

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA – CTEC
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

LEANDRO MONTEIRO DOS SANTOS

**COMPOSTAGEM DE LODO BIOLÓGICO E RESÍDUOS ORGÂNICOS: Uma
Análise Bibliométrica usando a base de dados *Scopus***

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Orientadora: Professora Doutora Daniele Vital Vich
Coorientadora: Professora Doutora Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira

Maceió – AL

2021

LEANDRO MONTEIRO DOS SANTOS

**COMPOSTAGEM DE LODO BIOLÓGICO E RESÍDUOS ORGÂNICOS: Uma
Análise Bibliométrica usando a base de dados *Scopus***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao colegiado do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Maceió – AL

2021

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário Responsável: Valter dos Santos Andrade – CRB-4 - 1251

S237c Santos, Leandro Monteiro dos.

Compostagem de lodo biológico e resíduos orgânicos: uma análise bibliométrica usando a base de dados Scopus / Leandro Monteiro dos Santos. – 2021.
50 f.

Orientadora: Daniele Vital Vich .

Coorientadora: Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira.

Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, 2021.

Bibliografia: f. 43-50.

1. Compostagem. 2. Resíduos orgânicos. 3. Lodo biológico. 4. Análise bibliométrica. I. Título.

CDU: 628.336

Folha de Aprovação

AUTOR: LEANDRO MONTEIRO DOS SANTOS

COMPOSTAGEM DE LODO BIOLÓGICO E RESÍDUOS ORGÂNICOS: Uma Análise Bibliométrica usando a base de dados *Scopus*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao colegiado do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Orientadora: Professora Doutora Daniele Vital Vich
Universidade Federal de Alagoas

Coorientadora: Professora Doutora Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira
Universidade Federal de Alagoas

Banca Examinadora:

Professora Doutora Karina Ribeiro Salomon
Universidade Federal de Alagoas

Mestra Amanda Lima Moraes Dos Santos
Universidade Federal do Ceará

*"A saúde do solo, planta, animal e o homem é
uma e indivisível"*

Sir Albert Howard

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à minha família, principalmente minha mãe Lenir, por todo o seu apoio em todos os momentos da minha caminhada e por acreditar no meu trabalho e nos meus sonhos.

Agradeço à minha orientadora, Profa. Dra. Daniele Vich. Trabalhar sob sua supervisão foi enriquecedor para minha vida acadêmica. Este trabalho não seria possível sem o seu comprometimento e suas experiências.

Agradeço à Profa. Dra. Ivete Vasconcelos, pelas considerações e contribuições ao meu trabalho.

Agradeço ao Prof. Dr. Carlos Eduardo de Farias Silva, por me introduzir no universo da pesquisa científica. Seus ensinamentos foram cruciais para minha formação acadêmica e profissional.

Agradeço à Margarete Cabral, técnica em química do LTBA/CETEC, por me instruir nos princípios das boas práticas de laboratório e me auxiliar na Iniciação Científica.

O desenvolvimento deste trabalho também foi acompanhado por vários amigos e colegas, os quais foram essenciais nos momentos de alegrias, de conquistas, mas também nas dificuldades. Passo agora a registrar os nomes de alguns deles.

Agradeço aos meus amigos de longa data, Iago Vilela e Júnior Porfírio, pela amizade e pelo apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.

Também sou muito grato aos meus colegas de curso: Flaviana Ferro, por sempre me apontar maneiras de me desenvolver na graduação; Mac Wendell, pelas longas horas de conversas durante o tempo em que convivemos; José Vitor Ribeiro, Marcus de Sá e Wallef Santos, fundamentais para os diversos trabalhos em grupo, para o compartilhamento das angústias e alegrias da graduação; Brenda Cabral, Flávia Fernanda, Johnatas Heber e Mariana Barbosa, pelos bons momentos de convívio e descontração.

RESUMO

SANTOS, L. M. dos. COMPOSTAGEM DE LODO BIOLÓGICO E RESÍDUOS ORGÂNICOS: Uma Análise Bibliométrica usando a base de dados *Scopus*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Alagoas. Maceió, AL, 2021.

Nas últimas décadas, o gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos tornou-se uma preocupação significativa para o meio ambiente e a saúde pública, pois a disposição desses resíduos em aterros sanitários, além de diminuir sua vida útil, acaba por gerar uma grande quantidade de gases do efeito estufa. Outro problema ambiental que tem gerado discussões é o impacto da geração de lodo de esgoto proveniente do tratamento de efluentes. O lodo de esgoto sanitário tem sido usado na agricultura como fonte de nitrogênio (N), fósforo (P) e matéria orgânica para o solo. Contudo, a presença de metais pesados, poluentes orgânicos persistentes e patógenos são fatores que podem afetar a microbiota do solo e, conseqüentemente, dificultar as transformações mediadas por microrganismos nos ciclos biogeoquímicos. Por isso, este estudo teve como objetivo realizar uma análise bibliométrica e uma revisão sistemática da literatura sobre as tendências globais das linhas de pesquisas que unem a compostagem e o manejo do lodo de esgoto. Utilizando a base de dados da *Scopus*, foram selecionados 236 artigos publicados durante o período de 1972 até abril de 2021. O volume de publicações anuais para este assunto demonstrou uma tendência de crescimento, principalmente a partir do ano de 2014, indicando que o interesse pelo tema continua a crescer. Por fim, a análise bibliométrica revelou as principais tendências de pesquisa e ofereceu potenciais indicativos para um exame mais aprofundado dos tópicos relacionados ao tema.

Palavras-chave: Compostagem; resíduos orgânicos; lodo biológico; análise bibliométrica.

RESUMO

SANTOS, L. M. dos. COMPOSTING OF BIOLOGICAL SLUDGE AND ORGANIC WASTE: A Bibliometric Analysis using the Scopus database. Undergraduate thesis (Degree in Environmental and Sanitary Engineering) – Universidade Federal de Alagoas. Maceió, AL, 2021.

In recent decades, the management of organic solid waste has become a significant concern for the environment and public health, as the disposal of this waste in landfills, in addition to reducing its useful life ends up generating greenhouse gases. Another environmental problem that has expanded discussions is the impact of the generation of sewage sludge from the treatment of effluents. Agriculture has used Sewage sludge as a source of nitrogen (N), phosphorus (P), and organic matter for the soil. However, some factors such as heavy metals, persistent organic pollutants, and pathogens can affect soil microbiota. Consequently, hinder the transformations mediated by microorganisms in biogeochemical cycles. Therefore, this study aimed to carry out a bibliometric analysis and a systematic literature review on global trends in the lines of research that unite composting and sewage sludge management. Using the Scopus database were selected 236 scientific articles, published between 1972 and April 2021. The volume of annual publications on this subject showed a growing trend, especially from the 2014 years, indicating that the interest in the theme continues to grow. Finally, the bibliometric analysis revealed the main research trends and offered potential indicators for a deeper examination of topics related to the topic.

Palavras-chave: Composting; organic waste; sludge; bibliometric analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de compostagem.....	14
Figura 2 – Perfil de temperatura durante a compostagem.....	16
Figura 3 – Representação de um floco de lodo	21
Figura 4 – Fluxograma com o resumo da metodologia adotada.....	25
Figura 5 – Acumulado do número de publicações por ano	28
Figura 6 – Principais grupos de coautoria	30
Figura 7 – Todos os países com contribuições	31
Figura 8 – Rede de palavras-chave autorais	34
Figura 9 – Rede de palavras-chave indexadas.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Teor de umidade de alguns resíduos orgânicos	16
Tabela 2 – Classificação dos microrganismos de acordo com sua temperatura de tolerância .	18
Tabela 3 – Características do composto	19
Tabela 4 – Co-compostagem com resíduos verdes	22
Tabela 5 – Resultados das buscas iniciais	26
Tabela 6 – Classificação dos periódicos que mais contribuem no tema deste estudo.....	29
Tabela 7 – Os 10 autores que mais publicaram e o número de artigos	29
Tabela 8 – Os 10 países que mais contribuíram e o número de artigos.	31
Tabela 9 – Contribuição das organizações baseado na região geográfica.....	32
Tabela 10 – As 10 organizações que mais contribuíram e o número de artigos	33
Tabela 11 – Principais palavras-chave autorais.....	33
Tabela 12 – Principais palavras-chave indexadas	34
Tabela 13 – Os 10 artigos mais citados	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- C/N – Relação Carbono/Nitrogênio
- CAFe – Comunidade Acadêmica Federada
- CNRS – *Centre National de la Recherche Scientifique*
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
- CSV – *Comma-separated values*
- DESA – *Department of Economic and Social Affairs*
- DQO – Demanda química de oxigênio
- FAO – *Food and Agriculture Organization*
- NBR – Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ONU – Organização das Nações Unidas
- pH – Potencial Hidrogeniônico
- PNRS – Plano Nacional dos Resíduos Sólidos
- RS – Resíduos sólidos
- RSU – Resíduos Sólidos Urbanos
- SDA – Secretaria de Defesa Agropecuária
- UMR – *Unité mixte de recherche*
- UNEP – *United Nations Environment Programme*

LISTA DE SÍMBOLOS

As – Arsênio

Cd – Cádmio

CO₂ – Dióxido de Carbono

Cr – Crômio

Cu – Cobre

K – Potássio

Mg – Magnésio

N – Nitrogênio

NH₃ – Amônia

Ni – Níquel

O₂ – Oxigênio molecular

P – Fósforo

Pb – Chumbo

Se – Selênio

Zn – Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	Objetivo Geral.....	13
2.2	Objetivos Específicos	13
3	REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1	Compostagem	14
3.2	Benefícios da compostagem	14
3.3	Principais Fatores que Influenciam na Compostagem.....	15
3.3.1	Temperatura.....	15
3.3.2	Umidade	16
3.3.3	Aeração.....	17
3.3.4	Potencial Hidrogeniônico (pH).....	17
3.3.5	Matéria Orgânica e Relação C/N.....	17
3.3.6	Granulometria.....	18
3.3.7	Microrganismos	18
3.4	Características do composto	18
3.5	Lodo de esgoto.....	19
3.5.1	Caracterização do lodo	20
3.6	Resíduos de perdas e desperdícios de alimentos	21
3.7	Resíduos verdes	22
3.8	Legislação brasileira acerca da compostagem	23
3.9	Análise bibliométrica.....	24
4	MATERIAL E MÉTODO	25
4.1	Obtenção dos dados	25
4.2	Refinamento dos resultados de busca	26
4.3	Obtenção das informações	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	28

5.1	Resultados da análise bibliométrica.....	28
5.1.1	Estatística dos dados iniciais	28
5.1.2	Principais autores.....	29
5.1.3	Afiliação	30
5.1.4	Palavras-chave	33
5.1.5	Análise das citações.....	35
5.2	Eixos temáticos de pesquisas	36
5.2.1	Primeiros anos	36
5.2.2	Década de 2000	36
5.2.3	Década de 2010	39
5.2.4	Primeiros anos de 2020	41
5.3	Perspectivas para futuros trabalhos.....	41
6	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

No primeiro semestre de 2019, a população mundial atingiu 7,7 bilhões de habitantes. A expectativa é que, até o final de 2050, a população do mundo alcance a marca de 9,7 bilhões de pessoas (ONU, 2019). O crescimento populacional e de renda no mundo aumentam a demanda por alimentos, enquanto o crescimento da produção agrícola está cada vez limitado pela escassez dos recursos hídricos e pela piora na qualidade das terras, além da falta de investimento em tecnologias sustentáveis (FAO, 2018). Apesar disso, espera-se que com o aumento da demanda por alimentos ocorra um aumento na geração de resíduos orgânicos em escala global, como consequência do consumo e do desperdício. Quando não manejados de forma correta, esses resíduos acabam por impactar a qualidade do ar, da água e do solo (LIN et al., 2018).

