânicos

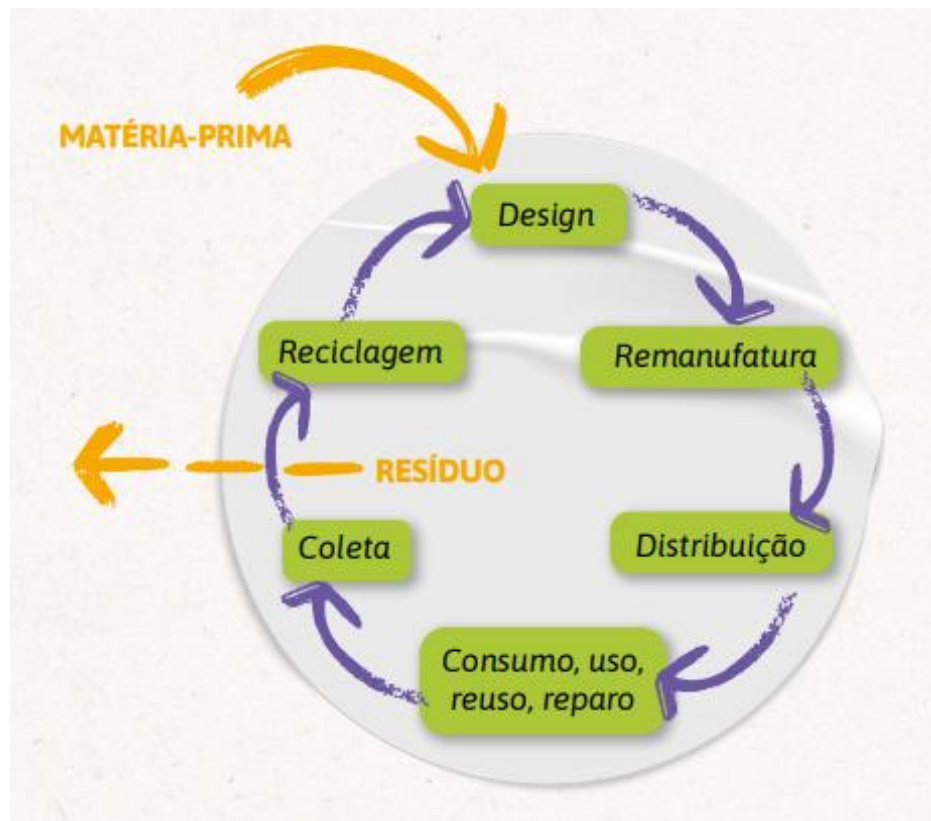
O conceito de economia de ciclo fechado, atualmente conhecido como economia circular, foi inicialmente apresentado por Boulding (1966), sendo posteriormente desenvolvido por Stahel e Reday-Mulvey (1976). Essa formulação teórica contribuiu para sua incorporação nas políticas industriais da Alemanha e do Japão nas décadas de 1980 e 1990, incentivando a adoção de princípios circulares, como a orientação da produção pela demanda e a redefinição de processos produtivos enxutos (Fontgalland, 1999). Ao longo da década de 1990, as discussões foram aprofundadas por pesquisadores da ecologia industrial, culminando no desenvolvimento dos conceitos de simbiose industrial e de sistemas produto-serviço (Product-Service Systems – PSS), que ampliaram a compreensão das interações entre processos produtivos e fluxos de materiais (Badaró, 2022).

A economia circular implica a estruturação de mercados que criem incentivos econômicos para a reutilização, a recuperação e a reciclagem de produtos, em substituição ao modelo linear baseado na extração, produção, consumo e descarte. Nesse modelo, diferentes tipos de resíduos como têxteis,

sucata metálica e equipamentos eletroeletrônicos obsoletos, são reintegrados aos ciclos produtivos ou utilizados de forma mais eficiente, promovendo a redução da extração de recursos naturais e a minimização dos impactos ambientais.

A Figura 2 mostra a economia circular e gestão de resíduos sólidos

Figura 2 - Economia Circular e Gestão de Resíduos



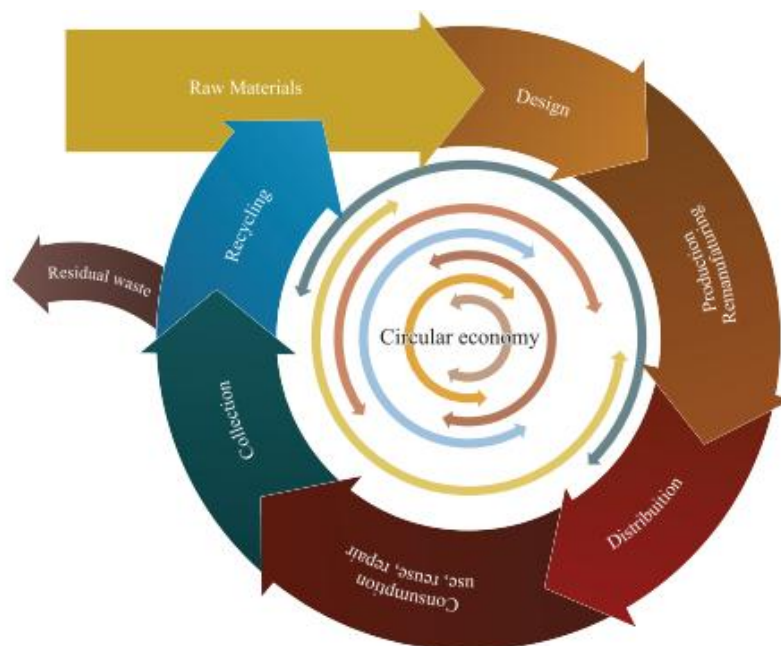
Fonte: Instituto Veredas, 2024.

A economia circular propõe a redução do uso de materiais por meio do redesenho de produtos, processos e serviços, de modo a torná-los menos intensivos em recursos naturais. Além disso, busca transformar resíduos em insumos produtivos, reintegrando-os aos ciclos econômicos como matérias-primas secundárias. A adoção desse modelo pode ampliar oportunidades comerciais e de geração de emprego, contribuir para a mitigação das mudanças climáticas e reduzir custos associados à limpeza urbana e à disposição final de resíduos, tanto em países desenvolvidos quanto em países em desenvolvimento (Farias *et al.*, 2024).

Os processos que promovem a circularidade podem ser organizados em quatro categorias principais. A primeira refere-se à redução por meio do design, que consiste na diminuição do uso de materiais, especialmente matérias-primas virgens, desde as etapas iniciais de concepção de produtos e serviços. A segunda categoria envolve estratégias do ponto de vista do usuário final, como recusar, reduzir e reutilizar. A terceira contempla ações intermediárias entre usuários e empresas, incluindo reparar, recondicionar e remanufaturar. Por fim, a quarta categoria abrange práticas entre empresas, como reaproveitamento e reciclagem de materiais, consolidando fluxos produtivos mais eficientes e menos dependentes da extração de novos recursos (Farias *et al.*, 2024).

Na Figura 3, pode-se observar as fases de um modelo de economia circular.

Figura 3 - Fases de um modelo de Economia Circular



Fonte: European Commission (2014)

Em contraposição ao modelo linear de produção e consumo, a economia circular é definida como um “sistema econômico que utiliza uma abordagem sistêmica para manter um fluxo circular de recursos, ao recuperar, reter ou agregar valor a esses recursos, ao mesmo tempo em que contribui para o desenvolvimento sustentável” (ABNT NBR ISO 59004:2024). Essa definição evidencia seu caráter estruturante, ao integrar eficiência econômica,

preservação ambiental e geração de valor ao longo de todo o ciclo de vida dos materiais.

A economia circular configura-se, portanto, como alternativa ao sistema tradicional de gestão, ao propor um modelo orientado à eliminação do desperdício e da poluição desde a extração dos recursos naturais até o consumo final. Nesse sistema, busca-se assegurar que os materiais retornem aos ciclos produtivos após o uso, seja por meio de processos industriais, seja, no caso de resíduos orgânicos, por sua reintegração segura ao meio ambiente, reproduzindo ciclos naturais de regeneração (Libra; Sobral, 2022).

A economia circular pode ser compreendida em três níveis complementares: micro, meso e macro. No nível micro, consumidores e empresas atuam na redução de resíduos por meio da priorização de produtos duráveis, reutilizáveis e reparáveis, além da adoção de práticas como reciclagem, remanufatura e logística reversa. Já no nível macro, envolve transformações estruturais em escala nacional ou global, com políticas públicas, gestão integrada de resíduos e estratégias voltadas à descarbonização e à eficiência energética, promovendo mudanças nos padrões de produção e consumo (Abreu et al., 2025).

No âmbito regulatório, torna-se necessário fortalecer políticas públicas voltadas à gestão de resíduos sólidos, acompanhadas de mecanismos de fiscalização mais efetivos. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituído pela Lei nº 12.305/2010 e regulamentado pelo Decreto nº 11.093/2022, estabelece diretrizes para a gestão integrada e ambientalmente adequada dos resíduos sólidos. Entre suas estratégias destacam-se a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e a implementação da logística reversa, instrumentos que viabilizam o retorno de materiais após o consumo.

A gestão inadequada de resíduos sólidos afeta toda a sociedade, embora seus impactos negativos incidam de maneira mais intensa sobre populações socialmente vulneráveis. O modelo de desenvolvimento predominante ainda se baseia em uma lógica linear caracterizada como extrair, produzir e descartar, conforme descrito por Ness (2018). De acordo com Libra e Sobral (2022), mesmo quando se incorporam os chamados “R’s” da sustentabilidade repensar, recusar, reduzir, reutilizar e reciclar, muitas iniciativas permanecem limitadas à otimização

do modelo linear, sem explorar plenamente o potencial de valorização econômica e ambiental dos resíduos.

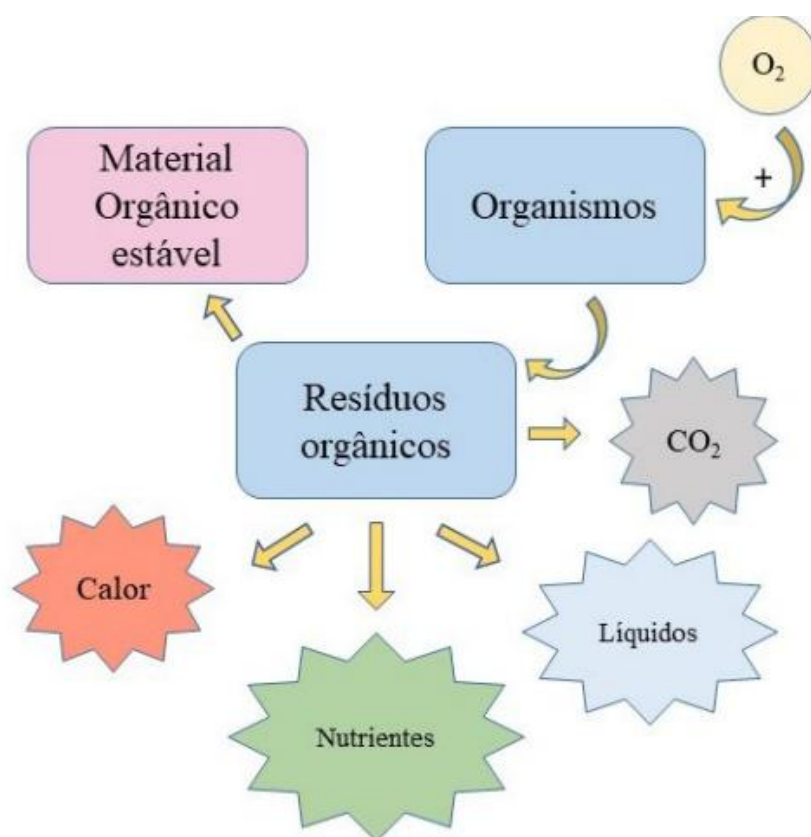
Em escala global, diversas políticas públicas vêm sendo formuladas com o objetivo de promover a transição para a economia circular. Essas iniciativas incluem o estabelecimento de metas para redução de resíduos, incentivos à logística reversa e à reciclagem, bem como a estruturação de sistemas de coleta seletiva e triagem. No contexto brasileiro, a Política Nacional de Resíduos Sólidos destaca-se como o principal instrumento normativo associado aos princípios da circularidade, ao estimular a redução da geração de resíduos, a responsabilidade compartilhada e a reinserção de materiais nos ciclos produtivos. Além da PNRS, outras políticas públicas incorporam preceitos da economia circular, como a Política Nacional sobre Mudança do Clima e a Política Energética, entre outras (CNI, 2020).

2.3. Compostagem: fundamentos, processos e tipos

A compostagem consiste em um processo de oxidação biológica aeróbia, caracterizado pela presença de oxigênio e pela liberação de energia na forma de calor, que ocorre em substratos sólidos e de composição heterogênea. Durante esse processo, microrganismos degradam a matéria orgânica, promovendo sua estabilização e resultando na formação de um composto orgânico estável. Além da produção de matéria orgânica estabilizada, ocorre também a liberação de substâncias minerais e água, evidenciando a transformação bioquímica dos resíduos orgânicos em um produto com potencial de aplicação agrícola (Araújo *et al.*, 2020).

Na Figura 4 mostra o esquema simplificado do processo de compostagem

Figura 4 - Esquema Simplificado do Processo de Compostagem



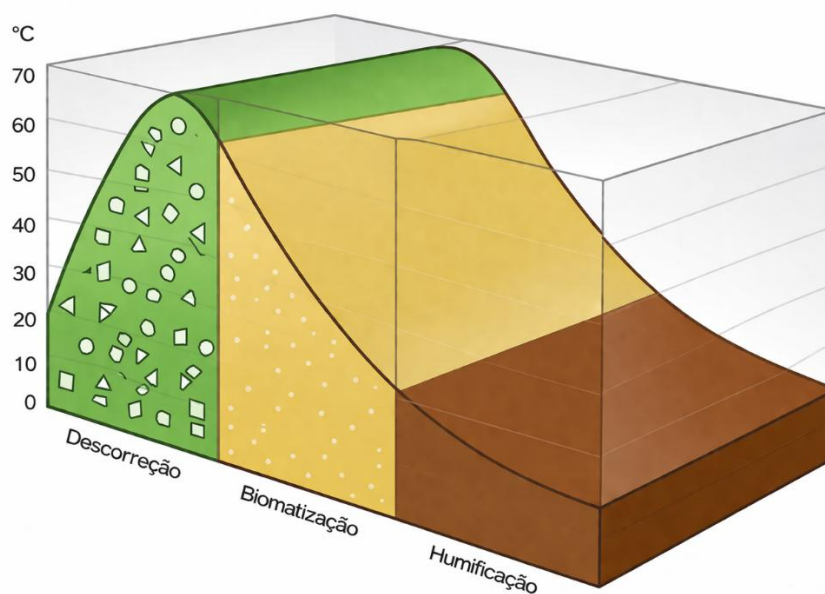
Fonte: Araújo *et al.* (2020)

O processo de compostagem consiste na decomposição biológica e na estabilização controlada de materiais orgânicos, resultando na produção de um composto final estável, rico em substâncias húmicas, isento de patógenos e de sementes ou propágulos de plantas infestantes, podendo ser utilizado como corretivo e fertilizante orgânico do solo. A bioestabilização constitui etapa fundamental desse processo, uma vez que o simples armazenamento prolongado de resíduos orgânicos não garante sua estabilização adequada. Materiais não compostados ou insuficientemente estabilizados podem provocar desequilíbrios químicos e biológicos no solo, além de impactos negativos sobre o desenvolvimento das culturas agrícolas.

Nesse contexto, a compostagem é reconhecida como uma das técnicas amplamente aceitas para a produção de fertilizantes orgânicos destinados à agricultura. Observa-se, nos últimos anos, o crescimento de sistemas produtivos ambientalmente mais sustentáveis, como a agricultura de base biológica, cuja expansão tende a ser incentivada por políticas públicas e por instrumentos de

planejamento agrícola. Esse cenário implica aumento da demanda por fertilizantes orgânicos de qualidade, reforçando a importância estratégica da compostagem como tecnologia de suporte à transição para modelos agrícolas mais sustentáveis.