Um estudo do Banco Mundial sobre o manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) apontou que a renda está diretamente relacionada com a composição dos resíduos gerados. Os bens consumidos em países mais ricos, maiores geradores, incluem mais materiais como papel e plástico. O percentual de resíduos de materiais em borracha e madeira também aumenta com a elevação da renda. Além disso, observou-se que o percentual de matéria orgânica diminui de acordo com o aumento da renda, sendo a matéria orgânica o principal constituinte dos Resíduos Sólidos (RS) gerados nos países mais pobres (aproximadamente 56% do total gerado) (KAZA et al., 2018).

Associado à geração de resíduos orgânicos, constatou-se um desperdício significativo de alimentos no âmbito mundial, o que desafia a segurança alimentar, econômica e de sustentabilidade ambiental. Em escala global, cerca de 33,0% dos RS gerados são dispostos em lixões a céu aberto, enquanto apenas 7,7% são destinados a aterros sanitários (aterros com coleta de gás). Embora os resíduos orgânicos reflitam a maior parte da composição gravimétrica dos RSU gerados, a compostagem representa apenas 5,5% do tratamento e disposição final desses resíduos no mundo (KAZA et al., 2018). No Brasil, a matéria orgânica representa a maior parte (51,4%) da composição gravimétrica de resíduos sólidos urbanos coletados; os materiais recicláveis representam 31,9% da composição e os demais resíduos representam 16,7%. Os dados que constituem essa estimativa foram coletados em 2008, sendo base para discussão da consulta pública do Plano Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) nas cinco macrorregiões do país (BARROS, 2012).

As águas residuárias municipais e industriais possuem uma alta carga de matéria orgânica e nutrientes, e geralmente essa carga é degradada ou removida por diferentes tratamentos

biológicos. Um dos principais processos de tratamento aeróbio é o de lodos ativados. Contudo, existem tecnologias alternativas, como os sistemas com biofilme e os sistemas anaeróbios com grânulos biológicos, dentre outros. Uma das etapas do processo de tratamento de águas residuárias é a separação líquido-sólido, onde a água tratada é separada do lodo. Em muitos casos, o lodo gerado é transportado para campos agrícolas ou para secagem e incineração (CHRISTENSEN et al., 2015). Contudo, quando o lodo não passa por um tratamento adequado, microrganismos patogênicos, metais pesados e poluentes orgânicos persistentes presentes em sua composição podem causar impactos ambientais e à saúde humana. As principais fontes de poluição orgânica no solo, decorrentes do reaproveitamento do lodo, são os poluentes orgânicos, como produtos farmacêuticos, de cuidado pessoal, hormônios e esteroides. O cenário piora quando essas substâncias são parcialmente degradadas por microrganismos e produzem novos intermediários potencialmente mais tóxicos (ZHONG et al., 2021).

Uma das alternativas para o gerenciamento de resíduos orgânicos e a reciclagem de nutrientes é a compostagem (LIN et al., 2018). Na compostagem, os resíduos orgânicos são convertidos em um substrato rico em nutrientes por meio de decomposição biológica em condições aeróbias. O composto gerado pode ser utilizado no beneficiamento de solos, contribuindo para o crescimento de plantas (ONWOSI et al., 2017).

Sendo assim, este trabalho buscou realizar uma análise bibliométrica e uma revisão ampla dos artigos resultantes da busca das palavras-chave “*Composting*”, “*Sludge*”, “*Food Waste*”, “*Green Waste*” e “*Garden Waste*” na base de dados *Scopus*. Tentou-se identificar as principais linhas de estudo e as atuais tendências de pesquisa.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar uma análise bibliométrica e verificar a evolução das pesquisas sobre compostagem de lodo biológico e resíduos orgânicos.

2.2 Objetivos Específicos

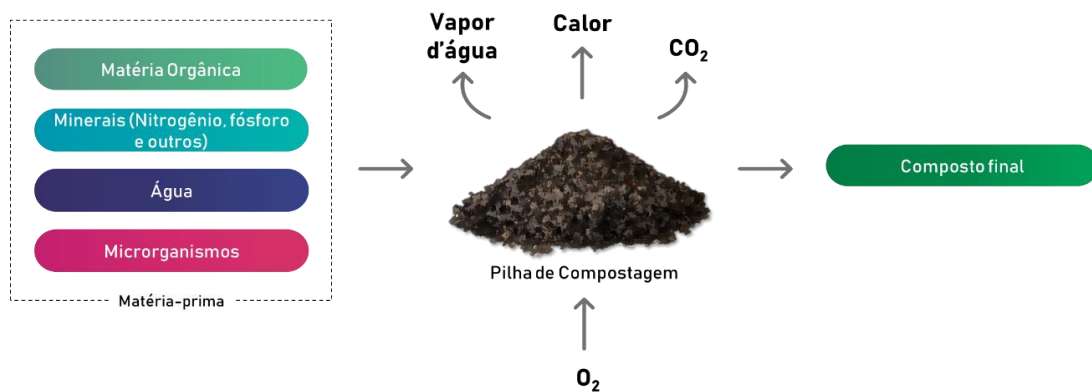
- Identificar os principais eixos temáticos de pesquisa e as tendências de estudos ao longo dos anos;
- Identificar as lacunas de pesquisa para trabalhos futuros.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Compostagem

A compostagem é o método de recuperação de resíduos orgânicos mais utilizado no mundo. O processo visa estabilizar a matéria orgânica, transformando-a em um composto com propriedades de melhorar solos degradados (CESARO et al., 2019). A compostagem consiste em um processo de biodegradação de resíduos orgânicos por uma comunidade de microrganismos em condições aeróbias. Os microrganismos consomem o oxigênio (O_2) enquanto degradam a matéria orgânica, gerando dióxido de carbono (CO_2) e amônia (NH_3) (WAINAINAB et al., 2020). A bio-oxidação dos substratos orgânicos ocorre em um processo exotérmico, no qual ocorre a liberação de energia em forma de calor, resultando no aumento da temperatura da massa orgânica em degradação e, conseqüentemente, no lançamento de vapor d'água na atmosfera (Figura 1). Durante o processo, ocorre a liberação de fitotoxinas e metabólitos produzidos pelos microrganismos. Contudo, toda a fitotoxicidade é superada ao final da compostagem (INSAM e BERTOLDI, 2007). A compostagem pode ser uma opção de tratamento para reduzir os efeitos negativos da disposição dos resíduos orgânicos no solo, pois o produto final é um substrato higienizado e rico em nutrientes com potencial de ser utilizado como fertilizante e condicionador de solo (ONWOSI et al., 2017).

Figura 1 – Processo de compostagem



Fonte: Autor, 2020.

3.2 Benefícios da compostagem

A compostagem é uma tecnologia de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos de baixo impacto ambiental. Em escala industrial, a compostagem já foi amplamente estudada e existem diversas plantas de tratamento em operação no mundo. Em escala doméstica, a dispensa da coleta e transporte de resíduos orgânicos torna-se um dos potenciais benefícios da compostagem (BARRENA et al., 2014). Segundo Barrena et al. (2014), quando realizada adequadamente, a

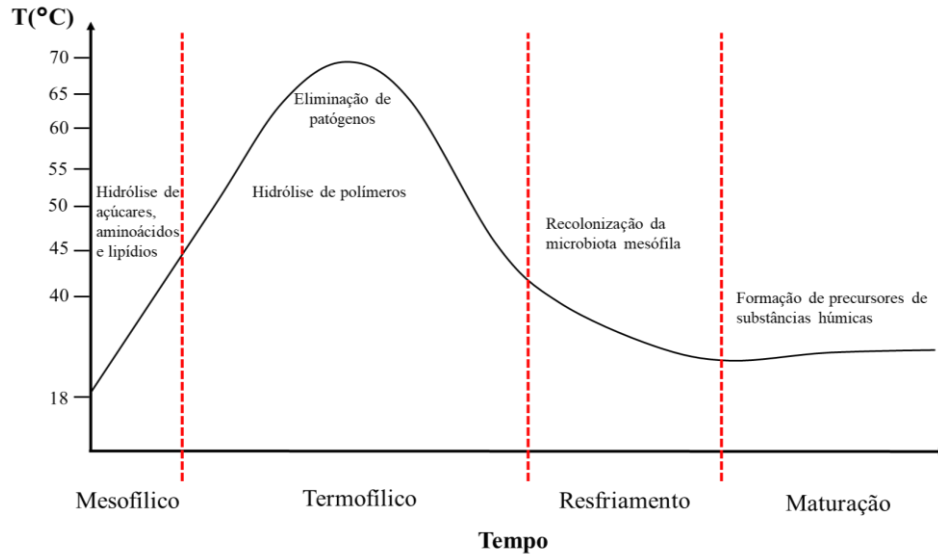
compostagem doméstica pode gerar compostos bem estáveis. O composto gerado pode ser utilizado como condicionador de solo, substituindo o uso de fertilizantes, além reduzir a quantidade de resíduos orgânicos destinados a aterros sanitários (MU et al., 2017). Na pecuária, a grande produção de efluentes de alto impacto ambiental constitui um problema sensível para os agricultores. Nesse contexto, a compostagem pode ser uma alternativa de menores requisitos energéticos e de custo para o gerenciamento de esterco (PERGOLA et al., 2018). Além dos benefícios citados, a compostagem demonstrou-se eficiente na remoção de antibióticos encontrados em esterco de animais que foram medicados. A presença desses antibióticos e o gerenciamento inadequado desses resíduos podem resultar em grandes impactos ambientais (SELVAM et al., 2012). No que diz respeito a microrganismos patogênicos, Pandey et al. (2016) relataram que houve redução na concentração dos mesmos durante a compostagem de restos de alimentos e resíduos verdes (também conhecido como resíduos de jardins).

3.3 Principais Fatores que Influenciam na Compostagem

Diversos fatores influenciam na eficiência de decomposição aeróbia de resíduos orgânicos. Os principais são a temperatura, o pH, a aeração, a umidade e o tipo de substrato que será degradado, incluindo a relação entre fonte de carbono e nitrogênio (ONWOSI et al., 2017).

3.3.1 Temperatura

Um dos principais parâmetros a ser analisado durante o processo de compostagem é a temperatura, a qual pode afetar diretamente a atividade microbiana e, conseqüentemente, a eficiência da compostagem (ZHAO et al., 2016). Inicialmente, a abundância de carbono dos resíduos orgânicos serve como fonte de alimentos para os microrganismos, o que leva a um rápido crescimento dessas populações. Esse crescimento e aumento do metabolismo microbiano acabam por elevar a temperatura durante o processo de compostagem. A temperatura atingirá um patamar máximo e posteriormente haverá uma redução progressiva. A energia liberada em forma de calor é consequência do processo de oxidação microbiana dos compostos orgânicos (PARADELO et al., 2013). A temperatura varia de 23°C a 70°C, e indica o equilíbrio da microbiota durante a compostagem (BARROS, 2012). O processo de compostagem, em relação à temperatura, é dividido em quatro fases: mesofílica, termofílica, resfriamento e maturação (Figura 2) (CHEN et al., 2015). Temperaturas acima de 55°C favorecem a eliminação de microrganismos patogênicos e garantem melhores condições sanitárias do composto final. Além disso, sementes, ervas daninhas e patógenos serão eliminados quando a fase termofílica durar mais que três dias (ONWOSI et al., 2017).

Figura 2 – Perfil de temperatura durante a compostagem

Fonte: (SÁNCHEZ *et al.*, 2017) Adaptado pelo autor.

3.3.2 Umidade

O teor de umidade ideal para a compostagem dependerá do tipo de resíduo orgânico (Tabela 1), podendo variar de 50 a 60% do peso de composto (GUO *et al.*, 2020). O teor de umidade irá influenciar na qualidade do composto, na geração de chorume e na demanda por secagem (BARROS, 2012). O elevado teor de umidade limita a transferência e a difusão de oxigênio, logo, a demanda metabólica dos microrganismos por oxigênio não é atendida (ZANG *et al.*, 2016). Contudo, o teor de umidade é indispensável para o transporte de nutrientes dissolvidos, além de ser importante para as atividades fisiológicas e metabólicas dos microrganismos que fazem parte do processo de compostagem (GUO *et al.*, 2012). Portanto, um baixo teor de umidade acarretará uma menor atividade microbiana (BIAN *et al.*, 2019).

Tabela 1 – Teor de umidade de alguns resíduos orgânicos

Matéria-prima	Teor de umidade (%)	Referência
Esterco de galinha	65,5	(BIAN <i>et al.</i> , 2019)
Folhas de vegetais	87,2	
Esterco de porco	61,8 ± 0,04	(CHEN <i>et al.</i> , 2019)
Espiga de milho	7,6 ± 0,01	
Serragem	7,2 ± 0,03	(ZHOU <i>et al.</i> , 2014)
Restos de comida	59,0 ± 0,02	
Lodo de depuração	83,9 ± 0,0	(ALVARENGA <i>et al.</i> , 2015)
Restos de vegetais	82,2 ± 0,27	(AWASTHI <i>et al.</i> , 2014)
Resíduos de jardim	12,3 ± 0,36	

Fonte: Autor, 2020.

3.3.3 Aeração

A aeração é um fator muito importante para a compostagem, pelo fato de ser um processo aeróbio, onde o O_2 é consumido pelos microrganismos e são produzidos água e CO_2 (AWASTHI et al., 2014). A aeração é importante para a manutenção da atividade microbiana e, além disso, relaciona-se com a qualidade do composto, sendo um dos principais fatores que influenciam na sua estabilidade. Quando há pouca aeração, o processo aeróbio poderá se converter em anaeróbio. Em condição oposta, quando ocorre aeração excessiva, há possibilidade de ocorrer resfriamento do composto, o que conseqüentemente impedirá a ocorrência de condições necessárias para a degradação da matéria orgânica (ONWOSI et al., 2017). Para garantir a aeração adequada, é necessário um mecanismo de aeração, que poderá ser o revolvimento manual ou a instalação de dispositivos de ventilação e túneis que permitam a circulação de ar (BARROS, 2012).

3.3.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH é um fator importante durante a compostagem, pois pode interferir diretamente na atividade microbiana e influenciar nas emissões gasosas. Sua faixa ideal para o processo de compostagem está no intervalo de 5,5 a 8 (CHEN et al., 2015). Valores muito baixos de pH podem inibir a atividade de microrganismos. Já valores elevados poderão alcalinizar a matéria orgânica em compostagem, resultando no acúmulo de amônia, o que conseqüentemente poderá dificultar a sobrevivência de alguns microrganismos. Diante disso, o pH pode ser um bom indicador da atividade dos microrganismos durante a compostagem (ONWOSI et al., 2017).

3.3.5 Matéria Orgânica e Relação C/N

A relação carbono/nitrogênio (C/N) é importante para indicar a maturidade do composto, devido à variação das características químicas do resíduo que está sendo compostado (AWASTHI et al., 2014). Awasthi et al. (2014) relataram que uma relação C/N menor ou igual a 25 é o ideal para o composto maturado. Relação C/N muito baixa poderá causar a volatilização do nitrogênio, ou seja, perda de nitrogênio na forma de gás de amônia, resultando em um odor indesejável e um composto de baixa qualidade. Em contrapartida, uma relação C/N elevada significa que não há nitrogênio suficiente para o desenvolvimento de microrganismos, fazendo o composto permanecer mais frio e, dessa forma, a decomposição ocorrer de forma mais lenta (ONWOSI et al., 2017). Segundo Barros (2012), o equilíbrio da relação C/N é de 30:1 a 40:1 no início do processo e 10:1 no final da compostagem.

3.3.6 Granulometria

A granulometria dos resíduos orgânicos é importante para manutenção da porosidade necessária para as trocas gasosas e hídricas, além de oferecer a capacidade necessária de retenção de água. As partículas dos substratos não poderão ser muito grandes, pois nesses casos haverá uma degradação muito lenta. Do contrário, partículas muito pequenas também não são boas, pois a massa orgânica poderá se compactar e reduzir a porosidade, favorecendo a anaerobiose (ONWOSI et al., 2017). O tamanho ideal das partículas de substrato situa-se na faixa de 20 a 50 mm. A trituração e o peneiramento são bons mecanismos para garantir a homogeneidade dos resíduos a serem compostados (BARROS, 2012).

3.3.7 Microrganismos

Em muitos estudos foram relatados diversos microrganismos que podem fazer parte do processo de compostagem, entre eles: bactérias, actinomicetos, leveduras e vários outros fungos. Uma compostagem bem-sucedida depende de vários fatores que podem influenciar direta ou indiretamente a atividade microbiana (CERDA et al., 2018). Segundo Karadag et al. (2013), a fase termofílica apresenta maior diversidade de microrganismos do que a fase mesofílica. Além disso, a diversidade microbiana aumenta com a temperatura e, ao chegar à temperatura máxima, ocorre uma diminuição da biodiversidade. Na

Tabela 2 estão indicados os intervalos de temperatura para cada grupo de microrganismos.

Tabela 2 – Classificação dos microrganismos de acordo com sua temperatura de tolerância

Microrganismos	Intervalo de temperatura
Psicrófilos	0 – 25°C
Mesófilos	25 – 45°C
Termófilos	> 45°C

Fonte: (EPSTEIN, 1997). Adaptado pelo autor.

3.4 Características do composto

A qualidade do composto depende da qualidade dos resíduos orgânicos de entrada e da operação do processo. Portanto, o monitoramento de parâmetros convencionais tais como temperatura e umidade, deve ser implementado durante o processo de compostagem para definirem níveis de alertas para avaliar a estabilidade e maturidade do composto com mais eficiência (Tabela 3) (CESARO et al., 2019). O composto final é comumente utilizado como fertilizante para o crescimento de plantas e remediação de ambientes degradados. Um dos

principais indicadores para analisar a fitotoxicidade do composto é o teste de germinação de sementes (LUO et al., 2018).

A aplicação do composto em terras agrícolas como fertilizante sem o controle higiênico é uma rota potencial pelo qual microrganismos patogênicos como *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.* e *Escherichia coli* poderão entrar e persistirem na cadeia alimentar (BROCHIER et al., 2012). Um processo de compostagem eficiente é capaz de eliminar microrganismos patogênicos devido às altas temperaturas alcançadas ou devido ao tempo de duração do processo. Contudo, alguns esporos como da bactéria gram-positiva *Clostridium difficile*, podem ser altamente resistentes às temperaturas elevadas e às condições adversas (USUI et al., 2017).

Tabela 3 – Características do composto

Características	Faixa de Variação
Granulometria	0,1 – 0,2 mm
Temperatura (exposto ao ar)	de 3 a 5°C acima da temperatura ambiente
Umidade	< 35%
Densidade	150 – 350 kg/m ³
Odor	de terra mofada, bastante tolerável
pH	7,6 – 8,0
Coloração	Cinza escuro/negra

Fonte: (BARROS, 2012).

3.5 Lodo de esgoto

A resolução nº 498 do CONAMA define lodo de esgoto como:

“Resíduo sólido gerado no processo de tratamento de esgoto sanitário, por processos de decantação primária, biológico ou químico, não incluindo resíduos sólidos removidos de desarenadores, de gradeamento e peneiramento.” (CONAMA, 2020).

A parte da demanda química de oxigênio (DQO) removida por microrganismos no processo de tratamento de efluentes é convertida em bio-sólidos. O lodo de esgoto geralmente representa de 1 a 2% do volume de água residuária tratada (GUANGYIN e YOUCAI, 2017).

Um dos principais desafios na gestão do esgoto urbano é o manejo do lodo produzido no tratamento das águas residuárias. Dessa forma, o tratamento do lodo gerado tornou-se uma preocupação mundial, pois o tratamento inadequado pode causar sérios problemas ambientais e à saúde pública. Portanto, estudos recentes têm desenvolvido novas tecnologias para o tratamento de lodo de esgoto urbano (REN et al., 2017). Além do esgoto urbano, o lodo pode ser produzido a partir do tratamento de efluentes de várias indústrias, tais como de papel e

celulose, produtos químicos, energia, cimento, curtume, processamento de alimentos, refinaria de petróleo entre outras (LEE et al., 2018).