Figura 5 - Etapas do Processo de Compostagem



Fonte: EDIA (2022)

Entre as principais vantagens da compostagem destacam-se a simplicidade operacional e o baixo custo relativo do processo, bem como a eficiência da decomposição microbiana e da oxidação da matéria orgânica, que promovem sua rápida estabilização. O produto resultante apresenta aptidão para uso como fertilizante orgânico, com menor potencial de contaminação de águas superficiais e subterrâneas quando comparado aos fertilizantes minerais e sintéticos, que podem ser facilmente carregados pelo escoamento superficial ou lixiviados ao longo do perfil do solo.

A compostagem configura-se, ainda, como processo de valorização de resíduos com elevada relação custo-benefício, considerando os ganhos ambientais associados. Além de transformar resíduos orgânicos em insumo de elevado valor agrônomo, sua aplicação proporciona diversos serviços ecossistêmicos, tais como a recuperação da estrutura e da fertilidade do solo, o estímulo à atividade microbiológica, o aprimoramento da capacidade de

infiltração e retenção de água, a redução da erosão e o fortalecimento do sistema radicular das culturas. Esses benefícios contribuem, inclusive, para aumentar a resiliência dos sistemas produtivos frente às mudanças climáticas (EDIA, 2020, p. 37-38).

No âmbito normativo brasileiro, o Decreto nº 7.404/2010, que regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelece uma ordem de prioridade para a gestão de resíduos sólidos. Inicialmente, prioriza-se a não geração; em seguida, a redução; posteriormente, a reutilização e a reciclagem; para os resíduos não passíveis de reciclagem, determina-se a aplicação de tratamento adequado com vistas à mitigação de impactos ambientais; e, por fim, apenas os rejeitos, para os quais não haja alternativa tecnológica viável, devem ser destinados à disposição final ambientalmente adequada em aterros sanitários (Figura 6) (BRASIL, 2010a). Nesse contexto, a compostagem insere-se como estratégia alinhada aos princípios da PNRS, ao viabilizar o tratamento e a valorização da fração orgânica dos resíduos sólidos.

Figura 6 - Escala de Prioridades para o Gerenciamento dos Resíduos Sólidos



Fonte: Fontgalland (2022)

De modo específico, os resíduos orgânicos gerados em domicílios situam-se no quinto nível da hierarquia de prioridades estabelecida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), correspondente à etapa de tratamento dos resíduos sólidos. Isso se deve ao fato de que sua geração é inerente às atividades humanas, sendo composta majoritariamente por restos de alimentos, cuja não geração é impraticável. Ademais, o reprocessamento direto desses resíduos ainda enfrenta limitações tecnológicas e operacionais, especialmente

em razão da forma como a coleta municipal é estruturada na maioria dos municípios brasileiros. Entre as alternativas de tratamento aplicáveis à fração orgânica destacam-se a compostagem, a biodigestão anaeróbia e a incineração (Bosco, 2017).

No que se refere à compostagem, existem diferentes métodos que podem ser adotados conforme o tipo de resíduo, a escala de operação e as condições ambientais locais. Entre os principais métodos destacam-se a compostagem com revolvimento de leiras, as leiras estáticas com aeração forçada, os sistemas fechados ou reatores, e as leiras estáticas com aeração passiva, cada qual apresentando especificidades técnicas relacionadas ao controle de temperatura, umidade e oxigenação do material (EMBRAPA, 2009).

A viabilidade da compostagem como tecnologia de tratamento de resíduos sólidos depende de condições estruturais e operacionais, especialmente da quantidade de resíduos orgânicos gerados, do teor de umidade dos materiais e da demanda pelo composto produzido. Como a técnica se aplica apenas à fração orgânica, é necessária geração significativa desse resíduo para justificar sua adoção.

A avaliação dessa potencialidade pode ser realizada por meio da análise da composição gravimétrica dos resíduos sólidos, procedimento que permite estimar a proporção de cada fração recicláveis, orgânicos e rejeitos no total gerado. A partir dessa análise, é possível quantificar a contribuição da fração orgânica e, conseqüentemente, verificar a viabilidade técnica da compostagem. Quanto maior a participação dos resíduos orgânicos no conjunto dos resíduos sólidos, maior será o potencial de aplicação dessa tecnologia como estratégia de tratamento e valorização (Bosco, 2017).

2.4. Compostagem como estratégia da bioeconomia

A compostagem tem sido consolidada como uma tecnologia-chave de valorização biológica de resíduos e de fechamento de ciclos de nutrientes, pois permite transformar frações orgânicas residuais em insumos (composto orgânico) potencialmente reinseríveis em sistemas produtivos, reduzindo a dependência de fertilizantes minerais e mitigando passivos ambientais

associados à disposição inadequada. No contexto da bioeconomia, a relevância da compostagem não se limita ao tratamento final de resíduos, mas se conecta à lógica de cascadeamento da biomassa, na qual fluxos orgânicos passam a ser geridos como recursos com destino a aplicações de maior valor agregado e menor impacto ambiental. Essa interpretação torna a compostagem uma estratégia operacional da bioeconomia quando articulada a cadeias de suprimento locais, governança territorial e critérios de sustentabilidade, evitando a simplificação de “usar mais biomassa” e enfatizando o uso eficiente e responsável de recursos biogênicos. (Kusch-Brandt; Kaufhold, 2024).

Uma via relevante para integrar a compostagem à bioeconomia é a combinação com a digestão anaeróbia, especialmente por meio do aproveitamento da fração sólida do digestato. Em revisão discute-se que, após separação e desaguamento, a fração sólida do digestato pode apresentar teor de matéria seca na faixa de 60–75%, o que a torna mais adequada à compostagem do que o digestato bruto, tipicamente com umidade elevada; essa condição favorece o controle de processo, a formação de estrutura porosa e a aeração.

A mesma revisão destaca que a separação do digestato (com prensas, centrifugação ou métodos associados) é etapa crítica para viabilizar rotas de valorização, e que a fração sólida pode atuar tanto como substrato quanto como componente estruturante, ampliando a estabilidade do processo e direcionando o produto a usos como fertilização e recuperação de solos. (Czekala *et al.*, 2023).

A literatura também evidencia que a qualidade do composto, como produto bioeconômico, depende de parâmetros operacionais e de composição do material. No caso de compostagem de digestato, são ressaltados fatores como relação C/N, teor de matéria orgânica, pH e umidade, além do papel de agentes estruturantes (palha, serragem e outros) para manter porosidade e oxigenação. Além disso, discute-se que substratos de origem distinta podem demandar formulações de mistura para reduzir riscos de anaerobiose e emissões, e que o uso de co-substratos e condicionadores pode contribuir para estabilizar o material, melhorar a maturidade do composto e compatibilizar o produto com requisitos agronômicos. Nesse enquadramento, a compostagem deixa de ser apenas “tratamento” e passa a ser processo de produção de

insumo, com decisões técnicas diretamente ligadas à viabilidade e ao desempenho ambiental da estratégia de bioeconomia. (Czekala *et al.*, 2023).

No contexto ambiental da bioeconomia, destaca-se a emissão de gases e a perda de nitrogênio durante a compostagem, fatores que influenciam tanto o impacto climático quanto o valor fertilizante do composto. Estudo recente sobre co-compostagem de digestato de resíduos alimentares com adição de biochar (tabaco e bambu) demonstrou reduções nas emissões de NH_3 e N_2O , além de menor perda de nitrogênio e melhoria da qualidade do composto, evidenciada pelo aumento do índice de germinação. Os resultados indicam maior eficiência do processo e alinhamento aos princípios da bioeconomia (Li *et al.*, 2023).

Oviedo-Ocaña *et al.*, (2023) relatam que os resultados indicam que combinações com inoculação podem elevar a biodegradação de lignocelulose (com valores reportados na ordem de dezenas de pontos percentuais ao longo do processo) e melhorar atributos do composto final (pH e condutividade elétrica em faixas típicas de produto estabilizado), reforçando que intervenções de processo podem aumentar eficiência e previsibilidade, o que é central para a bioeconomia ao transformar resíduos heterogêneos em insumo com especificações mais controláveis.

A compostagem também assume papel estratégico na bioeconomia quando aplicada ao tratamento de resíduos urbanos e ao saneamento, especialmente na valorização de lodos e resíduos orgânicos. Estudos indicam que a co-compostagem pode gerar compostos seguros e agronomicamente viáveis, com potencial de melhoria da qualidade do solo e promoção do crescimento vegetal, reforçando sua contribuição para soluções locais sustentáveis (Kuroda *et al.*, 2023).

Além disso, a bioeconomia incorpora rotas integradas nas quais a compostagem se articula a outras biotecnologias, como sistemas de bioconversão utilizando larvas de mosca-soldado-negra. Nesses arranjos, a compostagem atua como etapa complementar de estabilização e valorização dos resíduos gerados, contribuindo para o fechamento de ciclos de nutrientes, redução do envio a aterros e geração de produtos com potencial econômico e ambiental (Chimene *et al.*, 2023).

Do ponto de vista de mercado e adoção, a compostagem como estratégia bioeconômica depende da aceitação e da disposição a pagar por

produtos derivados de resíduos, sobretudo quando o insumo tem origem em fluxos sensíveis (por exemplo, excretas humanas). Estudo com agricultores em contexto africano analisou atributos de produto (como peletização, certificação e embalagem) e mostrou que aspectos de qualidade percebida e sinalização (certificação) podem alterar preferências e disposição a pagar, reforçando que a transição para modelos bioeconômicos exige não apenas viabilidade técnica, mas desenho de produto, confiança institucional e governança de qualidade para reduzir barreiras de adoção. Assim, a compostagem, para operar como instrumento de bioeconomia, requer arquitetura de mercado e mecanismos de credibilidade que conectem desempenho ambiental a valor econômico. (Owusu *et al.*, 2023).

Em cadeias agroindustriais de grande escala, a compostagem se posiciona como alternativa de valorização de resíduos e de melhoria de desempenho ambiental quando integrada a portfólios de tecnologias (mulching, vermicompostagem, biodigestão, recuperação de nutrientes e energia). Revisão sobre a bioeconomia na indústria do óleo de palma na Malásia destaca a relevância econômica do setor e descreve a presença de múltiplos fluxos residuais (por exemplo, efluentes e resíduos lignocelulósicos), enfatizando práticas como reciclagem no campo, aproveitamento energético e produção de insumos orgânicos; nesse quadro, a compostagem aparece como rota para reinserir matéria orgânica e nutrientes, reduzir pressões ambientais e diversificar produtos, especialmente quando combinada com outras rotas de conversão e quando alinhada a políticas e capacidade tecnológica. (Cheah *et al.*, 2023).

Sob a perspectiva territorial, a compostagem apresenta alinhamento com os princípios da bioeconomia por sua capacidade de adaptação a diferentes realidades locais e escalas operacionais. Contudo, sua implementação eficiente exige articulação regional, planejamento integrado e coordenação entre múltiplos atores envolvidos na gestão da biomassa. Nesse contexto, a literatura destaca que a biomassa não deve ser compreendida como recurso ilimitado, sendo necessária a incorporação de critérios de sustentabilidade, análises de ciclo de vida e mecanismos de governança capazes de evitar transferências de impactos ambientais e o uso inadequado dos recursos disponíveis. Assim, a compostagem contribui para o fechamento de ciclos materiais em níveis municipal e regional, especialmente quando integrada a estruturas institucionais,

logísticas e mercadológicas que assegurem qualidade, rastreabilidade e valorização dos resíduos orgânicos (Kusch-Brandt; Kaufhold, 2024).

Ademais, a literatura recente posiciona a compostagem como uma rota tecnológica central no conjunto de estratégias que operacionalizam a bioeconomia circular, sobretudo quando aplicada à fração orgânica de resíduos urbanos e agroindustriais. Em termos de racionalidade socioeconômica e ambiental, a compostagem aparece como alternativa de valorização de baixo risco tecnológico e alta capilaridade territorial, capaz de produzir insumos orgânicos (composto) e reduzir pressões sobre aterros, ao mesmo tempo em que se conecta a agendas de circularidade e segurança de recursos. Essa leitura é reforçada por revisões que tratam a gestão de resíduos orgânicos como eixo estruturante para transição circular, indicando a compostagem como prática recorrente e compatível com políticas públicas e arranjos locais de implementação. (Bottacini *et al.*, 2022).

No campo conceitual, parte da produção científica sustenta que a bioeconomia depende do “encadeamento” (cascading) de usos da biomassa, priorizando aplicações de maior valor agregado antes de rotas energéticas. Nessa lógica, a compostagem ocupa posição relevante para resíduos inevitáveis ou não comestíveis, convertendo-os em corretivos orgânicos e condicionadores de solo, ainda que, em hierarquias de valor, algumas revisões indiquem que certos fluxos podem ser direcionados a bioprodutos de maior valor quando houver viabilidade técnica e de mercado. A discussão evidencia que a escolha tecnológica é dependente de contexto (infraestrutura, composição do resíduo, regulação e custos), mas a compostagem permanece como solução amplamente estabelecida e aplicável. (Chitaka; Schenck, 2023).

Evidências aplicadas em ambiente real, mostram como sistemas descentralizados podem inserir a compostagem em cadeias curtas, reduzindo transporte e promovendo circularidade local. Feodorov *et al.* (2022) relatam um estudo de caso com compostagem “in-vessel” instalada em restaurante, o equipamento foi operado com resíduos orgânicos do próprio estabelecimento e material absorvente (pellets de serragem), com capacidade reportada na faixa de 40–70 kg de resíduo/dia, e com indicação de que o processo pode reduzir a massa coletada em até 90%, dependendo do regime operacional e da composição do resíduo. Além disso, o trabalho descreve a ocorrência de fase

termofílica em torno de 55–65 °C, associada à higienização, reforçando o papel do controle operacional para obter composto seguro e valorizável.

Apesar do potencial, os estudos também indicam que a performance e a conformidade sanitária do composto dependem do manejo e da estabilidade do processo. No mesmo caso “in-vessel”, os referidos autores explicam que o monitoramento em campanhas distintas mostrou que alterações de rotina e limitações operacionais podem comprometer resultados microbiológicos, sendo relatada detecção de patógenos em condição de operação não ideal. Assim, a literatura aplicada reforça que a compostagem, para ser efetivamente uma estratégia de bioeconomia (isto é, gerar produto utilizável e aceito), exige padronização, monitoramento de parâmetros e aderência a protocolos, sob risco de produzir material com restrições de uso. (Feodorov *et al.*, 2022).

No recorte de resíduos alimentares, revisões recentes enfatizam que a valorização de “food waste” se articula à bioeconomia por múltiplas rotas, incluindo compostagem, digestão anaeróbia e bioconversões. Um argumento recorrente é que, embora a prevenção do desperdício seja prioritária, a fração inevitável demanda tratamento biológico com foco em retorno de nutrientes e redução de impactos ambientais. Nessa agenda, a compostagem aparece como rota tecnicamente simples, compatível com escalas descentralizadas e com entrega direta de produto ao setor agrícola/hortícola, sendo frequentemente comparada a alternativas como vermicompostagem e digestão anaeróbia. (Razouk *et al.*, 2024).

Razouk *et al.* (2024) explicam a comparação entre compostagem e vermicompostagem, no âmbito de resíduos orgânicos, costuma destacar diferenças de processo e de produto. Em síntese, a literatura revisada indica que a compostagem é predominantemente microbiana e termofílica, favorecendo higienização, enquanto a vermicompostagem envolve ação conjunta de microrganismos e minhocas, operando em temperaturas mais baixas e com dinâmica distinta de maturação e qualidade do produto final. Esses contrastes são relevantes para decisões em bioeconomia, pois condicionam requisitos de área, tempo, controle sanitário e destinação agrícola, além de influenciar a aceitabilidade do produto em mercados locais. Segundo De Pero *et al.* (2023), do ponto de vista de integração tecnológica, a literatura também explora arranjos “AD + compostagem”, nos quais a digestão anaeróbia maximiza recuperação

energética e a compostagem estabiliza frações sólidas e devolve nutrientes ao solo. Em análise de uma planta italiana com tratamento integrado, o sistema é interpretado como solução bioeconômica por combinar produção de energia (biogás/biometano) e geração de composto para agricultura. No estudo, reporta-se uma pegada de carbono de 11,2 kg CO₂eq por Mg de resíduo de entrada e uma demanda de energia primária de 26,6 GJ por Mg, o que evidencia o peso das fronteiras de sistema e das escolhas metodológicas na avaliação ambiental de soluções integradas. (De Pero *et al.*, 2023).