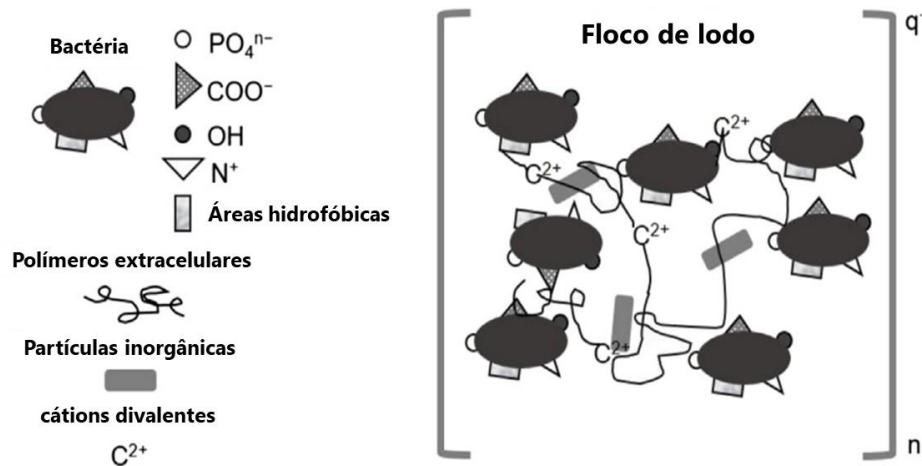
Uma das alternativas considerada econômica e ecológica para o gerenciamento do lodo proveniente do tratamento de águas residuárias é a compostagem. Também, a compostagem reduz a pressão associada à disposição do lodo em aterros sanitários. Apesar de existirem diferentes utilizações para o composto produzido a partir da compostagem, o uso no solo é o mais difundido na maioria dos países, pois os nutrientes presentes tornam-se fonte de alimento para as plantas (ABBASI et al., 2019). Um dos problemas que limita a potencialidade de reutilização do lodo é o acúmulo de metais pesados e outras substâncias tóxicas persistentes, provenientes principalmente das descargas industriais (MATEO-SAGASTA et al., 2015). As elevadas concentrações de coliformes e a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas por nitrogênio e fósforo também são problemas a serem pontuados (ABBASI et al., 2019).

3.5.1 Caracterização do lodo

As características físicas, químicas e biológicas do lodo de esgoto dependem muito da qualidade do efluente tratado e do tipo de sistema de tratamento utilizado. O lodo proveniente do tratamento de águas residuárias municipais é rico em matéria orgânica, fósforo, nitrogênio, metais pesados, microrganismos e resíduos farmacêuticos (CARNEIRO et al., 2020). Os poluentes orgânicos persistente, bem como os metais pesados (principalmente As, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Se e Zn) presentes no lodo de esgoto são um grande risco para os humanos e o meio ambiente (PRASPALIAUSKAS et al., 2020).

O lodo é formado por flocos em um meio multifásico, é constituído por uma gama de componentes, dentre eles, agregados microbianos, diversas cepas de bactérias filamentosas, partículas orgânicas e inorgânicas, substâncias poliméricas extracelulares e uma grande quantidade de água (Figura 3) (GUANGYIN e YOUCAI, 2017).

Figura 3 – Representação de um floco de lodo



Fonte: (GUANGYIN e YOUCAI, 2017). Adaptado pelo autor.

3.6 Resíduos de perdas e desperdícios de alimentos

Os resíduos de perdas e desperdícios de alimentos tornou-se um problema mundial nos últimos anos, e ocorre em toda a cadeia alimentar, desde a produção até o consumo. Esses resíduos são uma barreira para a sustentabilidade global, devido seus impactos na segurança alimentar, no uso de recursos naturais (terra, água e energia), nas emissões de gases do efeito estufa e na saúde humana (XUE et al., 2017).

A perda de alimentos consiste na redução quantitativa ou qualitativa dos alimentos resultante das decisões e ações dos fornecedores de alimentos, enquanto o desperdício de alimentos é resultado das decisões e ações dos consumidores, serviços de alimentação e dos varejistas (FAO, 2019). Kummu et al. (2012) definem perdas de alimentos como aquelas perdas provenientes do processo de produção, pós-colheita e processamento de produtos, enquanto os desperdícios de alimentos são caracterizados pelas perdas durante a distribuição e o consumo. Estima-se que cerca de 13,8% dos alimentos produzidos em todo o mundo no ano de 2016 foram perdidos, desde a fazenda até o estágio de varejo (FAO, 2019). De acordo com estimativa do UNEP (*United Nations Environment Programme*), cerca de 931 milhões de toneladas de alimentos foram desperdiçadas em todo o mundo no ano de 2019, sendo 61% do desperdício proveniente do consumo familiar, 26% dos serviços de alimentação e 13% do varejo (UNEP, 2021).

Existem diversas alternativas de manejo de resíduos alimentares, tais como: a prevenção da geração de resíduos, aterros, digestão anaeróbia, incineração e a compostagem (KIBLER et al., 2018).

3.7 Resíduos verdes

A geração de resíduos verdes urbanos tem aumentado nas duas últimas décadas, em decorrência do aumento no das áreas verdes urbanas em todo o mundo, tais espaços são considerados ecossistemas locais e contribuem para a elevação da qualidade de vida nos centros urbanos (VIRETTO et al., 2021).

Ainda não existe na literatura uma definição hegemônica de resíduos verdes. Geralmente, os resíduos verdes incluem os resíduos biodegradáveis de jardins e de parques públicos. Esses resíduos são gerados na manutenção de jardins privados ou de parques públicos e podem consistir em materiais orgânicos como cortes de grama, estacas de cercas, podas, folhas e madeiras (LANGSDORF et al., 2021). Portanto, os resíduos verdes podem ser considerados uma biomassa lignocelulósica cuja composição varia de acordo com a estação, localização e estratégias de gestão de resíduos (VIRETTO et al., 2021).

Resíduos verdes podem ser usados como matéria-prima para compostagem ou produção de energias renováveis (INGHELS et al., 2019). A compostagem é uma alternativa eficaz no gerenciamento desses resíduos, pois reduz seu volume e gera um produto rico em nutrientes que pode ser utilizado para os solos e plantas (OVIDO-OCAÑA et al., 2021). Diversos produtos têm sido utilizados na co-compostagem de resíduos verdes (Tabela 4).

Tabela 4 – Co-compostagem com resíduos verdes

Produtos	Referências
Biossólidos	(TANDY et al., 2009)
Fezes e urina (<i>Night Soil</i>)	(SUN et al., 2013)
Lodo de esgoto	(EL HAYANY et al., 2021)
	(DASTPAK et al., 2020)
	(RAMDANI et al., 2015) (ZHANG et al., 2011)
Esterco de porco	(ARIAS et al., 2021)
	(SCRINZI et al., 2021)
Resíduos alimentares	(EL HOUDA et al., 2020)
	(MORTULA et al., 2020)
Rocha fosfática (enxofre)	(BUSTAMANTE et al., 2016)

Fonte: Autor, 2021.

3.8 Legislação brasileira acerca da compostagem

No Brasil, as definições a respeito da compostagem encontram-se na NBR 13.591 de 1996 da ABNT. O objetivo dessa norma é definir os termos empregados em relação à compostagem de resíduos sólidos domiciliares. A seguir a definição de compostagem:

“Processo de decomposição biológica da fração orgânica biodegradável dos resíduos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições controladas de aerobiose e demais parâmetros, desenvolvido em duas etapas distintas: uma de degradação ativa e outra de maturação.” (ABNT, 1996).

A Resolução nº 481, de 3 de outubro de 2017, do Conselho Nacional do Meio Ambiente, estabeleceu os critérios e procedimentos necessários para garantir a qualidade ambiental do processo de compostagem e de resíduos orgânicos. A definição de compostagem de acordo com essa resolução é:

“Processo de decomposição biológica controlada dos resíduos orgânicos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições aeróbias e termofílicas, resultando em material estabilizado, com propriedades e características completamente diferentes daqueles que lhe deram origem.” (CONAMA, 2017).

Em seu artigo 3º, a resolução nº 481 do CONAMA, estabelece que no processo de compostagem, poderão ser utilizados resíduos orgânicos *in natura* ou que passaram por algum tratamento prévio. Além disso, permite a adição de lodos de estação de tratamento de esgoto sanitário, desde que não sejam de estabelecimentos de serviços de saúde, portos e aeroportos, ou quando classificados como resíduos perigosos. Vale ressaltar que essa resolução não se aplica a processos de compostagem de baixo impacto ambiental, desde que o composto seja para uso próprio ou quando comercializado diretamente com o consumidor final (CONAMA, 2017).

A resolução nº 498, de 19 de agosto de 2020 do CONAMA, definiu novos critérios e procedimentos para a aplicação de biossólidos em solos. Biossólidos consistem no produto proveniente do tratamento do lodo de esgoto que atende aos critérios microbiológicos e químicos estabelecido por esta resolução. Logo, a resolução estabelece a compostagem como uma etapa das alternativas de processos para obtenção de biossólidos (CONAMA, 2020).

A Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020 permitiu a utilização de lodo biológico e resíduos orgânicos como matéria-prima para a produção de fertilizante orgânico Classe "A". De acordo com o inciso I do artigo 3º, são considerados fertilizantes classe "A":

“Produto que utiliza, em sua produção, matéria-prima gerada nas atividades extrativas, agropecuárias, industriais, agroindustriais e comerciais, incluindo aquelas de origem mineral, vegetal, animal, lodos industriais e agroindustriais de sistema de tratamento de águas residuárias com uso autorizado pelo Órgão Ambiental, resíduos

de frutas, legumes, verduras e restos de alimentos gerados em pré e pós-consumo, segregados na fonte geradora e recolhidos por coleta diferenciada, todos isentos de despejos ou contaminantes sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura. (SDA, 2020)”

3.9 Análise bibliométrica

A revisão de leitura desenvolve um papel fundamental no agrupamento do conhecimento existente e na análise de um determinado campo de estudo. Muitos autores costumam coletar informações em periódicos considerados de “alta qualidade”, sem que considerem uma visão ampla das evidências. Logo, uma revisão de literatura que oferece uma seleção de estudos arbitrários pode não ser representativa, o que nos leva a uma análise estatística com viés de seleção amostral, onde a escolha aleatória de dados amostrais é posta em análise posteriormente. Como resultado, essas revisões muitas vezes não oferecem alicerce teórico representativo para o desenvolvimento de uma tese ou prova (LINNENLUECKE et al., 2020).