Além dos indicadores agregados, a literatura de integração chama atenção para “hotspots” operacionais (pré-tratamento, consumos elétricos, logística interna e gestão de rejeitos), que podem deslocar o desempenho ambiental final. Em plantas com múltiplas etapas, ganhos de circularidade podem depender tanto da eficiência de separação e estabilização quanto da qualidade do composto final e da efetiva substituição de insumos minerais no uso agrícola. Assim, a integração AD–compostagem é frequentemente descrita como promissora, mas condicionada a contexto tecnológico, controle de processo e aderência a padrões de produto e emissões. (De Pero *et al.*, 2023).

No campo específico do digestato, a literatura recente destaca que a fração sólida do digestato (após separação e desaguamento) apresenta potencial para compostagem, mas com particularidades físico-químicas que exigem co-substratos e ajuste de mistura. Revisão focada no tema aponta que a separação do digestato e o controle de umidade são etapas críticas, e discute a necessidade de estruturação (bulking agents) para garantir porosidade, aeração e dinâmica microbiana adequada. A compostagem do digestato sólido pode contribuir para estabilização, redução de emissões associadas ao manejo inadequado e produção de fertilizante orgânico, conectando diretamente a digestão anaeróbia à lógica de retorno de nutrientes na bioeconomia. (Czekala *et al.*, 2023).

A discussão sobre países em desenvolvimento aparece como eixo importante para entender a adoção real dessas rotas. No caso sul-africano, são apresentados números estruturantes do desafio: - De acordo com Chitaka e Schenck (2023), na África do Sul, em 2017, teriam sido geradas 19.247.851 toneladas de resíduos orgânicos, correspondendo a 34,6% do total, com predominância de lodo de esgoto (64,8%), seguido por resíduos alimentares

(22,1%) e resíduos de jardinagem (13,1%). Ainda, o estudo menciona que parcela expressiva ainda segue para disposição final e discute barreiras de infraestrutura e governança, o que ajuda a explicar por que a compostagem, apesar de tecnicamente consolidada, pode ter adoção desigual e desempenho heterogêneo conforme o território. (Chitaka; Schenck, 2023).

Em termos de viabilidade econômica, estudos aplicados reforçam que a compostagem pode ser defendida não apenas por benefícios ambientais, mas também por desempenho financeiro, desde que a escala, a logística do resíduo e o modelo de governança estejam ajustados. Em avaliação econômico-financeira de um projeto de compostagem de pequena escala em contexto de país em desenvolvimento, o trabalho Banunle *et al.* (2024) estimaram uma produção anual de 730 toneladas/ano processadas e reporta indicadores financeiros (como NPV, BCR e IRR) que variam conforme cenários de propriedade e tipo de biomassa, sugerindo que arranjos institucionais e estabilidade de oferta de resíduo são determinantes para a atratividade do investimento. Assim, a literatura apoia a leitura de que a compostagem pode integrar estratégias de bioeconomia quando associada a modelos de negócio viáveis e a mercados para o composto.

A literatura também enfatiza que a bioeconomia não se sustenta apenas por desempenho ambiental e econômico, mas por condições sociais e de trabalho, especialmente em cadeias de resíduos. Em estudo sobre empregos na bioeconomia, em Ruanda, a análise discute condições de trabalho no setor de reciclagem e gestão de resíduos, apontando desafios associados a informalidade, proteção social e organização laboral. Para o enquadramento do seu referencial teórico, esse tipo de evidência contribui para mostrar que soluções como compostagem e valorização orgânica precisam ser entendidas como sistemas sociotécnicos, nos quais ganhos ambientais podem coexistir com vulnerabilidades sociais se não houver políticas e regulação adequadas. (Schreck *et al.*, 2023).

Revisões com foco em biorrefinarias e plantas de tratamento indicam tendência de integração de rotas biológicas (compostagem, digestão anaeróbia e fermentações) dentro de estratégias “zero waste”, com o objetivo de maximizar a conversão e diversificar produtos (bioenergia, bioprodutos e insumos agrícolas). Ao discutir fermentação em estado sólido, compostagem e digestão

anaeróbia, a literatura reforça que a combinação de tecnologias pode elevar eficiência do sistema e ampliar portfólio de produtos, mas também aumenta exigência de controle e de avaliação por métodos como avaliação de ciclo de vida (ACV), para evitar transferências de impacto entre etapas. Nesse quadro, a compostagem aparece tanto como tecnologia final de estabilização quanto como etapa integrada a cadeias mais complexas de valorização. (Artola *et al.*, 2024).

A consolidação da bioeconomia, no contexto da gestão de resíduos orgânicos também é abordada sob a perspectiva de planejamento estratégico e transição sistêmica. Revisão que discute a valorização de resíduos municipais e da cadeia alimentar aponta que a geração global de resíduos sólidos municipais alcança aproximadamente 1,3 bilhão de toneladas por ano, com projeção de aumento para 2,2 bilhões de toneladas até 2025, sendo que a fração orgânica representa cerca de 46% em massa do total. No âmbito europeu, destaca-se que 42% dos resíduos municipais eram destinados a aterros, 38% recuperados e 20% incinerados, evidenciando a centralidade de tecnologias como compostagem e digestão anaeróbia na transição para modelos circulares. O estudo enfatiza que a integração de biorrefinarias e o aproveitamento de resíduos como insumos industriais são elementos-chave para estruturar cadeias de valor sustentáveis dentro da bioeconomia. (Maina; Kachrimanidou; Koutinas, 2017).

Sob a ótica econômica, a literatura recente problematiza a competição direta entre reciclagem, compostagem e incineração na gestão de resíduos sólidos urbanos. Análise aplicada ao contexto europeu demonstra que, entre 1995 e 2018, a incineração de resíduos municipais na União Europeia aumentou 117%, passando de 32 para 70 milhões de toneladas, enquanto a reciclagem cresceu 201% e a compostagem 202%, indicando que as rotas biológicas e de recuperação material avançaram de forma mais acelerada que a valorização energética por combustão. O estudo argumenta que a expansão da economia circular reduz a disponibilidade de resíduos para incineradores, afetando sua viabilidade econômica e reforçando a prioridade de estratégias como reciclagem e compostagem no âmbito da bioeconomia. (Pagliaro, 2020).

No contexto latino-americano e caribenho, investigação sistemática sobre a fração orgânica dos resíduos sólidos municipais evidencia que a produção

científica regional intensificou-se a partir de 2015, com predominância de estudos voltados a técnicas de tratamento e valorização. Entre as tecnologias identificadas, a compostagem representou 34% das abordagens analisadas, seguida de processos integrados e digestão anaeróbia. O levantamento também destaca que países como Brasil, México e Colômbia vêm incorporando instrumentos normativos alinhados à economia circular e à bioeconomia, buscando reduzir a disposição final e ampliar o aproveitamento de resíduos orgânicos como insumos produtivos. Os dados indicam que a compostagem permanece como tecnologia prioritária na gestão da fração orgânica na região. (Ulloa-Murillo *et al.*, 2022).

A relevância agronômica da compostagem dentro da bioeconomia também é reforçada por revisão voltada a sistemas agrícolas intensivos. O estudo demonstra que a reciclagem de resíduos agrícolas por meio da compostagem on-farm contribui para melhoria da qualidade do solo, aumento da matéria orgânica e supressão de fitopatógenos, além de reduzir a dependência de fertilizantes minerais. A análise também aponta barreiras técnicas, econômicas e logísticas à adoção ampla, mas destaca o potencial estratégico da compostagem na transição para sistemas agrícolas circulares. (De Corato, 2020).

De forma integrada, os estudos ampliam a compreensão da compostagem não apenas como técnica de tratamento de resíduos, mas como componente estruturante da bioeconomia. Enquanto as revisões europeias enfatizam ganhos sistêmicos, redução de emissões e reorganização das cadeias produtivas, os estudos latino-americanos evidenciam a necessidade de fortalecimento institucional e marcos regulatórios para ampliar a valorização da fração orgânica. Paralelamente, as análises econômicas indicam que modelos baseados em incineração tendem a perder competitividade frente à expansão da reciclagem e da compostagem, especialmente em cenários de crescente adoção de energias renováveis e políticas de economia circular. Assim, a literatura converge ao reconhecer a compostagem como tecnologia estratégica para fechamento de ciclos de nutrientes, mitigação de impactos ambientais e geração de valor dentro da bioeconomia contemporânea. (Maina; Kachrimanidou; Koutinas, 2017; Pagliaro, 2020; Ulloa-Murillo *et al.*, 2022; De Corato, 2020).

3. METODOLOGIA

3.1. *Caracterização e Desenvolvimento da Pesquisa*

A presente pesquisa caracteriza-se como de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e quantitativa, e objetivos de caráter exploratório e descritivo. Quanto aos procedimentos técnicos, configura-se como uma revisão sistemática da literatura associada à análise bibliométrica, permitindo identificar padrões de produção científica, relações entre autores, palavras-chave e tendências temáticas no campo investigado.

Esta pesquisa é uma revisão sistemática da literatura, que descreve abordagens de caráter qualitativo e quantitativo, incluindo uma análise bibliométrica para complementar os presentes resultados. A realização da revisão foi feita de forma sistematizada e sequencial, tendo em vista a compreensão das etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos artigos, de acordo com o protocolo PRISMA. A realização da identificação dos artigos científicos, deu início a presente pesquisa, onde foi feito uma busca estruturada através de uma base dados que possui uma grande relevância acadêmica. Após a busca pelos artigos científicos, deu-se início ao processo de triagem dos documentos identificados, tendo critérios de inclusão e exclusão completamente definidos, resultando na seleção final dos estudos que estruturaram o corpus da análise bibliométrica.

3.2. *Estratégia de Busca e Bases de Dados*

A realização da estratégia de busca, foi feita exclusivamente na base de dados *Scopus*, onde foi acessado através do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), em virtude de ser um portal de periódicos que possui uma ampla cobertura multidisciplinar e uma grande relevância internacional. Com tudo, para a realização da busca foi conduzida através dos campos “título do artigo”, “resumo” e “palavras-chave” (*Article title, Abstract, Keywords*), utilizando-se as expressões em inglês “Bioeconomy” AND “Composting”.

Para o recorte temporal foi determinado entre os anos de **2016 à 2024**, com tudo, acabou correspondendo a um período de nove anos entre as publicações dos artigos científicos, intervalo totalmente ampliado e originalmente proposto pelo protocolo PRISMA, com o intuito de atingir uma produção científica totalmente consolidada e referente sobre a temática. Após feita a estratégia de busca, obteve-se um resultado na identificação de 140 documentos iniciais para a pesquisa.

3.3. Critérios de Inclusão e Exclusão de Artigos

Foram definidos os critérios de inclusão e exclusão, para a seleção dos estudos que foram aplicados de forma sistemática de acordo com o processo de triagem. Artigos científicos que foram considerados elegíveis, apenas os que foram revisados por pares, publicados em formatação de artigo, que tem disponibilidade direta e textual com os temas de bioeconomia e compostagem.

Documentos duplicados foram excluídos juntamente com os documentos distintos de formato de artigo, estudos fora da temática da pesquisa e trabalhos publicados contendo outros idiomas, cuja a abordagem não apresentasse ligação direta aos que foram atribuídos aos objetivos do estudo.

3.4. Processo de Seleção dos Estudos

Para a realização do processo de seleção dos estudos, seguiu-se rigorosamente as etapas recomendadas pelo protocolo do PRISMA. Primeiramente, os 140 documentos selecionados foram organizados inicialmente por ano de publicações. Logo após, foi realizada a leitura dos títulos e resumos, possibilitando a exclusão dos documentos que não atendiam aos critérios que foram estabelecidos pelo estudo, considerando aspectos como duplicatas, idioma e a formatação inadequada perante a temática.

No decorrer das etapas de triagem e elegibilidade, a verificação dos resumos e dos textos completos foi dirigida de forma totalmente criteriosa, possuindo apoio inteiramente das ferramentas de inteligência artificial ChatGPT e Google Gemini, utilizadas apenas para dar suporte, sistematização e interpretação das informações obtidas, sem critério nenhum de substituição da análise crítica feita pela pesquisadora. Após realizada a aplicação dos critérios

de inclusão e exclusão, o número total de documentos foi reduzido, passando de 140 artigos para 56 artigos, que foram considerados habilitados para compor a revisão sistemática, além de que esses documentos passaram por leitura integral, confirmando sua conformidade aos objetivos da pesquisa.

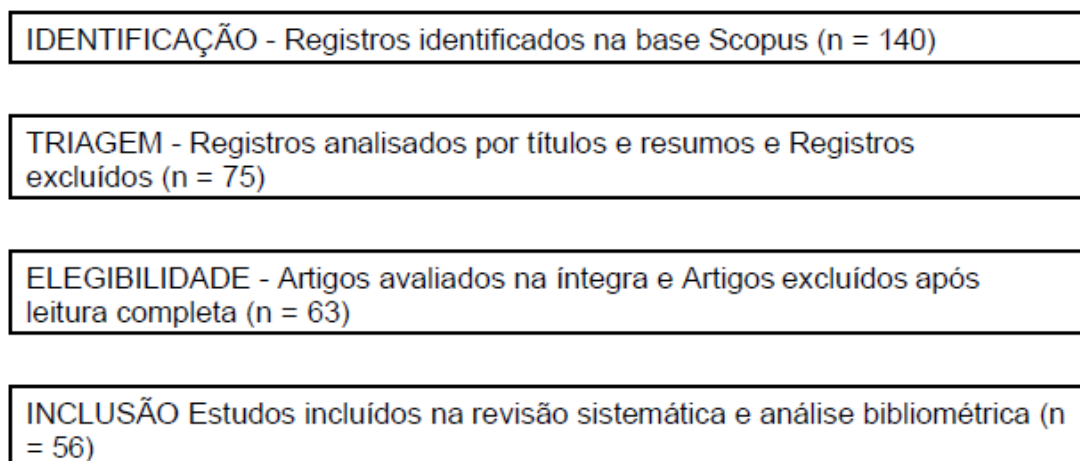
3.5. *Análise Bibliométrica com o software VOSviewer*

Após a definição dos 56 artigos finais, os documentos foram selecionados e exportados da plataforma *Scopus* e organizados em uma planilha eletrônica no *software* Microsoft Excel, onde a planilha possui informações necessárias para as bases da pesquisa como autores, título, ano de publicação, periódico, país de origem e palavras-chave. Em seguida, os dados foram importados para o *software* VOSviewer, onde foi feita a análise bibliométrica.

O VOSviewer, proporcionou a composição e criação de mapas de redes científicas fundamentados em diferentes tipos de unidades de análise como coocorrência de palavras-chave, coautoria, citações, fontes e acoplamento bibliográfico. As redes criadas possibilitaram nomear padrões de colaboração científica, tendências temáticas e a estrutura intelectual da produção acadêmica correspondente à bioeconomia e à compostagem. A descrição dos resultados obtidos, foi feita de forma inserida, aliando análises quantitativas e qualitativas.

A Figura 7 mostra o fluxograma do processo de escolha dos estudos, realizado com base no protocolo PRISMA (MOHER et al., 2009).