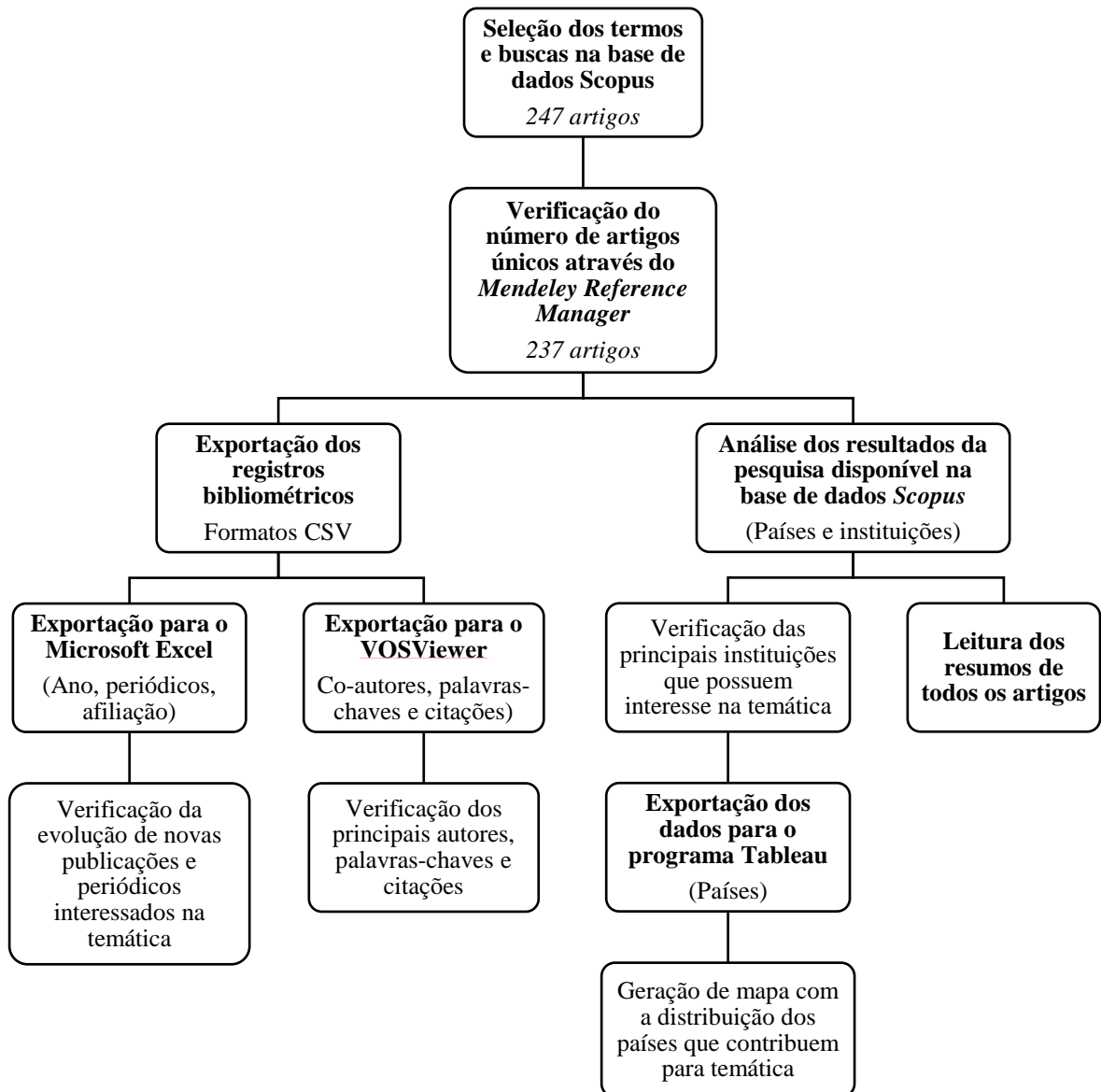
A análise bibliométrica é uma ferramenta interessante para a orientação de acadêmicos em direção às linhas de estudos mais influentes. Com o desenvolvimento da Ciências da Computação e da Internet nos últimos anos, a análise bibliométrica tornou-se cada vez mais popular entre pesquisadores, portanto, a bibliometria permitiu uma análise ampla de diversos estudos em diversos campos científicos (GAVIRIA-MARIN et al., 2020). Através de uma análise em rede a partir de ferramentas bibliométricas, é possível identificar grupos de pesquisas e pesquisadores, evidenciar como diversas linhas de estudo podem ter surgido com base em autores e instituições e, dessa forma, é possível identificar campos de estudos emergentes conforme os tópicos mais recentes elaborados por esses pesquisadores (FAHIMNIA et al., 2015). Antes de construir uma revisão sistemática, é fundamental esclarecer o tópico ou problema sob estudo, dessa forma, uma boa revisão sistemática se concentrará nas evidências publicadas em um tópico ou pergunta. Inicialmente é necessário desenvolver um escopo do estudo, assim poderá ser identificado de forma preliminar o campo a ser estudado, isso inclui uma ampla pesquisa para avaliar as estratégias adequadas de pesquisa, tais como, bases de dados, períodos, termos de pesquisa, palavras-chave e idiomas (LINNENLUECKE et al., 2020).

Métodos bibliométricos têm sido amplamente utilizados para obtenção de um panorama abrangente de determinados fluxos do conhecimento na literatura. Contudo, como essas análises envolvem a investigação de autores em campos emergentes, é fundamental realizar tanto a análise bibliométrica quanto implementar técnicas de revisão sistemática da literatura (RIALTI et al., 2019).

4 MATERIAL E MÉTODO

A Figura 4 apresenta um fluxograma que resume a metodologia utilizada neste trabalho. Os detalhes de cada etapa metodológica serão abordados nos itens subsequentes.

Figura 4 – Fluxograma com o resumo da metodologia adotada



Fonte: Autor, 2021.

4.1 Obtenção dos dados

As palavras-chave utilizadas incluem “*Composting*”, “*Sludge*”, “*Food Waste*”, “*Green Waste*” e “*Garden Waste*”, que em português são, respectivamente, compostagem, lodo, resíduos de alimentos, resíduos verdes e resíduos de jardinagem. O passo seguinte foi realizar uma ampla busca na base de dados bibliográficos *Scopus*. A *Scopus* é uma das maiores base de dados de resumos e citações, possui uma ampla cobertura global e regional, seu conteúdo é

revisado por especialistas independentes no assunto e, dessa forma, garante que apenas dados da mais alta qualidade sejam indexados (BASS et al., 2020). O acesso à base de dados do *Scopus* foi realizado partir do acesso remoto ao conteúdo assinado do Portal de Periódicos via Comunidade Acadêmica Federada (CAFe).

Utilizando a busca por “*Article title, Abstract, Keywords*” (em português título do artigo, resumo e palavras-chave) na base de dados *Scopus*, foi possível obter os resultados iniciais para identificar os artigos relevantes (artigos de conferências, livros e capítulos de livros foram excluídos das buscas). As tentativas iniciais de busca retornaram um total de 247 artigos. O conjunto de palavras-chave buscadas pode ser visualizado na Tabela 5. Os resultados das pesquisas foram armazenados em formato CSV para incluírem as informações relevantes das publicações, como nomes dos autores e suas afiliações, título, ano das publicações, país de origem, resumo, palavras-chave e referências. As buscas foram realizadas em 29 de abril de 2021.

Tabela 5 – Resultados das buscas iniciais

Palavras-chave buscadas	Resultado das buscas (nº de artigos)
“ <i>Composting</i> ” AND “ <i>Sludge</i> ” AND “ <i>Food Waste</i> ”	82
“ <i>Composting</i> ” AND “ <i>Sludge</i> ” AND “ <i>Green Waste</i> ”	138
“ <i>Composting</i> ” AND “ <i>Sludge</i> ” AND “ <i>Garden Waste</i> ”	27
Total	247

Fonte: Autor, 2021.

4.2 Refinamento dos resultados de busca

A partir do resultado das buscas dispostas na Tabela 5, constatou-se que alguns artigos estão presentes em mais de uma categoria. Portanto, foi necessário analisar e remover as duplicações, totalizando 237 artigos únicos publicados entre 1973 e 2021. A verificação da duplicidade de artigos foi realizada por meio do programa *Mendeley Reference Manager* (versão 2.44.1), e os dados referenciais foram exportados automaticamente através da plataforma da base de dados *Scopus*.

4.3 Obtenção das informações

Os registros bibliométricos obtidos foram exportados para o programa *VOSviewer* (Versão 1.6.16), dessa forma, foi possível identificar as coautorias nos artigos, principais

palavras-chave e suas ligações, e como fica estabelecida a rede de citações nos trabalhos. Outras informações, como o total de publicações anual e a quantidade de publicações por periódicos foram obtidos após tratamento de dados no programa Microsoft Excel (versão 2104). Vale ressaltar que a etapa anterior, de refinamento dos resultados de busca, foi fundamental para confirmar o total de artigos únicos e garantir a confiabilidade dos dados tratados no Microsoft Excel. Contudo, é importante destacar que o programa VOSViewer já realiza a verificação de duplicidade em suas análises.

As afiliações dos autores e o país de origem de suas instituições foram obtidas no próprio sítio eletrônico do *Scopus* em uma seção nomeada “*Analyze search results*”, que em português significa analisar os resultados de busca. Os dados obtidos foram armazenados em uma planilha, e foi necessário realizar um levantamento de todas as organizações cadastradas, pois em alguns casos uma mesma organização era listada em diferentes idiomas. Por fim, as quantidades de publicações de cada país foram exportadas em formato CSV para o programa Tableau (versão 2021.1.1), onde foi possível gerar um mapa com os países que mais contribuem para publicações científicas sobre o tema.

Por último, foi realizada a leitura dos resumos dos 237 artigos com a finalidade de identificar o eixo temático de cada um. Foram destacados alguns dos principais estudos em cada tema, os artigos foram selecionados com base no indicador “*prominence percentile*”, em português percentil de proeminência, atribuído na base de dados *Scopus*. Este indicador tem como base a contagem de citações, o número de visualizações no *Scopus* e *CiteScore* médio. Deste modo, foi possível estabelecer as tendências de pesquisas ao longo dos anos e as perspectivas futuras.

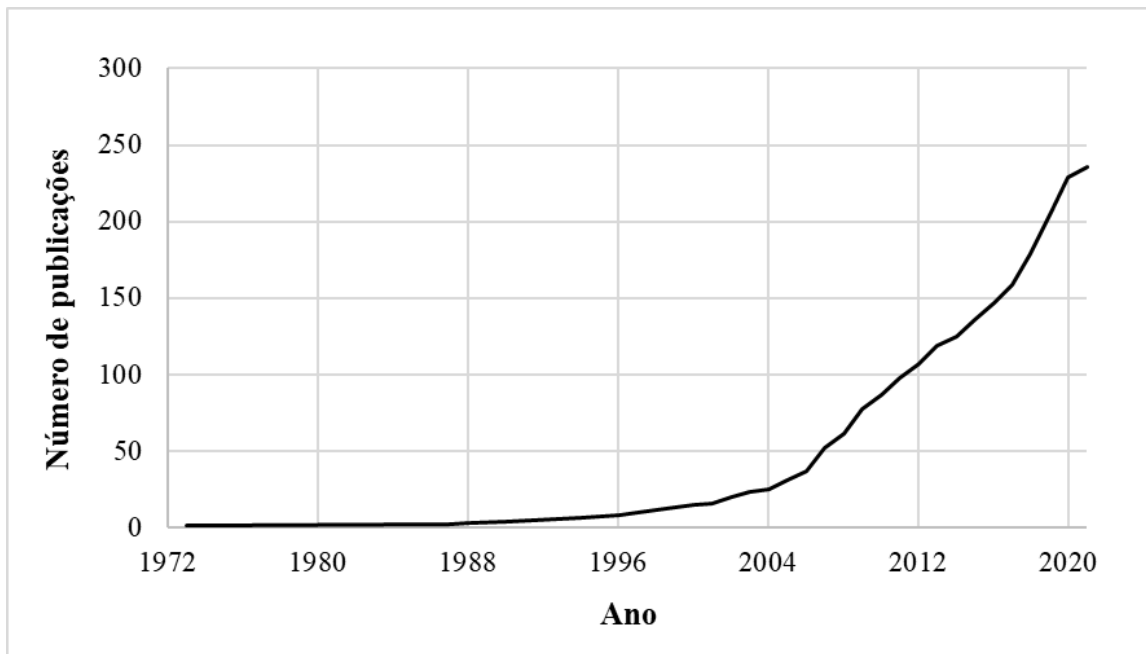
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Resultados da análise bibliométrica

5.1.1 Estatística dos dados iniciais

O refinamento dos artigos revelou que o campo de estudo ainda está em expansão. O crescimento expressivo iniciou-se em 2014 e atingiu um pico de 25 novas publicações em 2019, cenário que se repetiu em 2020. A Figura 5 revela a tendência de novos artigos publicados. A estatística mostra que 105 periódicos são responsáveis pelas 237 publicações, no quais 15 periódicos publicaram 127 desses artigos identificados, representando cerca de 54% do total. A Tabela 6 mostra os principais periódicos em que esses artigos foram publicados.