Figura 7 - Fluxograma do Processo de Seleção dos Estudos (PRISMA)



Fonte: Autora (2026)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. *Análise de Coautoria (Co-authorship)*

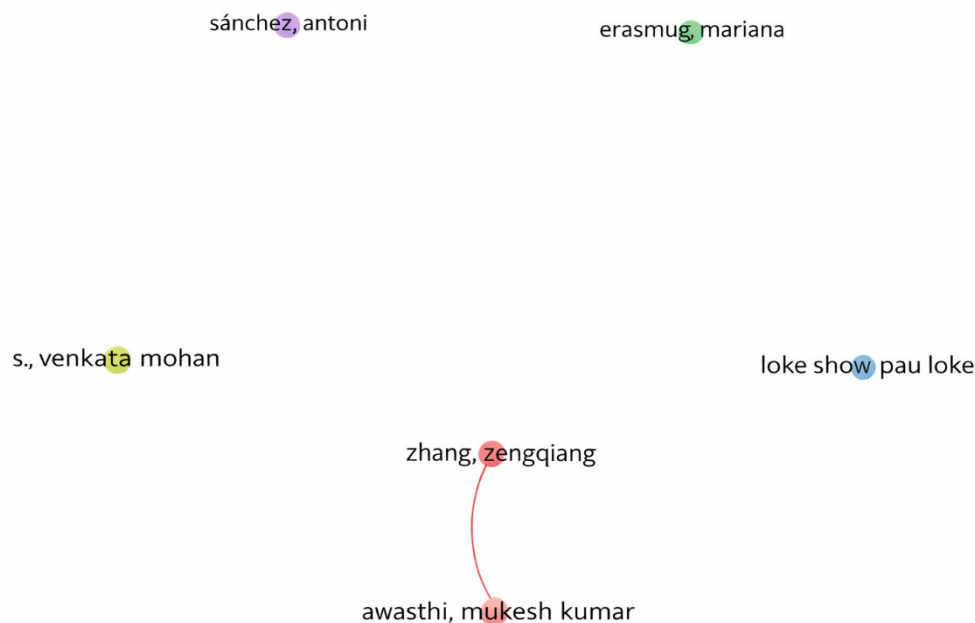
4.1.1. **Unidade de análise: Autores**

A primeira análise foi a de co-autoria, na qual foi realizada para distinguir os principais vínculos entre os autores dentre as áreas de bioeconomia e compostagem. Dentre os **289 autores** presentes nos dados obtidos, foram selecionados **6 autores** que respondem aos parâmetros de co-autoria mais abrangentes, ou seja, aqueles autores que possuem o maior número de artigos publicados e com maior força de ligação com diversos autores. Os autores triados são: **Awasthi, Mukesh Kumar; Zhang, Zengqiang; Erasmus, Mariana; Loke Show, Pau Loke; S. Venkata Mohan; e Sánchez, Antoni.**

Na Figura 8 observa-se a rede de co-autoria, onde os autores estão devidamente ligados em meio as suas colaborações. A força das relações entre os autores está caracterizada pelo tamanho e quantidade de nós que obtivera. Os autores que possuem mais participações estão mais unificados, enquanto os que possuem menos, ficam cada vez mais afastados. Na observação visual, é possível analisar que **Awasthi, Mukesh Kumar e Zhang, Zengqiang**, tendem ter uma forte conexão, mostrando parcerias estáveis entre eles. Já outros

autores, como **Erasmus, Mariana e Sánchez, Antoni**, aparecem mais afastados, indicando colaborações menos constantes com outros autores na rede.

Figura 8 - Mapa de coautoria entre autores da amostra analisada.



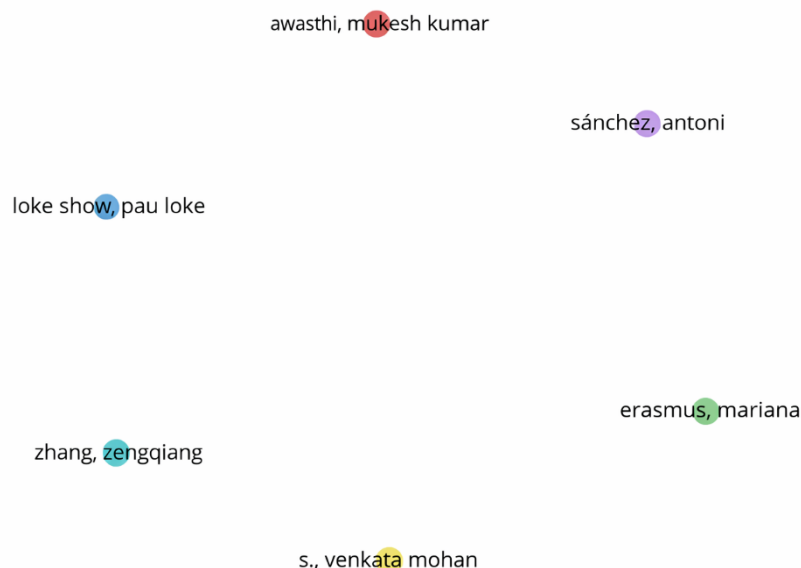
Fonte: Autora (2026)

A análise de citação, considerando como unidade de análise os autores, foi realizada com o objetivo de identificar aqueles que exercem maior influência científica no conjunto dos **56 documentos** selecionados. Do total de **289 autores** identificados no corpus, apenas **6 atenderam ao critério mínimo de citações** estabelecido no software, demonstrando que a produção analisada apresenta elevada dispersão autoral e que poucos pesquisadores concentram impacto expressivo dentro do recorte investigado.

A rede gerada evidencia baixa densidade de conexões, com ausência de ligações significativas entre os autores selecionados, o que indica que, embora apresentem elevado número de citações, tais autores não necessariamente se citam entre si dentro do conjunto analisado. Esse padrão sugere que os estudos de maior impacto estão inseridos em diferentes vertentes temáticas ou tradições de pesquisa, reforçando o caráter multidisciplinar da interface entre bioeconomia e compostagem.

Destacam-se autores como Awasthi, Mukesh Kumar e Zhang, Zengqiang, que apresentam os maiores volumes de citações, seguidos por Loke Show, Pau Loke, S., Venkata Mohan e Erasmus, Mariana. A expressiva quantidade de citações atribuída a esses pesquisadores indica que seus trabalhos exercem papel estruturante na consolidação das discussões sobre gestão e valorização de resíduos, tecnologias de conversão de biomassa, bioeconomia circular e sustentabilidade ambiental. A concentração de citações em número reduzido de autores demonstra a existência de referências centrais que fundamentam o desenvolvimento teórico e metodológico da área (Figura 9).

Figura 9 - Mapa de citações entre autores da amostra analisada.



Fonte: Autora (2026)

A reduzida quantidade de autores que atingiram o limiar mínimo (mínimo de 3 ocorrências por autor), também evidencia que a maioria dos pesquisadores contribui com impacto pontual ou ainda em consolidação, o que pode indicar um campo em expansão e com diversificação recente de abordagens. Assim, a análise de citação por autores permite identificar lideranças científicas no tema e compreender a estrutura de influência intelectual que sustenta a produção acadêmica sobre bioeconomia e compostagem.

A outra etapa da análise bibliométrica consistiu na aplicação do método de acoplamento bibliográfico (bibliographic coupling), adotando-se como tipo de análise o “bibliographic coupling” e como unidade de análise os autores. O acoplamento bibliográfico fundamenta-se na identificação de similaridades entre documentos ou autores a partir do compartilhamento de referências bibliográficas. Assim, dois autores são considerados bibliograficamente acoplados quando seus trabalhos citam um mesmo conjunto de referências, indicando convergência temática e proximidade intelectual no campo investigado.

No conjunto analisado foram identificados **289 autores** distintos vinculados aos **56 documentos** selecionados na revisão sistemática. Após a definição do critério mínimo de ocorrência (mínimo de 3 ocorrências por autor) estabelecido no *software* VOSviewer, apenas seis autores atenderam ao limiar previamente definido, passando a compor a rede final de análise. Esse procedimento metodológico permitiu restringir a visualização aos autores com maior densidade de produção e maior compartilhamento de referências, assegurando maior consistência analítica e reduzindo ruídos decorrentes de autores com participação pontual no corpus.

A visualização da rede revelou a formação de agrupamentos (clusters) que indicam núcleos de proximidade teórica entre os autores mais representativos (Figura 10).

Figura 10 - Mapa de acoplamento bibliográfico entre autores da amostra analisada.



Fonte: Autora (2026)

Observou-se que determinados autores apresentam maior força de ligação total (total link strength), evidenciando elevado grau de compartilhamento de referências e, conseqüentemente, maior convergência temática em relação aos demais. Esse resultado sugere a existência de eixos estruturantes dentro da literatura analisada, nos quais determinados pesquisadores desempenham papel central na consolidação de abordagens específicas relacionadas à bioeconomia e à compostagem.

A ausência de conexões expressivas entre alguns autores selecionados indica que, embora atendam ao **critério mínimo de ocorrência**, seus referenciais teóricos não apresentam sobreposição significativa com os demais integrantes da rede. Tal configuração demonstra que o campo ainda apresenta fragmentação temática, coexistindo diferentes vertentes analíticas e abordagens metodológicas.

Desse modo, a análise de acoplamento bibliográfico por autores permitiu identificar os principais polos de convergência intelectual no corpus investigado, evidenciando tanto a existência de núcleos consolidados quanto a presença de linhas de pesquisa ainda pouco integradas. Esses resultados contribuem para a

compreensão da estrutura cognitiva da área, ao revelar como os autores se organizam a partir do compartilhamento de fundamentos teóricos comuns.

Para a última etapa da análise de autores executou-se a análise de co-citação, intitulado-se como tipo de análise a co-citation e a unidade de análise os autores que foram citados (cited authors). Tendo um total de **195 autores** que foram verificados nas referências dos artigos que estruturam a pesquisa, apenas **13 atenderam o critério mínimo (mínimo de 3 ocorrências)** de ocorrência determinado, sendo assim, inseridos na composição do mapa de rede no *software* VOSviewer.

O mapa elaborado (Figura 11) apresentou a criação de agrupamentos, os quais exibem diferentes aspectos teóricos e abordagens estruturadas que estão presentes na literatura. A existência de pontos distantes mostra a presença de subcampos ou linhas de pesquisa parcialmente firmadas, com os estudos voltados à importância de resíduos orgânicos, avaliação ambiental e sustentabilidade, bem como abordagens relacionadas à bioenergia e economia circular. A força das conexões, simbolizada pela força total de ligação (total link strength), comprova o grau de incorporação entre os autores, possibilitando a comprovação com o grau de integração entre esses autores, facilitando distinguir os autores que desempenham maior influência estrutural na rede de conhecimento.

Figura 11 - Mapa de cocitação entre autores citados nos estudos analisados.



Fonte: Autora (2026)

Observa-se que os autores com maior força de conexão posicionam-se nas regiões centrais do mapa de cocitação gerado pelo VOSviewer. Essa centralidade ocorre porque tais autores apresentam maior número de conexões simultâneas com diferentes grupos de referências, funcionando como pontos de articulação entre os clusters identificados. Dessa forma, sua posição central indica maior frequência de cocitação e, conseqüentemente, maior relevância no embasamento teórico do campo investigado. Autores que estão localizados de forma mais afastada, tendem a formar colaborações mais específicas ou especializadas dentro da temática.

4.1.2. Unidade de análise: Organizações

A análise de co-autoria foi feita para distinguir as conexões entre as organizações estabelecidas na área de bioeconomia e compostagem. Dentre as **171 organizações** contidas nos dados, foram escolhidas **5 organizações** que cumprem aos critérios de co-autoria mais fortes, sendo assim, aquelas que possuem o maior número de artigos publicados e com a maior força de cooperação em outras organizações. As organizações escolhidas são: **College of Natural Resources and Environment, Department of Chemical and Environmental Engineering, Department of Mechanical Engineering, Department of Sustainable Engineering e Centre for Mineral Biogeochemistry.**

A Figura 12 mostra a rede de co-autoria entre as organizações, mostrando a força dos ligamentos entre elas. As organizações mais centralizadas possuem mais conexões, enquanto as que possuem menor número de colaborações, ficam cada vez mais afastadas na rede. A referida figura mostra que é possível observar que organizações como a **College of Natural Resources and Environment**, possuem grandes conexões, e organizações como o **Centre for Mineral Biogeochemistry**, aparecem mais afastadas, tendo em vista colaborações mais isoladas.

Figura 12 - Mapa de coautoria entre organizações da amostra analisada.

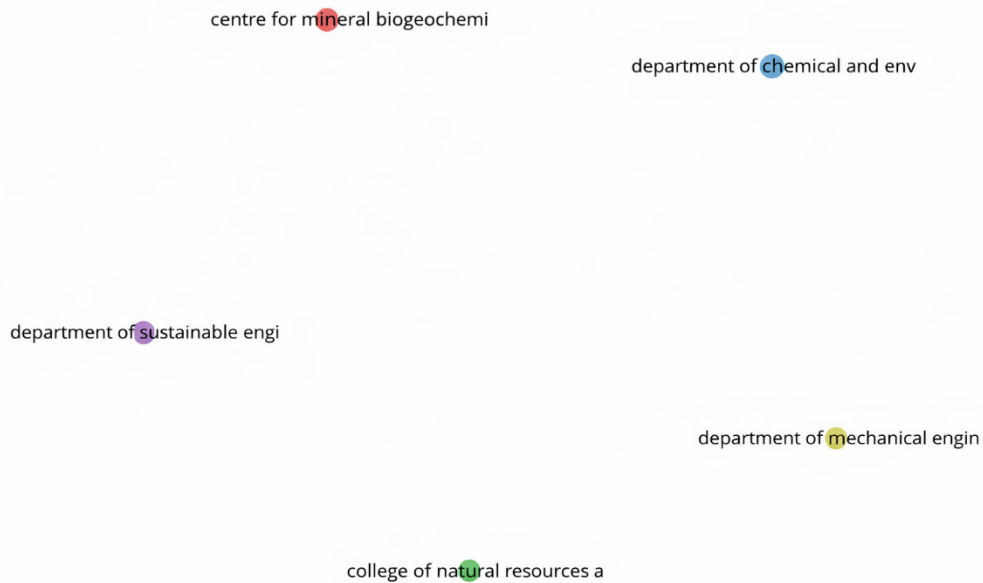


Fonte: Autora (2026)

Na terceira análise realizada por meio do software VOSviewer com o tipo de análise “citation” e unidade de análise “organizations”, buscou-se identificar as instituições com maior impacto científico no conjunto dos **56 documentos** selecionados para a revisão sistemática. Do total de **171 organizações identificadas** nos registros da base de dados.

A análise de citação entre organizações permite verificar quais instituições concentram maior número de citações no corpus investigado, evidenciando polos institucionais de produção científica e influência acadêmica na temática da bioeconomia associada à compostagem e à gestão de resíduos. No mapa gerado, cada nó representa uma organização, sendo o tamanho proporcional ao número de citações recebidas. Como não foram observados vínculos de citação entre as instituições no conjunto analisado (total link strength igual a zero), a rede apresenta nós isolados, indicando ausência de inter-relação direta de citação entre essas organizações dentro do recorte específico da amostra (Figura 13).

Figura 13 - Mapa de citações entre organizações da amostra analisada.



Fonte: Autora (2026)

Entre as instituições que atenderam ao limiar mínimo estabelecido, destacam-se centros e departamentos vinculados a universidades com atuação nas áreas de engenharia, recursos naturais e ciências ambientais. O volume de citações associado a essas organizações evidencia sua relevância no desenvolvimento e consolidação das discussões científicas relacionadas à valorização de resíduos, tecnologias de conversão biológica e sustentabilidade ambiental. Observa-se que determinadas instituições concentram maior número de citações, sugerindo maior impacto e reconhecimento de suas produções no campo investigado.

A ausência de conexões entre as organizações no mapa de citação indica que, embora existam instituições com produção relevante e citada, não se verifica, no conjunto analisado, uma rede consolidada de interdependência institucional por meio de citações cruzadas. Esse resultado pode estar relacionado ao caráter multidisciplinar do tema, no qual diferentes grupos institucionais atuam de forma relativamente independente, ou ainda à dispersão geográfica e temática das pesquisas.

Assim, a análise de citação por organizações permite identificar os principais polos institucionais de produção científica no campo estudado,

A análise bibliométrica realizada corresponde ao acoplamento bibliográfico (bibliographic coupling), adotando-se como unidade de análise as organizações. Esse procedimento parte do princípio de que duas ou mais instituições estão acopladas quando seus respectivos documentos compartilham referências em comum, evidenciando proximidade intelectual e convergência temática. No conjunto analisado, foram identificadas **171 organizações distintas**, das quais **5 atenderam ao critério mínimo de ocorrência** previamente estabelecido, sendo, portanto, incluídas na construção do mapa de rede (Figura 14).

centre for mineral biogeochemi

A visualização gerada pelo *software* VOSviewer demonstra que o acoplamento bibliográfico entre as organizações selecionadas se estrutura a partir da intensidade do compartilhamento de referências, expressa pelo total de força de ligação (total link strength). Observa-se que quatro instituições

apresentam valores equivalentes e mais elevados de força de ligação, indicando maior similaridade no repertório teórico utilizado e, consequentemente, maior proximidade temática entre suas produções científicas. Essas organizações concentram dois documentos cada e compartilham bases referenciais semelhantes, o que sugere inserção em um mesmo núcleo de discussão científica no âmbito da bioeconomia e da compostagem.

Por outro lado, uma das instituições apresenta força de ligação nula, o que indica ausência de compartilhamento significativo de referências com as demais organizações do conjunto. Tal resultado sugere que, embora seus documentos atendam ao critério mínimo de inclusão, sua fundamentação teórica se estrutura de forma mais isolada ou ancorada em referenciais distintos daqueles predominantes na amostra.

A configuração espacial do mapa (Figura 14) evidencia a formação de pequenos agrupamentos institucionais, nos quais a proximidade entre os nós representa maior grau de acoplamento bibliográfico. Esse padrão indica que a produção científica sobre bioeconomia e compostagem, no recorte analisado, apresenta núcleos institucionais relativamente delimitados, com convergência interna de referências, porém ainda com limitada integração entre todos os atores organizacionais envolvidos.

Dessa forma, a análise de acoplamento bibliográfico por organizações permite identificar polos institucionais de produção científica e compreender o grau de convergência teórica existente entre eles. Os resultados indicam que a estrutura intelectual do campo, no conjunto dos 56 documentos analisados, encontra-se concentrada em poucos núcleos organizacionais com compartilhamento consistente de bases referenciais, ao passo que outras instituições apresentam inserção mais periférica na rede.

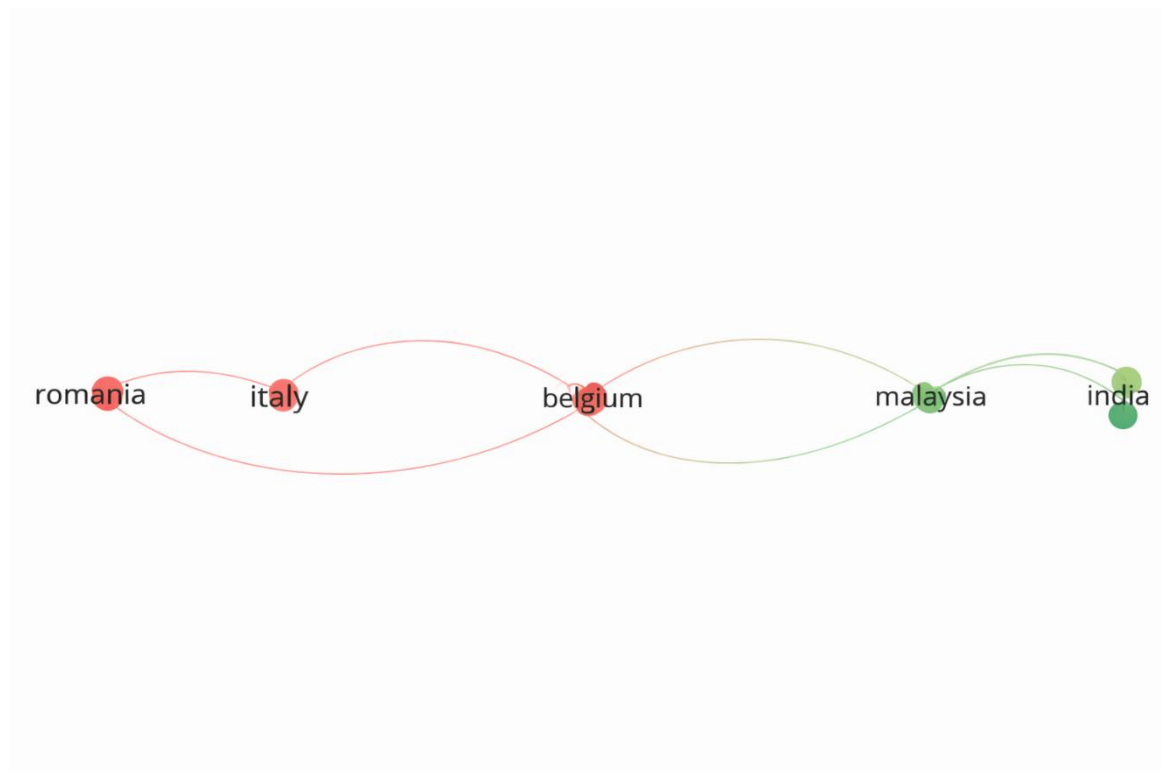
4.1.3. Unidade de análise: Países

A análise de coautoria (co-authorship), adotando-se como unidade de análise os países, teve como objetivo identificar as relações de colaboração científica estabelecidas entre as nações representadas no conjunto dos **56 documentos** selecionados. Do total de **40 países** identificados nas afiliações dos autores, **10 atenderam ao critério mínimo de ocorrência** definido no

software VOSviewer, sendo incluídos na construção da rede de colaboração internacional.

A análise de coautoria por países fundamenta-se na identificação de publicações desenvolvidas em parceria entre autores vinculados a diferentes nações. Assim, dois países estão conectados na rede quando há pelo menos um documento com coautoria internacional envolvendo pesquisadores afiliados a essas localidades. A intensidade das conexões é expressa pela força total de ligação (total link strength), que indica o volume de colaborações estabelecidas (Figura 15).

Figura 15 - Mapa de coautoria entre países da amostra analisada.



Fonte: Autora (2026)

Os resultados evidenciam a formação de três agrupamentos principais de colaboração internacional. A primeira ligação reúne Índia e Malásia, apresentando forte conexão bilateral, o que indica elevada frequência de publicações desenvolvidas em cooperação entre pesquisadores desses países. A espessura das linhas de ligação e o posicionamento central desses nós na

rede sugerem que esse eixo asiático constitui um dos principais polos de colaboração no campo da bioeconomia e da compostagem.

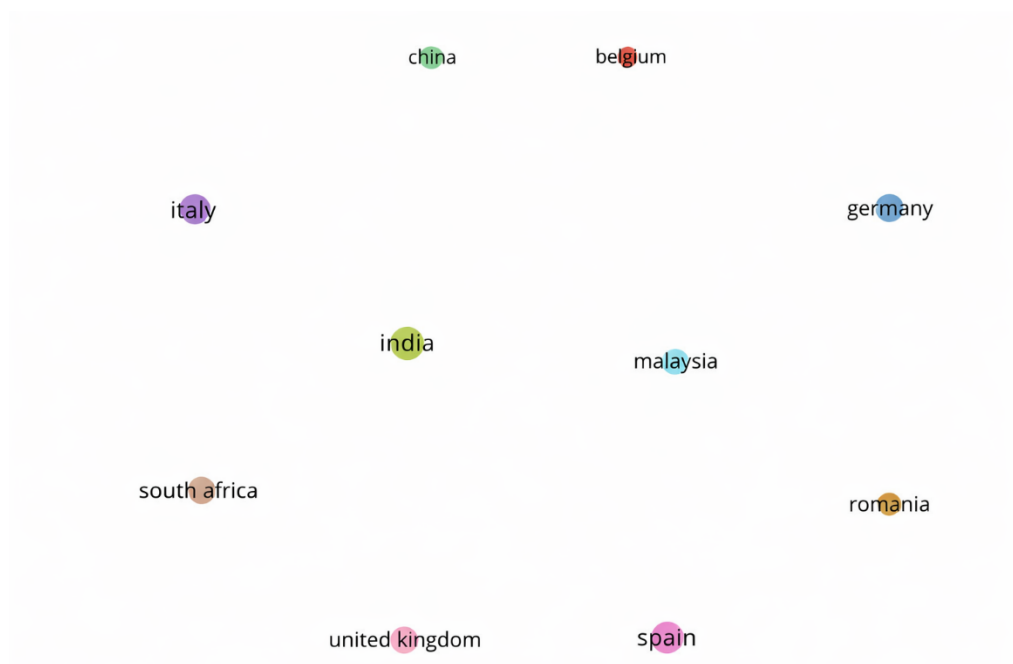
Um segundo agrupamento concentra países europeus, como **Itália**, **Espanha**, **Romênia** e **Bélgica**, mostrando conexões mútuas que refletem cooperação regional. Observa-se que **Espanha** e **Itália** apresentam maior proximidade estrutural, indicando colaboração recorrente, enquanto **Romênia** e **Bélgica** estabelecem conexões intermediárias dentro desse núcleo.

A **China** aparece conectada ao núcleo asiático, especialmente à **Índia**, evidenciando articulação científica entre esses países. A **Alemanha**, por sua vez, apresenta menor intensidade de conexões, posicionando-se de forma mais periférica na rede, o que indica participação mais restrita nas colaborações internacionais identificadas no corpus analisado.

A configuração espacial do mapa demonstra que a colaboração científica na área apresenta padrão um pouco regionalizado, com forte articulação entre países asiáticos e um pequeno nicho europeu. A distribuição das conexões revela que a internacionalização da pesquisa em bioeconomia e compostagem ocorre de forma concentrada em determinados eixos geográficos, não se configurando ainda como uma rede amplamente integrada entre todos os países envolvidos.

Na terceira etapa da análise bibliométrica foi realizado o mapeamento de citações (type of analysis: citation), adotando-se como unidade de análise os países (unit of analysis: countries). Do total de 40 países identificados na base de dados, 10 atenderam ao critério mínimo de ocorrência estabelecido no software, sendo, portanto, incluídos na rede de análise (Figura 16).

Figura 16 - Mapa de citações entre países da amostra analisada.



Fonte: Autora (2026)

A análise de citações por país (Figura 18) permite identificar quais nações concentram maior impacto científico no campo investigado, considerando o número de documentos publicados e, principalmente, o volume de citações recebidas. Nesse contexto, observou-se que países como Índia, China, Malásia, Itália e Reino Unido apresentaram os maiores quantitativos de citações, evidenciando posição de destaque na consolidação e difusão do conhecimento relacionado à bioeconomia, compostagem e gestão de resíduos. A Índia destacou-se tanto pelo número de documentos quanto pelo elevado total de citações, indicando forte protagonismo científico na temática. A China e a Malásia também apresentaram expressivo impacto, refletindo a relevância das pesquisas desenvolvidas nesses contextos nacionais.

Por outro lado, países como Bélgica, Alemanha, Romênia, África do Sul e Espanha apresentaram menor volume relativo de citações quando comparados aos líderes da rede, ainda que tenham atingido o limiar mínimo estabelecido. A distribuição espacial dos nós no mapa indica baixa densidade de conexões entre os países, sugerindo que a análise concentrou-se predominantemente no impacto individual de cada nação, e não necessariamente na intensidade das relações de citação entre elas.

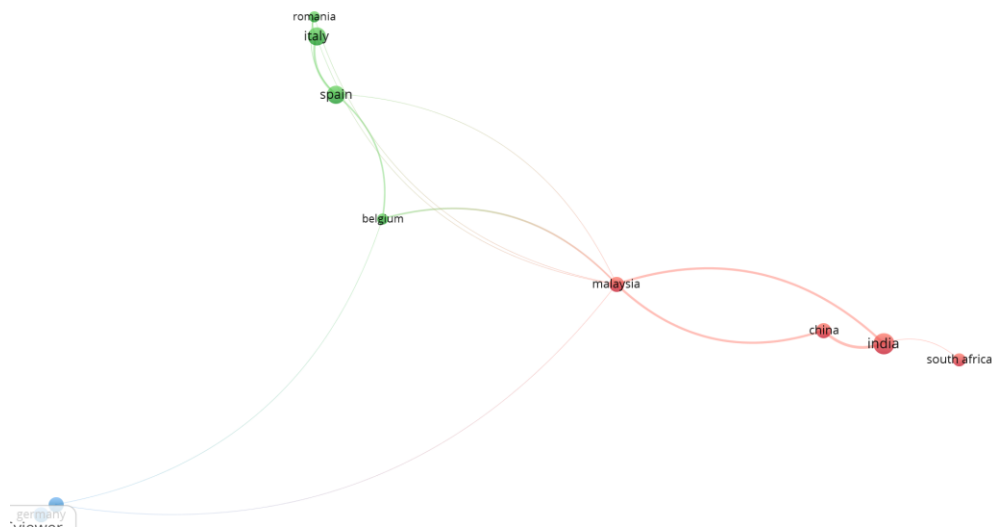
O tamanho dos nós na visualização está diretamente relacionado ao número de citações recebidas, enquanto a ausência ou baixa intensidade de ligações (links) indica reduzido compartilhamento de citações entre países dentro do conjunto analisado. Dessa forma, a estrutura observada revela uma concentração do impacto científico em determinados polos geográficos, com destaque para países asiáticos e europeus, os quais exercem papel central na produção e disseminação do conhecimento na área estudada.

Esses resultados evidenciam que a produção científica sobre bioeconomia e compostagem apresenta distribuição internacional heterogênea, sendo liderada por países com forte tradição em pesquisas ambientais e tecnológicas, ao passo que outras nações participam de maneira mais periférica no cenário de citações globais.

Na última etapa da análise bibliométrica, foi realizada a análise de acoplamento bibliográfico (bibliographic coupling), adotando-se como unidade de análise os países de afiliação dos autores. Do total de 40 países identificados no conjunto de 56 documentos selecionados, 10 atenderam ao critério mínimo estabelecido no software VOSviewer, sendo, portanto, incluídos na construção da rede de acoplamento. O critério de inclusão considerou um número mínimo de documentos por país, de modo a assegurar consistência estatística e relevância analítica na formação dos vínculos.

A Figura 17 mostra o mapa de acoplamento bibliográfico entre países da amostra analisada.

Figura 17 -Mapa de acoplamento bibliográfico entre países da amostra analisada.



Fonte: Autora (2026)

O acoplamento bibliográfico baseia-se na premissa de que duas unidades de análise estão acopladas quando compartilham referências bibliográficas em comum. Nesse contexto, países são considerados fortemente acoplados quando seus respectivos artigos citam um conjunto semelhante de fontes, indicando proximidade temática e convergência teórica ou metodológica. Assim, diferentemente da análise de citação, que mensura o impacto retrospectivo, o acoplamento bibliográfico evidencia afinidades estruturais contemporâneas na base de conhecimento utilizada pelos pesquisadores.

Os resultados demonstraram que Malásia, Índia e China apresentaram os maiores valores de força total de ligação (total link strength), com 55, 52 e 51, respectivamente, indicando elevada similaridade nas referências utilizadas e forte inserção em um mesmo núcleo temático da literatura. Espanha, Itália e Bélgica também apresentaram níveis relevantes de acoplamento, com forças de ligação intermediárias, sugerindo alinhamento conceitual com o núcleo principal. Países como Romênia, Reino Unido e Alemanha apresentaram níveis mais moderados de conexão, enquanto a África do Sul evidenciou menor intensidade de acoplamento, indicando posicionamento mais periférico na estrutura da rede.

A visualização em rede revelou a formação de agrupamentos (clusters) que refletem a organização estrutural da produção científica por afinidade

bibliográfica. Observou-se um núcleo mais denso envolvendo países asiáticos, especialmente Malásia, Índia e China, caracterizado por fortes conexões mútuas, o que sugere consolidação de um eixo de pesquisa com base referencial compartilhada. Um segundo agrupamento concentrou países europeus, como Espanha, Itália e Bélgica, evidenciando proximidade bibliográfica e convergência temática. A Alemanha apresentou conexão mais isolada, indicando menor compartilhamento de referências com os demais países do conjunto analisado.

Dessa forma, a análise de acoplamento bibliográfico por países permitiu identificar a estrutura intelectual subjacente à produção científica sobre bioeconomia e compostagem, evidenciando a existência de polos geográficos com forte convergência teórica e metodológica. Os resultados indicam que a base de conhecimento utilizada na área apresenta maior densidade de compartilhamento entre países asiáticos, seguidos por um núcleo europeu, revelando a distribuição geográfica das principais correntes científicas que sustentam o campo investigado.