Figura 5 – Acumulado do número de publicações por ano



Fonte: Autor, 2021.

Há informações adicionais que não estão dispostas nesta tabela. Por exemplo, os periódicos “*Journal of Hazardous Materials*”, “*Applied and Environmental Microbiology*”, “*International Biodeterioration and Biodegradation*”, “*Soil Science Society of America Journal*”, “*Journal of Applied Microbiology*” e “*Resources, Conservation and Recycling*” não aparecem entre os 15 periódicos que mais publicaram artigos, contudo estão entre os 15 periódicos mais citados, com 249, 227, 221, 211, 128 e 122 citações respectivamente.

Tabela 6 – Classificação dos periódicos que mais contribuem no tema deste estudo

Fonte	Nº de artigos	Nº citações
<i>Bioresource Technology</i>	23	874
<i>Waste Management</i>	15	456
<i>Compost Science and Utilization</i>	11	260
<i>Science of the Total Environment</i>	11	281
<i>Chemosphere</i>	9	342
<i>Journal of Cleaner Production</i>	8	237
<i>Waste Management and Research</i>	8	154
<i>Environmental Science and Pollution Research</i>	7	30
<i>Biocycle</i>	6	6
<i>Journal of Environmental Management</i>	6	80
<i>Waste and Biomass Valorization</i>	6	11
<i>Geoderma</i>	5	136
<i>Acta Horticulturae</i>	4	18
<i>Environmental Technology (United Kingdom)</i>	4	44
<i>Soil Biology And Biochemistry</i>	4	245
Outros periódicos	110	2401
Total	237	5575

Fonte: Autor, 2021.

5.1.2 Principais autores

A Tabela 7 lista os 10 autores que mais colaboraram e suas respectivas quantidades de autoria ou coautoria.

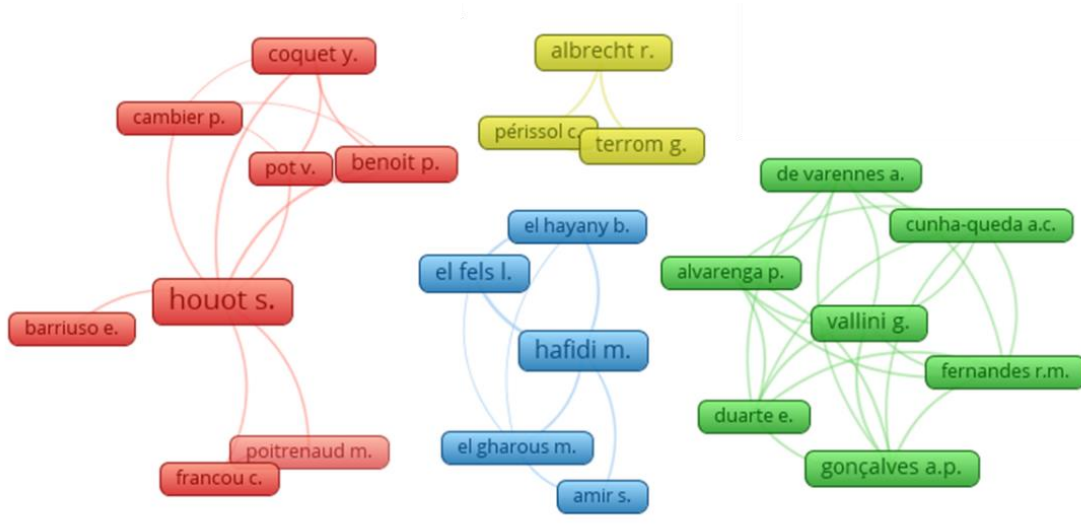
Tabela 7 – Os 10 autores que mais publicaram e o número de artigos

Autor	Nº de artigos
Houot, S.	23
Hafidi, M.	13
El Fels, L.	8
Benoit, P.	7
Albrecht, R	6
Coquet, Y.	6
Gonçalves, A. P.	6
Terrom, G.	6
Vallini, G.	6
Alvarenga, P.	5

Fonte: Autor, 2021.

Como pode ser visto na Tabela 7, Houot domina a lista de principais autores, contudo é importante ressaltar que é coautora em 22 das suas publicações. O mesmo acontece com Hafidi, que é coautor de 12 de seus artigos e Benoit, P. que é coautor de todos os seus artigos. Albrecht possui o maior número de autoria, sendo autor de todos os seus artigos. A Figura 6 mostra os principais grupos de coautoria.

Figura 6 – Principais grupos de coautoria



Fonte: Autor, 2021.

5.1.3 Afiliação

A Figura 7 mostra a distribuição do número de artigos por países. O raio dos círculos respeita a proporcionalidade do grau de contribuição de cada país. Com base na Figura 7 é possível notar que a densidade de contribuições se concentra na Europa, principalmente na Europa Ocidental. Contudo, verifica-se importantes contribuições nos Estados Unidos, China e Marrocos. Embora, em menor densidade, outras regiões do globo contribuíssem para o campo de pesquisa.

Figura 7 – Todos os países com contribuições

Fonte: Autor, 2021.

Foram identificadas 150 organizações em 53 países. Outros 5 artigos não contêm quaisquer informações acerca das suas origens nos registros do *Scopus*. A Tabela 8 apresenta a classificação dos 10 países que mais contribuem. A Tabela 9 mostra a contribuição de cada região para a literatura no tema em questão. O critério de divisão geográfica tem como base o esquema adotado pela Organização das Nações Unidas (ONU) em suas publicações e banco de dados (DESA, 2020). É importante salientar que um determinado artigo pode ter sido elaborado por mais de uma organização, ou seja, sua origem pode ser atribuída a diferentes países.

Tabela 8 – Os 10 países que mais contribuíram e o número de artigos.

País	Nº de artigos
França	59
China	25
Estados Unidos	22
Espanha	18
Itália	17
Marrocos	17
Polônia	13
Reino Unido	8
Dinamarca	6
Portugal	6

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 9 – Contribuição das organizações baseado na região geográfica.

Região geográfica	Nº de artigos	Percentual de contribuição
África	26	8.9%
Norte da África	24	8.3%
África Central	1	0.3%
África Oriental	1	0.3%
Américas	35	11.9%
América do Norte	26	8.9%
América Central	1	0.3%
América do Sul	7	2.3%
Caribe	1	0.3%
Ásia	57	19.9%
Ásia Oriental	39	13.9%
Sudeste asiático	4	1.3%
Sul da Ásia	9	3.0%
Ásia Ocidental	5	1.7%
Europa	168	55.6%
Europa Ocidental	69	23.2%
Sul da Europa	49	15.9%
Europa Oriental	22	7.3%
Norte da Europa	28	9.3%
Oceania	6	2.0%
Austrália e Nova Zelândia	6	2.0%
Sem registros	5	1.7%

Fonte: Autor, 2021.

Por fim, as 10 maiores organizações que mais contribuiram, baseado no número de artigos publicados, podem ser visualizados na Tabela 10. Fazendo um paralelo com a lista dos principais autores (Tabela 7), nota-se que *AgroParisTech*, *Université Cadi Ayyad*, *Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques* são representadas respectivamente pelos principais autores Houot, Hafidi e El Fels. Dessa forma, sugere-se que basta apenas um autor para que determinada organização seja classificada com um bom desempenho.

Tabela 10 – As 10 organizações que mais contribuíram e o número de artigos

Organização	Nº de artigos
<i>Centre de recherche Île-de-France (Versailles-Grignon)</i>	26
<i>Écologie Fonctionnelle et Écotoxicologie des Agroécosystèmes</i>	22
<i>AgroParisTech</i>	21
<i>Université Cadi Ayyad</i>	17
<i>CNRS – Centre National de la Recherche Scientifique</i>	16
<i>INRAE - l'Institut National de Recherche Pour L'agriculture, L'alimentation et L'environnement</i>	9
<i>Aix Marseille Université</i>	8
<i>Mohammed VI Polytechnic University</i>	8
<i>Universite Paris-Saclay</i>	8
<i>Higher Institute of Nursing Professions and Health Technics</i>	7

Fonte: Autor, 2021.

5.1.4 Palavras-chave

Com o auxílio do programa VOSviewer foi possível identificar as principais palavras-chave dos artigos. A Tabela 11 mostra as 12 principais palavras-chave utilizadas pelos autores. Similarmente a Tabela 12 traz as 12 principais palavras indexadas. Foram identificadas 674 palavras-chave autorais, enquanto as indexadas totalizaram 2796 palavras.

Tabela 11 – Principais palavras-chave autorais

Palavras-chaves	Ocorrência	Palavras-chaves	Ocorrência
<i>Composting</i>	43	<i>Green Waste</i>	8
<i>Sewage Sludge</i>	42	<i>Anaerobic Digestion</i>	7
<i>Compost</i>	41	<i>Life Cycle Assessment</i>	7
<i>Food Waste</i>	19	<i>Organic Waste</i>	7
<i>Heavy Metals</i>	12	<i>Sludge</i>	7
<i>Co-Composting</i>	10	<i>Humification</i>	6