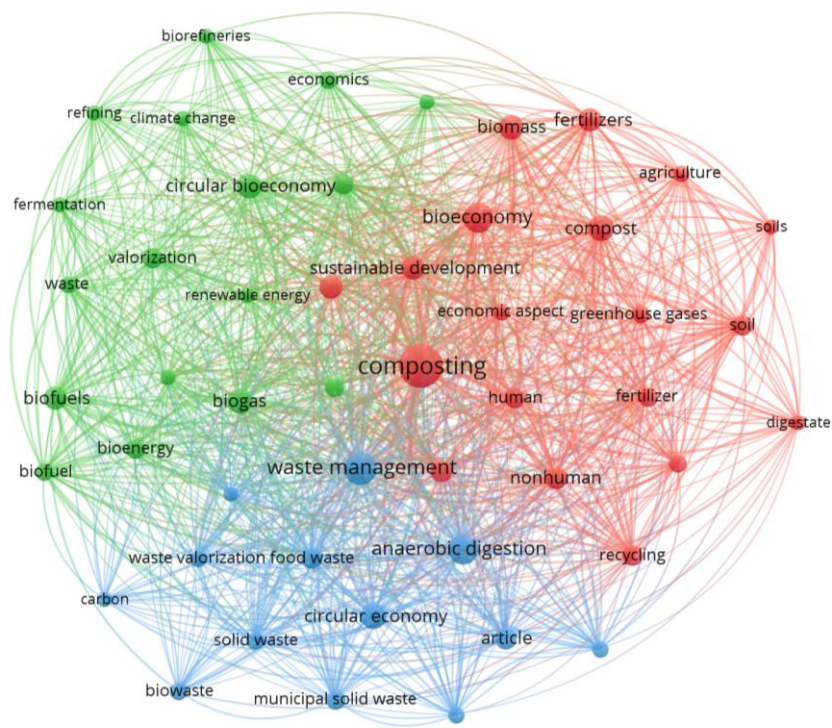
4.2. Análise de Co-ocorrência (Co-occurrence)

4.2.1. Todas as palavras-chave (All Keywords)

A análise de co-ocorrência de palavras-chave foi feita para identificar as conexões entre os termos mais utilizados nos artigos da área de bioeconomia e compostagem. Dentre as **888 palavras-chave** presentes nos dados, **49 palavras-chave** atenderam aos critérios de co-ocorrência, ou seja, aquelas que aparecem frequentemente em conjunto nos documentos analisados.

A Figura 18 mostra o mapa de co-ocorrência das palavras-chave, representando a força das ligações entre elas. As palavras-chave mais conectadas estão mais ao centro, enquanto as com menor número de co-ocorrências ficam mais afastadas na rede. Na análise visual, é possível observar que termos como **compostagem**, **bioeconomia** e **gestão de resíduos** têm uma forte inter-relação, indicando que esses tópicos estão frequentemente presentes nos mesmos artigos. Outros termos, como **agricultura**, **biomassa** e **sustentabilidade**, também aparecem em agrupamentos próximos, sugerindo áreas de pesquisa interconectadas dentro do campo da bioeconomia.

Figura 18 - Mapa de co-ocorrência de todas as palavras-chave dos estudos analisados.



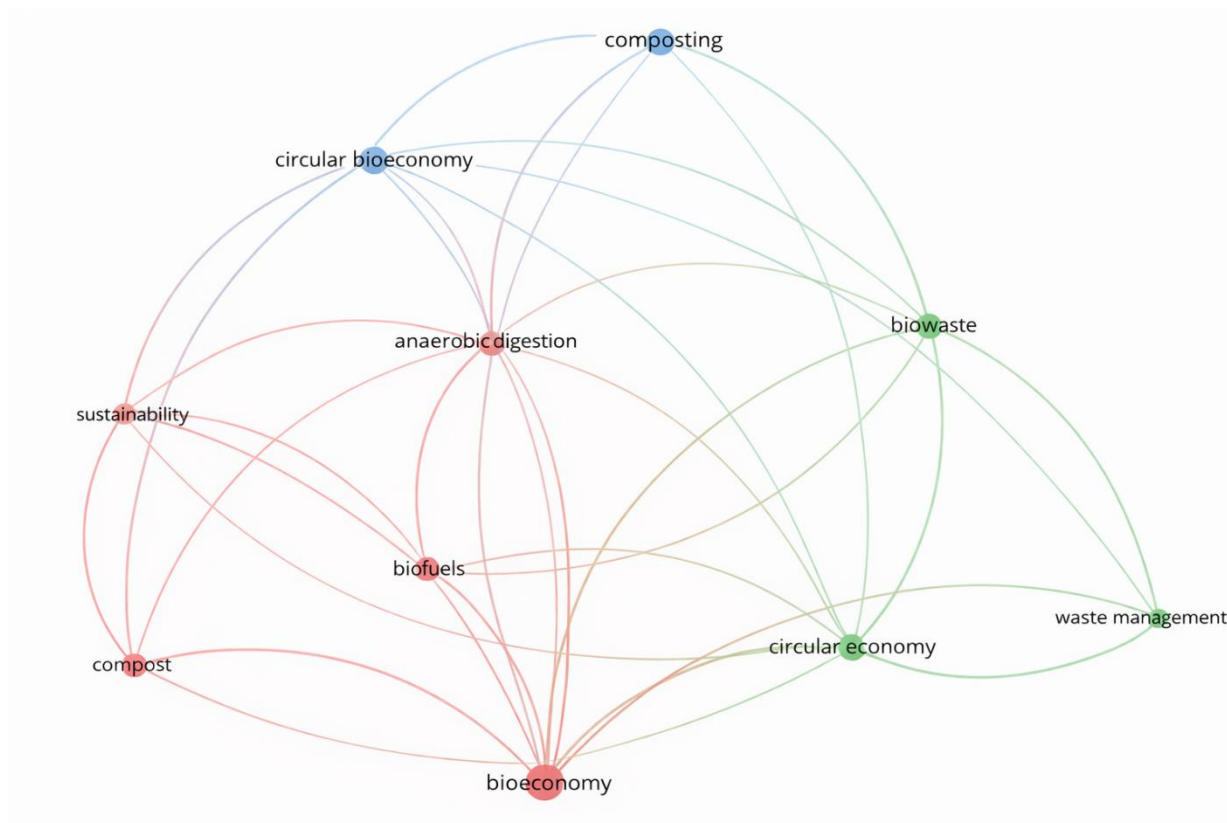
Fonte: Autora (2026)

4.2.2. Palavras-chave dos autores (Author Keywords)

A análise de co-ocorrência de palavras-chave dos autores teve como objetivo identificar as conexões entre os termos mais frequentemente utilizados nos documentos da área de bioeconomia e compostagem. Dentre as **210 palavras-chave** disponibilizadas pelos autores, **10 palavras-chave** incluíram-se aos critérios de co-ocorrência, ou seja, aquelas que aparecem com muito mais frequência em conjunto nos artigos analisados.

Na Figura 19 mostra a rede de co-ocorrência entre as palavras-chave dos autores, representando as conexões entre elas. As palavras-chave mais conectadas estão mais centralizadas, enquanto as com menor número de co-ocorrências ficam mais afastadas na rede. Na análise visual, pode-se observar que termos como **bioeconomia**, **compostagem**, **gestão de resíduos** e **economia circular** estão fortemente interligados, sugerindo que esses temas são frequentemente abordados de forma conjunta nos estudos analisados.

Figura 19 - Mapa de coocorrência das palavras-chave dos autores dos estudos analisados.



Fonte: Autora (2026)

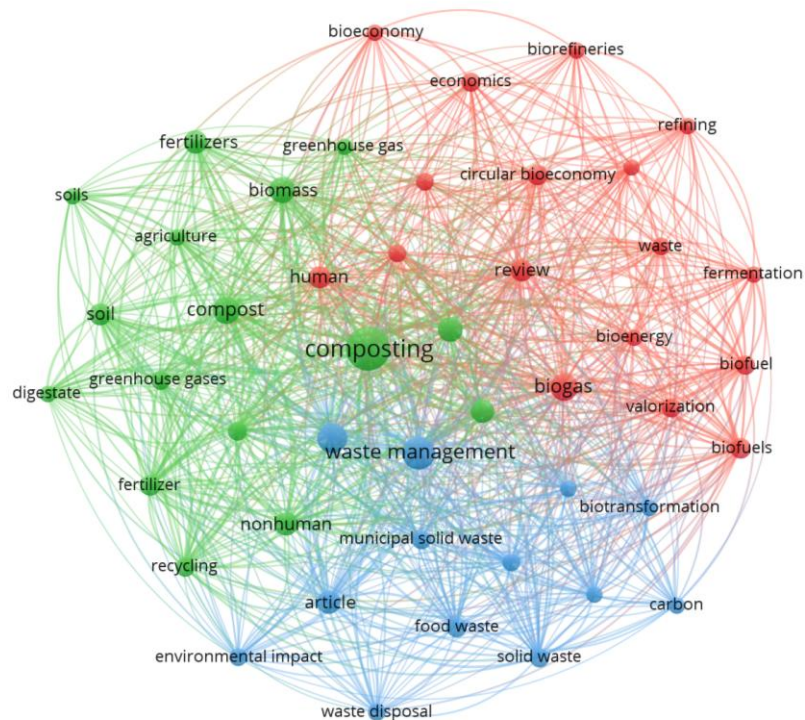
4.2.3. Palavras-chave indexadas (Index Keywords)

A análise de co-ocorrência de palavras-chave de índice foi realizada para identificar as conexões entre os termos mais frequentemente indexados nos artigos da área de bioeconomia e compostagem. Dentre as **750 palavras-chave** indexadas, **46 palavras-chave** atenderam aos critérios de co-ocorrência mais fortes, ou seja, aquelas que aparecem frequentemente em conjunto nos documentos analisados.

Na Figura 20 mostra a rede de co-ocorrência entre as palavras-chave indexadas, representando a força das conexões entre elas. As palavras-chave mais conectadas estão mais centralizadas, enquanto as com menor número de co-ocorrências ficam mais afastadas na rede. Na análise visual, pode-se observar que termos como **compostagem**, **bioeconomia**, **gestão de resíduos**, **economia circular** e **sustentabilidade** estão fortemente interligados, sugerindo

que esses temas são frequentemente abordados de forma conjunta nos estudos analisados. Outros termos, como **fertilizantes**, **biomassa** e **reciclagem**, também aparecem em agrupamentos próximos, refletindo áreas de pesquisa interconectadas dentro do campo da bioeconomia e compostagem.

Figura 20 - Mapa de coocorrência das palavras-chave indexadas (Index Keywords) dos estudos analisados.



Fonte: Autora (2026)

4.3. *Análise de Citação (Citation)*

4.3.1. **Documentos**

A análise de citação, tendo como unidade de análise os documentos, foi realizada com o objetivo de identificar os estudos de maior impacto no conjunto dos **56 artigos** selecionados para a revisão sistemática. Considerando-se que todos os **56 documentos atenderam ao critério mínimo estabelecido** no software, a rede foi composta integralmente pelos trabalhos analisados,

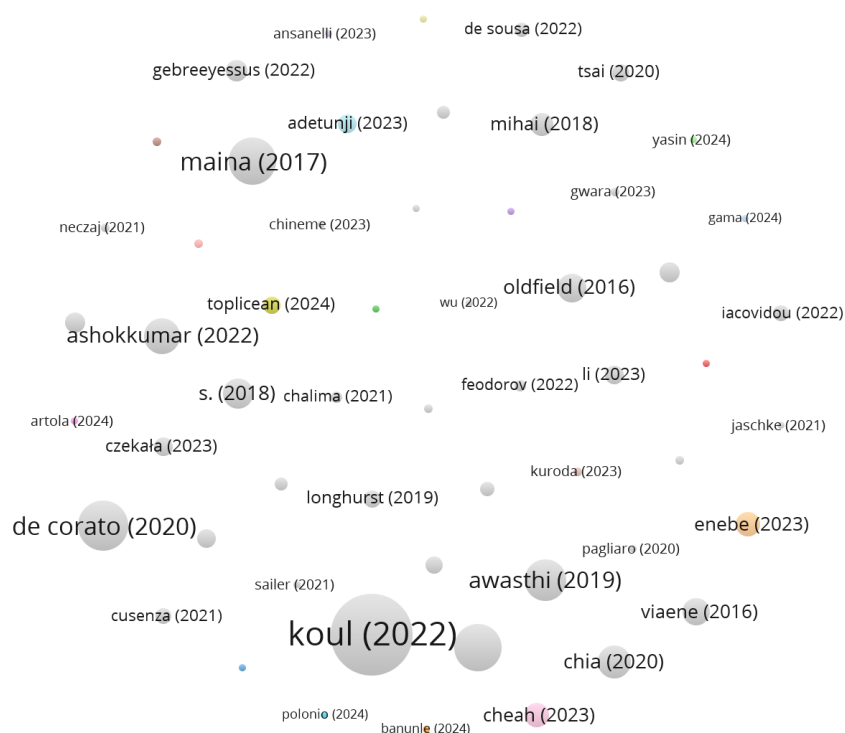
permitindo a visualização da distribuição das citações e da centralidade relativa de cada publicação no campo investigado.

A visualização demonstra uma estrutura dispersa, com predominância de nós isolados ou com baixo número de conexões diretas, o que indica que, embora todos os documentos possuam citações registradas, nem todos estabelecem relações de citação entre si dentro do próprio conjunto analisado.

Esse padrão sugere que parte significativa das citações recebidas pelos artigos provém de documentos externos ao corpus selecionado, evidenciando que a produção científica sobre bioeconomia e compostagem está inserida em um campo mais amplo e interdisciplinar.

Na Figura 21 mostra o mapa de citações entre os documentos da amostra analisada.

Figura 21 - Mapa de citações entre os documentos da amostra analisada.



Fonte: Autora (2026)

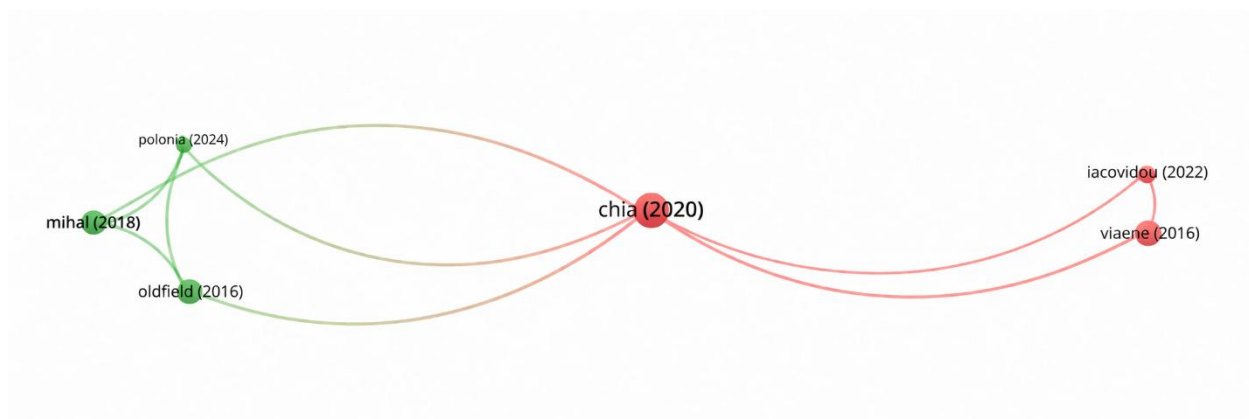
Observa-se na Figura 21, entretanto, a presença de alguns documentos com maior destaque em termos de número de citações, representados por nós de maior dimensão na rede. Observou-se que alguns estudos apresentaram maior volume de citações dentro da amostra analisada, indicando relevância acadêmica e influência na consolidação das discussões sobre valorização de resíduos orgânicos, bioeconomia circular, compostagem e tecnologias associadas. Esses estudos tendem a funcionar como referências estruturantes, fornecendo base teórica e metodológica para pesquisas subsequentes.

A ausência de ligações significativas entre diversos documentos do próprio corpus também pode indicar diversidade temática e abordagens metodológicas distintas dentro da área, o que reforça o caráter multidisciplinar da interface entre bioeconomia e compostagem. Assim, a análise de citação por documentos permite identificar os trabalhos de maior impacto científico e compreender o grau de coesão interna do conjunto analisado, evidenciando tanto a existência de referências centrais quanto a amplitude temática do campo de estudo.