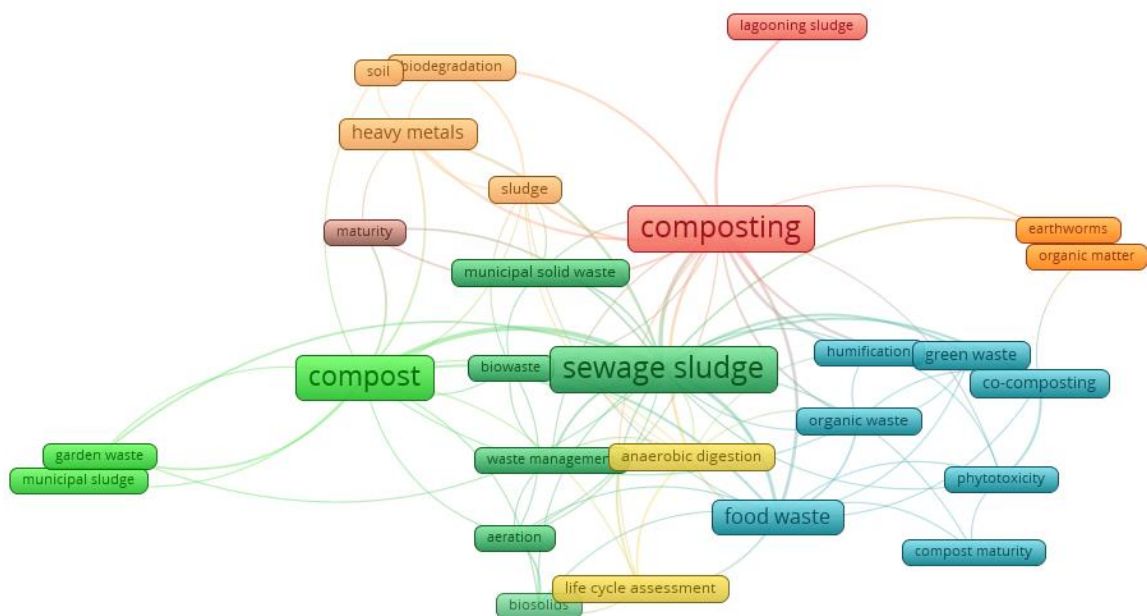
Fonte: Autor, 2021

Tabela 12 – Principais palavras-chave indexadas

Palavras-chaves	Ocorrência	Palavras-chaves	Ocorrência
<i>Composting</i>	181	<i>Waste Treatment</i>	80
<i>Sludge</i>	106	<i>Soil</i>	67
<i>Article</i>	101	<i>Priority Journal</i>	58
<i>Compost</i>	91	<i>Controlled Study</i>	46
<i>Sewage</i>	91	<i>Municipal Solid Waste</i>	46
<i>Sewage Sludge</i>	87	<i>Organic Matter</i>	44

Fonte: Autor, 2021

Como pode ser observado, as palavras-chave utilizadas nas buscas iniciais, tais como “*Composting*”, “*Sludge*”, “*Food Waste*” e “*Green Waste*” estão listadas nas Tabelas 11 e 12. O termo “*Co-composting*” é uma palavra-chave pertinente, pois indica a existência de estudos que combinam duas ou mais matérias-primas no processo de compostagem. Por fim, as Figuras 8 e 9 mostram respectivamente as redes de conexões entre palavras-chave determinadas pelos autores e as indexadas na base de dados. Nas palavras-chave autorais foram consideradas apenas as palavras com ocorrência mínima de 4, já as indexadas foram consideradas apenas as com ocorrência mínima de 20. Dessa forma, é possível visualizar com maior clareza as principais palavras-chave e como elas interagem entre si. O tamanho das molduras determina a ocorrência, ou seja, quanto maior a moldura maior é a ocorrência da palavra-chave.

Figura 8 – Rede de palavras-chave autorais

Fonte: Autor, 2021

É importante destacar que os artigos de Craft e Nelson (1996), Ros et al. (2006) e Cooper e Carliell-Marquet (2013) estão entre os mais citados na base do *Scopus*, porém não possuem nenhuma ligação com os demais artigos resultados das buscas deste estudo. O artigo de Craft e Nelson (1996) buscou avaliar as propriedades microbianas de diversos compostos, entre eles restos de alimento e lodo do esgoto de uma cervejaria, na inibição do patógeno *Pythium graminicola* em raízes de espécies de gramíneas da família *Poaceae*, dessa forma, o artigo é geralmente citado em estudos que envolvem fitopatologias. Ros et al. (2006) estudaram até que profundidade diferentes compostos orgânicos afetariam o solo e sua microbiota, foi analisado a atividade enzimática no solo, a diversidade de oxidantes de amônia e a composição da microbiota. Portanto, Ros et al. (2006) são citados em diversos estudos que envolvem a aplicação de compostos orgânicos no solo e os seus impactos na comunidade microbiana. Por fim, Cooper e Carliell-Marquet (2013) trazem uma abordagem da gestão e estratégia de reciclagem de fósforo (P), e um dos resultados da análise feita neste estudo indica a necessidade de desenvolver métodos mais eficazes para a reciclagem de alimentos desperdiçados e lodo de esgoto a fim de substituir o uso de fertilizantes. Logo, este trabalho é citado em estudos que envolvem o fluxo de massa do fósforo e a economia circular para a sua cadeia de suprimentos.

5.2 Eixos temáticos de pesquisas

5.2.1 Primeiros anos

Os artigos publicados entre 1973 (ano do primeiro artigo dentro da temática) e 1999 empenharam-se em estudar o processo de co-compostagem de diferentes substratos, desta maneira, surgiram os primeiros estudos acerca da compostagem de lodo biológico e resíduos orgânicos.

Destaca-se, neste período, o trabalho de Sesay et al. (1997), que examinaram a compostagem em pilha estática aerada de lodo industrial de papel e celulose misturados com estrume de frangos e resíduos verdes. Os resultados demonstraram que, com um sistema aerado, a maior parte da estabilização da matéria orgânica ocorreu em um período de duas semanas, fazendo-se necessário de quatro a cinco semanas a mais de maturação.

5.2.2 Década de 2000

Entre os anos de 2000 e 2009 as linhas de pesquisas concentraram-se em duas grandes áreas: o manejo do solo e caracterização do processo de compostagem. Contudo, esta década marcou o aprofundamento de estudos sobre microbiologia e gerenciamento de resíduos sólidos,

além de trazer novas perspectivas acerca da biodegradação de poluentes orgânicos e da vermicompostagem.

O manejo do solo foi o eixo temático proeminente nesta década. As linhas de pesquisa neste tema empenharam-se em estudar a aplicação de composto resultante da co-compostagem de lodo biológico e resíduos orgânicos no solo, principalmente para biorremediação do solo. Larchevêque et al. (2006) monitoraram o efeito do composto nos padrões de mudança na serapilheira, húmus e compartimentos do horizonte mineral em um Garrigue de sete anos de idade. Após dois anos da aplicação do composto verificou-se uma ligeira melhora na fertilidade geral do solo, resultado do enriquecimento do horizonte mineral com K, Mg e esporadicamente com P. De acordo com os autores, o composto provavelmente aumentou o processo de decomposição do húmus, pois diminui a relação C/N e as concentrações de Ni e Cr neste compartimento. Em contrapartida, o composto reduziu o processo de decomposição da serapilheira, aumentando a relação C/N, o pH e a concentração de elementos tóxicos, como Zn, Ni, Cr e Pb. Gadepalle et al. (2008) testaram o efeito de composto (combinação lodo de esgoto e resíduos verdes compostados) alterado com diferentes concentrações de zeólito e/ou óxido de ferro em um solo contaminado com altos níveis de arsênico, fruto da atividade de mineração intensiva. A concentração de arsênico foi determinada a partir da absorção deste contaminante por grama de centeio (*Lolium perenne L.*). Dentre as concentrações analisadas, os pesquisadores destacaram que a alta concentração de composto (15%) com zeólito (5%) e/ou óxido de ferro (5%) é eficaz na absorção de arsênico pelas plantas, sendo possível reestabelecer a revegetação do solo contaminado. Na mesma linha, Alvarenga et al. (2008) avaliaram o efeito do composto de resíduos sólidos urbanos ou composto de resíduos de jardim e materiais usados na calagem de solos na reabilitação de um solo afetado pela atividade de mineração. Este estudo indicou que os compostos de resíduos sólidos urbanos podem ser utilizados com sucesso na biorremediação do solo contaminado por metais pesados. Paula Alvarenga é uma das autoras que mais contribuíram na área de biorremediação do solo dentro deste eixo temático (Alvarenga et al., 2009a; Alvarenga et al., 2009b e Alvarenga et al., 2009c). Como pôde ser observado, a compostagem não é apenas uma alternativa para o gerenciamento de resíduos orgânicos, pois o produto gerado tem um enorme potencial para recuperação de solos degradados.

A caracterização de compostos foi um dos eixos temáticos mais discutido nesta década. Esta linha de pesquisa propôs estudar os diversos parâmetros que fazem parte do processo de compostagem, dentre eles o impacto da aeração no processo de compostagem, os parâmetros cinéticos do processo de compostagem, a granulometria, a estabilização da matéria orgânica, a

maturidade e a fitotoxicidade do composto. Francou, Poitrenaud e Houot (2005) estudaram a influência dos resíduos compostados na cinética de estabilização da matéria orgânica durante o processo de compostagem. Os autores também tentaram validar indicadores físico-químicos de estabilização do composto. Os resultados deste estudo demonstraram que o Carbono Orgânico Total (COT) pareceu relacionar-se melhor como indicador da estabilidade da matéria orgânica do composto do que a relação C/N e, além disso, o índice de humificação (ácido húmico e fúlvico) também foi bem correlacionado com a estabilidade da matéria orgânica. Trémier, Teglia e Barrington (2009) estudaram a interação do teor inicial de umidade e distribuição do tamanho das partículas na otimização da biodegradação de lodo com outros substratos no processo de compostagem. O estudo demonstrou que tanto a distribuição do tamanho das partículas quanto o conteúdo inicial de umidade influenciaram na dispersão do fluxo de ar na compostagem. Além disso, o processo de compostagem foi otimizado utilizando resíduos verdes com granulometria de 20-30 mm e umidade de 55%.

Levando em consideração o gerenciamento de resíduos sólidos, Poulsen e Hansen (2009) elaboraram um amplo estudo dos impactos das mudanças tecnológicas no equilíbrio energético e na geração dos gases do efeito estufa no tratamento de resíduos orgânicos e das águas residuárias. Os dados coletados foram disponibilizados pelo município de Aalborg na Dinamarca e abrangem o período que vai de 1970 a 2005. Este município mudou sua estratégia de tratamento de resíduos em aterros sanitários para compostagem de quintal e incineração com produção combinada de calor e energia para os resíduos orgânicos remanescentes. Os pesquisadores verificaram que, ao assumir que a composição dos resíduos orgânicos são as mesmas entre 1970 e 2005, houve uma redução na emissão per capita líquida anual de gases do efeito estufa.

Em relação ao eixo temático que envolve a microbiologia, a principal linha de pesquisa busca avaliar a persistência de microrganismos patogênicos durante e após o processo de compostagem. Neste sentido, em seu estudo, Lemunier et al. (2005) ressaltam a importância de conhecer a segurança biológica dos substratos compostados, tais como o lodo de esgoto e estrume. Dessa forma, os autores estudaram a sobrevivência de *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enterica subsp. enterica serotype Enteritidis* e *Escherichia coli* na compostagem em quatro misturas de resíduos orgânicos, contendo várias proporções de papel e papelão, frutas, legumes e resíduos verdes. Os resultados deste trabalho sugerem que, assim como no lodo de esgoto e o estrume, microrganismos patogênicos também podem persistir na compostagem de resíduos orgânicos domésticos. Portanto, a sobrevivência desses patógenos

não estava relacionada com as características físico-químicas dos substratos. Ceustermans et al. (2007) determinaram os requisitos mínimos (relação tempo/temperatura e teor de umidade) necessários para a eliminação de patógenos durante a compostagem de resíduos orgânicos. Foi utilizado como indicador o microrganismo *Salmonella enterica ssp. enterica serotype Senftenberg* cepa W 775. Este artigo identificou a temperatura como o principal parâmetro associado à erradicação desta cepa. Quando a temperatura durante a compostagem atinge os 60°C, o teor de umidade varia entre 60-65%, e conseqüentemente a cepa W 775 é inativada em 10h. Segundo os autores, o segundo parâmetro mais relevante é o teor de umidade, pois quando o conteúdo de água reduziu, observou-se uma maior taxa de sobrevivência da cepa W 775. Com base neste eixo temático, observa-se a preocupação dos pesquisadores em estudar a permanência de patógenos no composto após o processo de compostagem. Este tema possui uma grande relação com o eixo temático supracitado, pois os compostos têm sido amplamente utilizados na biorremediação de solos e, como foi visto na revisão de literatura, também são aplicados como fertilizante na agricultura.