A análise de acoplamento bibliográfico foi realizada considerando como unidade de análise os documentos, com o objetivo de identificar a similaridade temática entre os **56 estudos** que compõem o corpus final da revisão sistemática. No acoplamento bibliográfico, dois documentos são considerados relacionados quando compartilham referências em comum, de modo que quanto maior o número de referências compartilhadas, maior é a força de ligação entre eles. Dos 56 documentos analisados, todos atenderam ao limiar mínimo estabelecido, sendo, portanto, integralmente incluídos na rede.

A visualização gerada pelo software VOSviewer (Figura 22) evidenciou a formação de agrupamentos (clusters) distintos, indicando a existência de núcleos temáticos consolidados dentro da literatura sobre bioeconomia e compostagem. Observa-se que determinados documentos apresentam maior tamanho de nó na rede, o que indica maior força total de ligação (total link strength), refletindo elevado compartilhamento de referências com outros estudos do conjunto analisado. Esses documentos podem ser compreendidos como trabalhos estruturantes ou de convergência teórica, pois dialogam com um repertório bibliográfico comum amplamente utilizado na área.

Figura 22 - Mapa de acoplamento bibliográfico entre os documentos da amostra analisada.



Fonte: Autora (2026)

Os clusters identificados demonstram a organização interna do campo, sugerindo a presença de diferentes abordagens analíticas, tais como estudos voltados à valorização de resíduos orgânicos, à digestão anaeróbia e produção de biogás, à gestão de resíduos sólidos sob a perspectiva da economia circular e às análises ambientais e de sustentabilidade associadas à compostagem. A proximidade entre os nós na rede indica maior similaridade bibliográfica, enquanto o distanciamento sugere menor compartilhamento de referências e, consequentemente, abordagens mais específicas ou especializadas.

A inclusão dos 56 documentos na rede confirma que o corpus selecionado apresenta coesão temática, ainda que distribuída em subcampos inter-relacionados. O acoplamento bibliográfico, portanto, permite inferir que a produção científica sobre bioeconomia e compostagem não se apresenta de forma fragmentada, mas estruturada em eixos teóricos relativamente consolidados, interligados por referenciais comuns. Essa análise contribui para a compreensão da base intelectual contemporânea da área, evidenciando como os estudos recentes se articulam a partir de fundamentos compartilhados e como se distribuem as principais linhas de investigação dentro do período analisado.

4.3.2. Fontes (Sources)

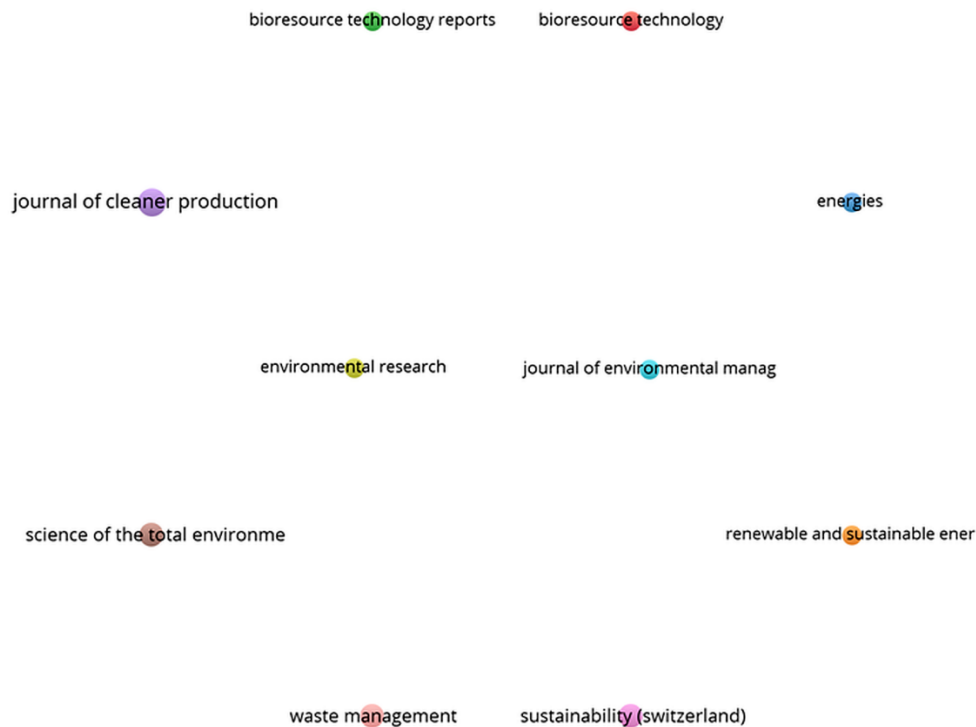
A análise de citação, considerando como unidade de análise as fontes (sources), teve como objetivo identificar os periódicos científicos de maior

impacto e influência no conjunto dos 56 documentos selecionados para a revisão sistemática. Do total de **41 fontes** identificadas na amostra, **10 atenderam ao critério mínimo de ocorrência previamente estabelecido no VOSviewer**, sendo, portanto, incluídas na construção do mapa de redes.

O mapa gerado evidencia a distribuição das citações entre os principais periódicos que concentram a produção científica relacionada à bioeconomia e à compostagem. Observa-se que determinadas fontes apresentam maior número de documentos publicados e maior volume de citações, configurando-se como núcleos estruturantes da literatura analisada. Entre os periódicos com maior destaque encontram-se **Environmental Research, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Science of the Total Environment, Journal of Environmental Management, Waste Management e Journal of Cleaner Production**, que apresentam expressivo número de citações acumuladas, indicando elevada centralidade e influência na consolidação teórica e metodológica do campo.

A visualização da rede (Figura 23) demonstra que essas fontes ocupam posições estratégicas no sistema científico analisado, atuando como canais predominantes de difusão do conhecimento sobre valorização de resíduos, gestão sustentável, bioenergia e tecnologias aplicadas à bioeconomia. A concentração das citações em um número relativamente reduzido de periódicos sugere que a área apresenta certo grau de especialização temática e dependência de veículos consolidados nas áreas de engenharia ambiental, sustentabilidade, gestão de resíduos e energias renováveis.

Figura 23 - Mapa de citações entre as fontes (periódicos) da amostra analisada.



Fonte: Autora (2026)

Verifica-se, ainda, que a distribuição das citações não ocorre de maneira homogênea entre todas as fontes, evidenciando assimetria na visibilidade científica. Enquanto alguns periódicos apresentam elevada densidade de citações, outros demonstram participação mais periférica na rede. Tal configuração indica a existência de um núcleo central de periódicos de alta influência, responsáveis por estruturar o debate científico acerca da bioeconomia associada à compostagem.

Dessa forma, a análise de citação por fontes permite identificar os principais veículos de publicação que sustentam o desenvolvimento científico do tema investigado, contribuindo para a compreensão da dinâmica de produção e disseminação do conhecimento na área. Esse resultado reforça a relevância dos periódicos especializados em sustentabilidade ambiental, gestão de resíduos e bioenergia como plataformas centrais para a consolidação e expansão das pesquisas em bioeconomia e compostagem.

Na quarta etapa da análise bibliométrica foi empregada a técnica de acoplamento bibliográfico (bibliographic coupling), tendo como unidade de análise as fontes de publicação (sources). Essa técnica fundamenta-se na identificação do número de referências compartilhadas entre diferentes periódicos, permitindo aferir o grau de proximidade temática e estrutural entre eles. Diferentemente da análise de citações, que considera o reconhecimento recebido ao longo do tempo, o acoplamento bibliográfico evidencia similaridades intelectuais a partir das bases referenciais utilizadas pelos estudos.

Do total de **41 fontes** identificadas no corpus composto por 56 documentos, estabeleceu-se como critério mínimo a ocorrência de ao menos um documento por periódico, resultando na seleção de **10 fontes** que atenderam ao limiar definido. Dessa forma, as análises subsequentes foram conduzidas com base nessas 10 fontes, que apresentaram vínculos de acoplamento bibliográfico mensuráveis, expressos pelo indicador de força total de ligação (total link strength).

Figura 24 - Mapa de acoplamento bibliográfico entre as fontes (periódicos) da amostra analisada.



Fonte: Autora (2026)

O mapa gerado pelo *software* VOSviewer (Figura 24) evidenciou a formação de dois agrupamentos principais, indicando a existência de dois núcleos temáticos predominantes no campo investigado. Observou-se um cluster estruturado em torno do periódico **Waste Management**, que apresentou maior força de ligação total, estabelecendo conexões relevantes com **Bioresource Technology** e **Energies**. Esse agrupamento sugere uma convergência temática voltada à gestão de resíduos, valorização de biomassa e

aproveitamento energético, aspectos diretamente relacionados à interface entre bioeconomia e compostagem.

Em paralelo, identificou-se um segundo cluster composto por periódicos como **Journal of Cleaner Production**, **Journal of Environmental Management** e **Science of the Total Environment**, que também demonstraram vínculos de acoplamento entre si. Esse conjunto evidencia uma abordagem mais ampla, voltada à sustentabilidade ambiental, produção mais limpa e gestão integrada de sistemas ambientais, indicando que a temática investigada encontra-se inserida em um debate interdisciplinar mais abrangente.

A presença de conexões entre os dois clusters indica que, embora existam núcleos temáticos relativamente distintos, há compartilhamento de bases teóricas e referenciais metodológicos entre periódicos voltados à gestão de resíduos e aqueles direcionados à sustentabilidade e gestão ambiental sistêmica. Assim, o acoplamento bibliográfico das fontes confirma a consolidação de dois eixos estruturantes na literatura analisada: um de caráter mais aplicado, centrado na gestão e valorização de resíduos orgânicos, e outro de caráter mais sistêmico, orientado à sustentabilidade e à transição para modelos de bioeconomia.

Portanto, a análise de acoplamento bibliográfico das fontes permitiu identificar a estrutura intelectual do campo, evidenciando a organização da produção científica em núcleos temáticos inter-relacionados e reforçando a natureza interdisciplinar das pesquisas que articulam bioeconomia e compostagem no período investigado.

A análise de co-citação por fonte citadas, foi estimada com o intuito de apontar os periódicos que demonstram maior inter-relação na análise de estudos sobre a bioeconomia e compostagem. Tendo um total de 71 fontes verificadas nos 56 artigos avaliados, apenas 10 atenderam aos critérios mínimos de ocorrência estabelecidos no software, sendo assim, incluídas na rede de co-citação. Esse processo possibilitou distinguir quais periódicos são citados em conjunto e em uma maior frequência, mostrando a existência de um núcleo intelectual consolidado que fundamenta a produção científica na área.

Na Figura 25 mostra o mapa de cocitação das fontes citadas nos estudos analisados.

Figura 25 - Mapa de cocitação das fontes citadas nos estudos analisados.



Fonte: Autora (2026)

A rede permite visualizar o esquema de três principais agrupamentos, demonstrando uma grande proximidade entre os periódicos estabelecidos. Nota-se que **Bioresource Technology** e **Compost Science and Utilization** revelam uma forte associação, visando aproximação na abordagem técnica da compostagem e a importância dos resíduos orgânicos. De modo geral **Science of the Total Environment** e **Journal of Environmental Quality** representam um núcleo mais direcionado às dimensões ambientais e também aos impactos ecológicos da gestão de resíduos. O **Journal of Cleaner Production** domina a posição central na rede, trabalhando como elemento de junção entre os diferentes grupos o que sugere seu papel agregador nas discussões associadas à sustentabilidade, economia circular e tecnologias limpas.

O impulso total da ligação analisada na rede comprova que essas fontes executam significativa na estabilização teórica do campo estudado trabalhando como referências centrais para os estudos que unem bioeconomia, compostagem, gestão de resíduos e sustentabilidade ambiental. Desse modo, a análise de co-citação das fontes possibilita indicar os periódicos que organizam o debate científico, demonstrando os eixos temáticos que mais predominam a base intelectual que sustenta a produção acadêmica analisada.

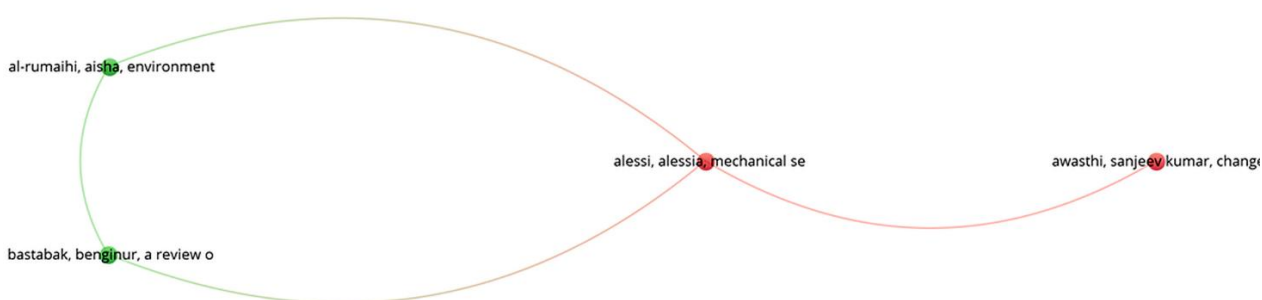
4.3.3. Referências citadas

A análise de co-citação teve como intuito reconhecer as conexões através das palavras-chave mais repetidamente citadas nos artigos da área de bioeconomia e compostagem. Dentre as **495 palavras-chave** composta nos resultados, **12 palavras-chave** responderam aos critérios de co-citação mais

abrangentes, sendo aquelas que são mais citadas em grupo dos artigos avaliados.

Na Figura 26 observa-se a rede de co-citação entre as palavras-chave, caracterizando a força das conexões entre elas. As palavras-chave mais conectadas estão mais centralizadas, enquanto as com menor número de co-citações ficam mais afastadas na rede. Na análise visual, é possível observar que termos como **compostagem**, **bioeconomia**, **gestão de resíduos** e **economia circular** estão fortemente interligados, sugerindo que esses temas são frequentemente abordados de forma conjunta nos artigos citados. Outras palavras-chave, como **fertilizantes**, **biomassa** e **sustentabilidade**, também aparecem em agrupamentos próximos, indicando áreas de pesquisa interconectadas dentro do campo da bioeconomia e compostagem.

Figura 26 - Mapa de cocitação das referências citadas nos estudos analisados.



Fonte: Autora (2026)

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho de pesquisa teve como finalidade, através da revisão sistemática da literatura científica, com publicações entre os anos de 2016 e 2024, avaliar e analisar como a compostagem tem sido debatido enquanto estratégia da bioeconomia, reconhecendo tendências e padrões de contribuição científica, núcleos temáticos e falhas de investigação.

Os resultados mostraram que a temática demonstra um crescimento atual e estabilização gradativa, ainda que com a divisão geográfica variada. Observou-se o destaque de países asiáticos, principalmente Índia, China e Malásia, tanto

em grande quantidade de publicações quanto em influência de citações e intensidade de conexão bibliográfica.

Contudo, apesar da consolidação temática observada, destaca-se a necessidade de maior integração entre avaliações ambientais, análises econômicas e estudos de governança. Conclui-se que a compostagem se caracteriza como tecnologia fundamental da bioeconomia contemporânea, auxiliando na valorização dos resíduos orgânicos, recuperação de nutrientes, redução de impactos ambientais e fortalecimento de sistemas produtivos sustentáveis.

Por fim, esta pesquisa que enfatiza a revisão sistemática colabora para o conhecimento na relação entre a bioeconomia e compostagem, ao estabelecer indícios científicos recentes, mapear a estrutura intelectual do campo e escolher direções estratégicas para futuras pesquisas.

6. REFERÊNCIAS

AMARAL, André Filipe de Sousa et al. A roadmap towards a circular and sustainable agriculture: waste-to-resource. *Journal of Cleaner Production*, 2022. Acesso em: 15 jan. 2026.

ANSANELLI, G.; et al. Sustainability Assessment of Coffee Silverskin Waste Management in the Metropolitan City of Naples (Italy): A Life Cycle Perspective. *Sustainability*, [S. l.], v. 15, n. 23, 16281, 2023. Acesso em: 12 jan. 2026.

ARAÚJO, Emmanouella Costa Guaraná; et al. Compostagem: guia prático de revisão e produção. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/>. Acesso em: 14 jan. 2026.

ARTOLA, A.; et al. The role of solid-state fermentation to transform existing waste treatment plants based on composting and anaerobic digestion into modern organic waste-based biorefineries, in the framework of circular bioeconomy. *Frontiers in Chemical Engineering*, [S. l.], v. 6, 1463785, 2024. Acesso em: 25 fev. 2026.

ASHOKKUMAR, V. et al. Conversion of food waste into value-added resources: A review of recent technological transitions. *Science of the Total Environment*, v. 840, 156693, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156693>. Acesso em: 14 jan. 2026.

AVCIOĞLU, A. O.; DEMIRER, G. N. Energy and environmental assessment of residual bio-wastes valorization through anaerobic digestion and composting. *Waste Management*, v. 144, p. 1-11, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.03.010>. Acesso em: 05 jan. 2026.

AWASTHI, S. K. et al. Variation in the key indicators during composting of municipal solid organic wastes. *Sustainable Environment Research*, v. 29, n. 9, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s42834-019-0009-7>. Acesso em: 22 dez. 2025.

BANEGAS, R. et al. Agricultural waste recycling in horticultural intensive farming systems by using an innovative composting technology. 2023. *Journal of Cleaner Production*, v. 385, 135706. Acesso: 15 fevereiro 2026.

BEGUM, S. et al. Innovative Circular Biowaste Valorisation—State of the Art and Perspectives. *Sustainability*, v. 15, n. 14, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su151411034>. Acesso em: 18 fev. 2026.

BENATTI, G.; FARIAS, B. G.; BOEIRA, L. *Economia Circular: Respostas Rápidas para Governos: Evidências, Desafios e Caminhos Possíveis*. São Paulo: Instituto Veredas, 2024. Disponível em: <https://www.veredas.org/biblioteca/economia-circular>. Acesso em: 28 dez. 2025.

BRASIL, 2010 - Decreto nº 7.404/2010, que regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). *Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Bioeconomia*. Brasília: CGEE, 2018. 36 p. Disponível em: <https://pacti.cgее.org.br/bioeconomia>. Acesso em: 10 fev. 2026.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos: manual de orientação. Brasília: MMA, 2017. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/publicacoes-mma>. Acesso em: 03 fev. 2026.

BUENO, L. S. et al. Economic Viability Assessment of Small-Scale Biomass Gasification for Rural Electrification. 2022. Renewable Energy Focus, v. 41, p. 112-124. Acesso: 05 janeiro 2026.

BUGGE, Markus M.; HANSEN, Teis; KLITKOU, Antje. What Is the Bioeconomy? A Review of the Literature. Sustainability, Basel, v. 8, n. 691, p. 1-22, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su8070691>. Acesso em: 20 dez. 2025.

CAZALIS, B. J. et al. Effect of moisture content on the composting process of organic fraction of municipal solid waste. Waste Management & Research, v. 40, n. 3, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0734242X211019054>. Acesso em: 12 jan. 2026.

CERDA, A.; et al. Upgrading the Organic Fraction of Municipal Solid Waste by optimizing the composting process. Resources, Conservation and Recycling, [S. l.], v. 135, p. 200-210, 2018. Acesso em: 04 fev. 2026.

CHIA, W. Y.; et al. Sustainable utilization of biowaste compost for renewable energy and soil amendments. Environmental Pollution, [S. l.], v. 267, 115662, 2020. Acesso em: 21 dez. 2025.

COMPOSTAGEM COM CIÊNCIA. E-book Compostagem com Ciência. [S. l.: s. n.], 2026. Disponível em: <https://compostagemcomciencia.com.br/ebook/>. Acesso em: 27 fev. 2026.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). Bioeconomia: oportunidades, obstáculos e agenda. Brasília: CNI, 2014. (Propostas da Indústria, 35). Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/>. Acesso em: 05 jan. 2026.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). Economia circular: caminho estratégico para a indústria brasileira. Brasília: CNI, 2019. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/cni/canaais/economia-circular/>. Acesso em: 11 fev. 2026.

CZEKAŁA, W.; NOWAK, M.; PIECHOTA, G. Sustainable management and recycling of anaerobic digestate solid fraction by composting: A review. *Bioresource Technology*, [S. l.], v. 375, 128813, 2023. Acesso em: 05 fev. 2026.

D'ADAMO, I. et al. Exploratory research on the adoption of composting for the management of organic waste in a circular economy perspective. *Journal of Environmental Management*, v. 320, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115852>. Acesso em: 20 dez. 2025.

DAL BOSCO, Tatiane Cristina (org.). Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos: resultados de pesquisas acadêmicas. São Paulo: Blucher, 2017. Disponível em: <https://www.blucher.com.br/>. Acesso em: 08 jan. 2026.

DE CORATO, U. Agricultural waste recycling in a circular economy: A review of the main pathways for the sustainable production of bio-products and energy. *Visions for Sustainability*, v. 13, p. 59-65, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.13135/2384-8677/4421>.

ECHEVERRÍA-VEGA, A.; et al. Management of industrial wine residues: physicochemical, bacterial and fungal dynamics during composting processes. *Discover Applied Sciences*, [S. l.], v. 6, n. 7, 345, 2024. Acesso em: 15 fev. 2026.

FERNANDES, Fernando; SILVA, Sandra Márcia Cesário Pereira da. Manual prático para a compostagem de bio sólidos. Londrina: PROSAB: UEL, [2008]. Disponível em: http://www.resol.com.br/cartilhas/Manual_biossolidos.pdf. Acesso em: 22 dez. 2025.

FONTGALLAND, Isabel Lausanne. Economia circular e consumo sustentável. Campina Grande: Editora Amplla, 2022. Disponível em: <https://editoraamplla.com.br/ebooks/>. Acesso em: 19 jan. 2026.

G20. A Bioeconomia Global: levantamento preliminar das estratégias e práticas do G20: uma contribuição para a Iniciativa de Bioeconomia do G20. [S. l.]: G20 Brasil 2024, 2024. Disponível em: <https://www.g20.org/pt-br/g20-brasil/bioeconomia>. Acesso em: 02 fev. 2026.

GUPTA, A. et al. Efficient resource valorization by co-digestion of food and vegetable waste: a review. Environmental Chemistry Letters, v. 20, p. 345–367, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01332-1>. Acesso em: 09 fev. 2026.

HADI, S. et al. Circular bioeconomy in palm oil industry: Current practices and future perspectives. 2023. Journal of Cleaner Production, v. 414, 137684. Acesso: 29 dezembro 2025.

HASSAN, Muhammad et al. A critical review of organic manure biorefinery models toward sustainable circular bioeconomy: technological challenges and future perspectives. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2022. Acesso em: 22 dez. 2025.

HASSAN, Muhammad et al. A critical review on livestock manure biorefinery technologies: sustaining a circular bioeconomy. Bioresource Technology, 2022. Acesso em: 5 fev. 2026.

HOSSAIN, M. S. et al. Assessment of biowaste losses through unsound waste management practices: A case study. 2022. Resources, Conservation and Recycling, v. 182, 106314. Acesso: 18 fevereiro 2026.

INÁCIO, Caio de Teves; MILLER, Paul Richard Momsen. Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 156 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/>. Acesso em: 24 dez. 2025.

ITAIPU PARQUETEC. Cartilha resíduos orgânicos: vamos aprender a gerenciar e valorizar os resíduos orgânicos? Foz do Iguaçu: Itaipu Parquetec, 2025. Disponível em: <https://campanha.itaipuparquetec.org.br/>. Acesso em: 27 fev. 2026.

JOHNSON, Francis Xavier et al. A comparative analysis of bioeconomy visions and pathways based on stakeholder dialogues in Colombia, Rwanda, Sweden, and Thailand. *Journal of Environmental Policy & Planning*, [S. l.], 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1523908X.2022.2134111>. Acesso em: 30 dez. 2025.

KHAN, S. et al. From garbage to treasure: A review on biorefinery of organic solid wastes. *Fuel*, v. 323, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124316>. Acesso em: 15 fev. 2026.

KIM, M. S.; et al. Waste-to-wealth: The economic reasons for replacing petroleum-based products with bioproducts. *Journal of Environmental Management*, [S. l.], v. 294, 113010, 2021. Acesso em: 12 jan. 2026.

KIM, S.; et al. Turning Food Waste into Value-Added Resources: Circular Economy and Sustainable Waste Management. *Sustainability*, [S. l.], v. 14, n. 21, 14556, 2022. Acesso em: 28 dez. 2025.

KOUL, B. et al. Insights into the valorization of spent coffee grounds: A step toward a circular bioeconomy. *Science of the Total Environment*, v. 833, 155113, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155113>. Acesso em: 18 jan. 2026.

KUMAR, Sanjeev et al. Agricultural waste management strategies for environmental sustainability. *Environmental Challenges*, 2022. Acesso em: 29 dez. 2025.

KUSCH-BRANDT, S.; KAUFHOLD, S. The circular bioeconomy as a regional task. *Waste Management & Research*, [S. l.], v. 42, n. 8, p. 949-952, 2024. Acesso em: 18 jan. 2026.

LARA-TOPETE, G. O.; et al. Life cycle assessment of agave bagasse management strategies: PLA biocomposites versus conventional waste disposal practices. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, [S. l.], v. 37, 101435, 2024. Acesso em: 05 jan. 2026.

LI, D.; et al. Role of tobacco and bamboo biochar on food waste digestate co-composting: Nitrogen conservation, greenhouse gas emissions, and compost quality. *Waste Management*, [S. l.], v. 156, p. 44-54, 2023. Acesso em: 30 dez. 2025.

LIMA, Uedja Tatyane Guimarães Medeiros; SILVA, Gilson Lima da; SOBRAL, Maria do Carmo Martins. Da gestão de resíduos sólidos à economia circular: maximizando o valor do resíduo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 9., 2022. Anais... [S. l.]: IBEAS, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.5.22.I-002> Acesso em: 19 fev. 2026.

LOMBARDI, S.; et al. Towards the sustainable and circular bioeconomy: Insights on spent coffee grounds valorization. *Science of The Total Environment*, [S. l.], v. 754, 142230, 2021. Acesso em: 19 fev. 2026.

LONGHURST, P. J.; et al. Risk assessments for quality-assured, source-segregated composts and anaerobic digestates for a circular bioeconomy in the UK. *Environment International*, [S. l.], v. 127, p. 253-266, 2019. Acesso em: 14 fev. 2026.

MAINA, S. et al. From food waste to chemicals: Low cost substrates for the production of high value-added compounds. *New Biotechnology*, v. 40, p. 60-69, 2017.

MAESTRE, P. et al. Incorporation of Substrates and Inoculums as Operational Strategies for the Enhancement of Anaerobic Digestion of Organic Fraction of Municipal Solid Waste. *Agronomy*, v. 12, n. 11, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy12112675>. Acesso em: 03 jan. 2026.

MAGNI, S. et al. Advancing circular economy principles through wild black soldier flies (*Hermetia illucens*) for organic waste reduction. *Waste Management*, 2023. Acesso em: 18 fev. 2026.

MALKI, M. et al. An Overview on Bioeconomy in Agricultural Sector, Biomass and Bioenergy Production. 2023. *Sustainability*, v. 15, n. 1, 142. Acesso: 11 fevereiro 2026.

MOFATTEH, S.; et al. Progressing environmental sustainability in hydroponic greenhouse systems: Embracing circular bioeconomy through compost and biochar pathways. *Journal of Cleaner Production*, [S. l.], v. 475, 143600, 2024. Acesso em: 22 fev. 2026.

MOYA, B. et al. Ex-ante demand assessment and willingness to pay for human excreta-derived fertilizers in Uganda. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. 6, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.842750>. Acesso em: 27 fev. 2026.

O'CALLAGHAN, K. Technologies for the utilisation of biogenic waste in the bioeconomy. *Food Chemistry*, [S. l.], v. 198, p. 2-11, 2016. Acesso em: 03 jan. 2026.

O'CONNOR, J.; et al. What on earth? The impact of digestates and composts from farm effluent and municipal waste on soil health. *Waste Management*, [S. l.], v. 121, p. 110-121, 2021. Acesso em: 08 jan. 2026.

OLDFIELD, T. L. et al. Environmental impacts of food waste management options: A review. *Sustainability*, v. 8, n. 12, p. 1210, 2016.

PAGLIARO, Mario. *The bioeconomy: opportunities and challenges*. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2020.

PARITOSH, K.; et al. Waste-derived volatile fatty acids as carbon source for microbial lipids production. *Bioresource Technology*, [S. l.], v. 249, p. 770-778, 2018. Acesso em: 25 fev. 2026.

POLONIO, D.; VILLANUEVA, A. J.; GÓMEZ-LIMÓN, J. A. Rentabilidad del compostaje del alperujo como uma alternativa bioeconómica. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria*, [S. l.], v. 120, n. 2, p. 179-199, 2024. Acesso em: 11 jan. 2026.

RAZOUK, A.; et al. The future in the litter bin – bioconversion of food waste as driver of a circular bioeconomy. *Frontiers in Nutrition*, [S. l.], v. 11, 1325190, 2024. Acesso em: 10 fev. 2026.

REHAN, M.; et al. Valorizing municipal organic waste to produce biodiesel, biogas, and biochar: A circular economy approach. *Journal of Cleaner Production*, [S. l.], v. 210, p. 135-146, 2019. Acesso em: 02 fev. 2026.

SAHOO, Arpan et al. A review on biological methodologies in municipal solid waste management and its role in circular economy. *Fuel*, 2023. Acesso em: 12 jan. 2026.

SHARMA, K.; GARG, V. K. Vermicomposting technology: A perspective on vermicompost production and its application in agriculture. *Journal of Cleaner Production*, [S. l.], v. 162, p. 134-142, 2017. Acesso em: 30 dez. 2025.

SHARMA, P. et al. Advanced technologies on the sustainable approaches for conversion of organic waste into value-added products: a review. *Environmental Technology & Innovation*, 2022. Acesso em: 26 fev. 2026.

SILVA, M. J.; COSTA, R. B. Heat recovery of compost reactors: field study. *Journal of Agricultural Science*, v. 15, n. 4, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5539/jas.v15n4p1>. Acesso em: 30 dez. 2025.

SILVA, Martim Francisco de Oliveira e; PEREIRA, Felipe dos Santos; MARTINS, José Vitor Bomtempo. A bioeconomia brasileira em números. Rio de Janeiro: BNDES, 2018. (BNDES Setorial, 47, p. 277-332). Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/>. Acesso em: 12 fev. 2026.

SOUZA, A. C. et al. Developing country imperatives in the circular bioeconomy: A systematic literature review. 2022. *Journal of Cleaner Production*, v. 379, 134674. Acesso: 02 fevereiro 2026.

SOUZA, Lorena Patrícia Maia de et al. Compostagem: uma proposta ambiental para diminuição do lixo doméstico. Em *Extensão*, Uberlândia, v. 19, n. 2, p. 87-100, jul./dez. 2020. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revextensao/> Acesso em: 05 jan. 2026.

SUBBAIYAN, N.; PERUMAL, M. Synergistic Valorisation of Fruit and Vegetable Waste for Bioenergy Production: A Review. *International Research Journal of*

Multidisciplinary Technovation, [S. l.], v. 6, n. 5, p. 61-79, 2024. Acesso em: 26 dez. 2025.

SURCHAT, M.; et al. Jobs in the circular bioeconomy under scrutiny: The challenging reality of compost production in Rwanda. World Development Sustainability, [S. l.], v. 3, 100094, 2023. Acesso em: 29 dez. 2025.

ULLOA-MURILLO, L. M.; et al. Management of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste in the Context of a Sustainable and Circular Model: Analysis of Trends in Latin America and the Caribbean. International Journal of Environmental Research and Public Health, [S. l.], v. 19, n. 10, 6041, 2022. Acesso em: 19 fev. 2026.

VIAENE, J.; et al. Opportunities and barriers to on-farm composting and compost application: A case study from northwestern Europe. Waste Management, v. 48, p. 181-192, 2016. Acesso em: 24 jan. 2026.

WASILEWSKI, R. et al. Conversion of Sewage Sludge and Other Biodegradable Waste into Carbon-Rich Materials. 2021. Energies, v. 14, n. 13, 3811. Acesso: 24 janeiro 2026.