A biodegradação de poluentes é um eixo temático que passou a ser considerado. Este tema, assim como a microbiologia, possui uma estreita relação com o uso do composto no manejo de solo, pois poluentes orgânicos podem persistir e, conseqüentemente, acabam contaminando os solos. Hafidi et al. (2008) verificaram o destino dos hidrocarbonetos aromáticos policíclicos durante a compostagem de lodo de esgoto com resíduos verdes. Os resultados desta pesquisa indicaram que os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos de maior peso molecular mostraram uma maior redução de sua biodisponibilidade do que os de baixo peso molecular. Foi nesta década que surgiram os primeiros estudos sobre vermicompostagem. Esta técnica passou a ser utilizada para auxiliar na bioconversão de lodo de esgoto e outros resíduos orgânicos no processo de compostagem (SPENCER, 2007; CASATELLI, 2007; CLARKE, TAYLOR E COSSINS., 2007).

5.2.3 Década de 2010

Entre os anos de 2010 e 2019, as linhas de pesquisa continuaram a concentrar-se nos eixos temáticos que envolvem o manejo do solo e caracterização do processo de compostagem. Foi perceptível uma evolução em estudos que abordam o gerenciamento de resíduos, em decorrência principalmente da preocupação com a gestão adequada dos resíduos orgânicos e lodos biológicos. Em relação aos trabalhos que estudaram o processo de biodegradação de poluentes, observou-se o interesse pela identificação do destino e o impacto de produtos farmacêuticos na compostagem de resíduos orgânicos e lodo biológico.

Em relação ao manejo do solo, os estudos que abordam a biorremediação do solo ainda foram proeminentes nesta década. Contudo, verificou-se um aprofundamento dos trabalhos que discutiam a aplicação de compostos na agricultura. Segundo Li et al. (2010), os materiais orgânicos mais utilizados na compostagem na Flórida são os resíduos de quintal e resíduos de alimentos. Entretanto, os autores verificaram que o estrume animal e lodo biológico estão disponíveis em grandes quantidades para reutilização. Além disso, o estado da Flórida produz anualmente milhões de toneladas de resíduos de processamento de cítricos, cinzas de carvão e madeira. Dessa forma, os pesquisadores identificaram a necessidade de estudar a incorporação de compostos e outros materiais residuais na agricultura sustentável da Flórida. Grigatti et al. (2019) compararam diferentes resíduos orgânicos, a fim de obter uma equivalência de fertilizante mineral N e P em contraste com um fertilizante químico (NPK). Os resultados indicaram que os compostos de biorresíduos digeridos anaerobicamente e lodo de esgoto são fontes valiosas de N para nutrição vegetal a curto prazo, e representam uma importante fonte de P no médio prazo, sendo uma alternativa aos fertilizantes de rochas fosfáticas.

Diversos artigos dentro do eixo temático da caracterização ainda objetivavam estabelecer relações detalhadas entre os principais parâmetros do processo de compostagem. No entanto, alguns estudos passaram a investigar o efeito do uso de aditivos no processo de compostagem e seus efeitos na fração orgânica dos resíduos. He et al. (2018) investigaram os efeitos da adição de vermiculita no processo de compostagem de alimentos desperdiçados, e os resultados indicaram que a adição deste mineral prolonga a fase termofílica, acelera a perda de matéria orgânica, reduz as emissões de NH_3 e os valores de condutividade elétrica. Sobik-Szołtysek e Kupich (2019) determinaram o efeito da adição de resíduos de carvão no processo de compostagem e a capacidade de sorção dos compostos. Os resultados demonstram o efeito benéfico da adição de 10% de resíduos de carvão sobre a eficiência do processo de compostagem. Ainda foi possível observar uma melhoria nas propriedades de sorção dos compostos e na qualidade final do composto obtido. Malinowski, Wolny-Koładka e Vaverková avaliaram o efeito da adição de pequenas doses de biochar no processo de compostagem e na fração orgânica dos resíduos sólidos municipais com baixa relação C/N. O composto resultante apresentou maior teor umidade e menor densidade de resíduos. Estes e outros artigos, dentro da temática deste estudo, indicam que ao adicionar substâncias, o processo de compostagem pode ser otimizado e a qualidade do produto final pode ser melhorada, promovendo um processo mais célere e compostos com melhor eficiência de fertilização.

5.2.4 Primeiros anos de 2020

De 2020 até o mês de abril de 2021, o eixo temático predominante foi a caracterização do processo de compostagem. Dentro deste tema houve um aprofundamento nos estudos que abordavam a adição de substâncias para a melhoria do processo de compostagem, dentre eles, a adição de lodo de fosfato.

O artigo Demange et al. (2020) destacou-se por ser o primeiro ao desenvolver uma abordagem dentro do campo da saúde do trabalho. Este estudo investigou as características da planta de compostagem associada com o aumento dos sintomas de irritação e níveis e inflamação das vias aéreas entre os trabalhadores. Os resultados indicaram que trabalhadores de plantas de compostagem de lodo de esgoto estavam mais suscetíveis quando comparados a trabalhadores de plantas de compostagem de outros resíduos. A exposição foi associada a uma elevação dos níveis de Imunoglobulina E. Também, o trabalho em plantas internas estava ligado a uma maior incidência de sintomas inflamatórios.

5.3 Perspectivas para futuros trabalhos

A principal linha de pesquisa em ascensão está associada ao controle de riscos ambientais decorrente das persistências de antibióticos e genes resistentes a antibiótico em compostos gerados na compostagem de lodo biológico e resíduos orgânicos. Portanto, alguns pesquisadores estão buscando novas estratégias de remoção de antibióticos e dos genes resistentes a eles. O desenvolvimento de tecnologias para a remoção de contaminantes e a busca por novos aditivos econômicos para otimização do processo de compostagem são outras linhas de pesquisas que podem ser desenvolvidas.

6 CONCLUSÃO

Com bases nos 237 artigos oriundos da base de dados *Scopus*, neste estudo foi possível obter uma visão ampla do campo de estudo acerca da compostagem de lodo biológico e resíduos orgânicos. As discussões deste estudo propuseram verificar as principais linhas de pesquisa e identificar as tendências de pesquisas mundiais dentro do tema. Portanto, a partir da análise bibliométrica desenvolvida, concluiu-se que:

- Verificou-se um maior crescimento nos primeiros anos dos anos 2000, contudo, uma maior tendência de artigos publicados só foi observada a partir do ano de 2015;
- Em termo de volume de artigos publicados, os autores franceses são os que mais se destacaram. Uma grande quantidade de estudos fora financiada pelo governo francês, por meio das *Unité mixte de recherche* (UMR), laboratórios apoiados pelo *Centre National de la Recherche Scientifique* (CNRS), maior órgão público de pesquisa científica da França;
- As principais linhas de pesquisas estão relacionadas com a caracterização do processo de compostagem como um todo, e com a aplicação do composto produzido na biorremediação e fertilização de solos;
- As novas tendências mundiais de pesquisa neste tema estão focadas na otimização do processo de compostagem de lodo biológico e resíduos orgânicos por meio do uso de aditivos; também há uma preocupação com a biodegradação de poluentes orgânicos nos substratos da compostagem.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, F.; MOKHTARI, M.; JALILI, M. The impact of agricultural and green waste treatments on compost quality of dewatered sludge. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 35, p. 35757-35766, Dezembro 2019.
- ABNT. Norma Brasileira 13.591/96. **Compostagem**, Rio de Janeiro, 1996.
- ALVARENGA, P.; GONÇALVES, A. P.; FERNANDES, R. M.; DE VARENNES, A.; DUARTE, E.; CUNHA-QUEDA, A. C.; VALLINI, G. Reclamation of a mine contaminated soil using biologically reactive organic matrices. **Waste Management & Research**, v. 27, n. 2, p. 101–111, 2009c.
- ALVARENGA, P.; GONÇALVES, A. P.; FERNANDES, R. M.; DE VARENNES, A.; VALLINI, G.; DUARTE, E.; CUNHA-QUEDA, A. C. Evaluation of composts and liming materials in the phytostabilization of a mine soil using perennial ryegrass. **Science of The Total Environment**, v. 406, n. 1-2, p. 43-56, 2008.
- ALVARENGA, P.; GONÇALVES, A. P.; FERNANDES, R. M.; DE VARENNES, A.; VALLINI, G.; DUARTE, E.; CUNHA-QUEDA, A. C. Organic residues as immobilizing agents in aided phytostabilization: (I) Effects on soil chemical characteristics. **Chemosphere**, v. 74, n. 10, p. 1292–1300, 2009a.
- ALVARENGA, P.; MOURINHA, C.; FARTO, M.; SANTOS, T.; PALMA, P.; SENGO, J.; MORAIS, M.; CUNHA-QUEDA, C. Sewage sludge, compost and other representative organic wastes as agricultural soil amendments: Benefits versus limiting factors. **Waste Management**, v. 40, p. 44–52, 2015.
- ALVARENGA, P.; PALMA, P.; GONÇALVES, A. P.; FERNANDES, R. M.; CUNHA-QUEDA, A. C.; DUARTE, E.; VALLINI, G. Evaluation of chemical and ecotoxicological characteristics of biodegradable organic residues for application to agricultural land. **Environment International**, v. 33, n. 4, p. 505–513, 2007.
- ALVARENGA, P.; PALMA, P.; GONÇALVES, A. P.; FERNANDES, R. M.; DE VARENNES, A.; VALLINI, G.; DUARTE, E.; CUNHA-QUEDA, A. C. Organic residues as immobilizing agents in aided phytostabilization: (II) Effects on soil biochemical and ecotoxicological characteristics. **Chemosphere**, v. 74, n. 10, p. 1301–1308, 2009b.
- AMIR, S.; JOURAIPHY, A.; MEDDICH, A.; EL GHAROUS, M.; WINTERTON, P.; HAFIDI, M. Structural study of humic acids during composting of activated sludge-green waste: Elemental analysis, FTIR and ¹³C NMR. **Journal of Hazardous Materials**, v. 177, n. 1-3, p. 524–529, 2010.
- ANNABI, M.; HOUOT, S.; FRANCOU, C.; POITRENAUD, M.; BISSONNAIS, Y. L. Soil Aggregate Stability Improvement with Urban Composts of Different Maturities. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, n. 2, p. 413, 2007.
- ARIAS, O.; VIÑA, S.; SOTO, M. Co-composting of forest and industrial wastes watered with pig manure. **Environmental Technology**, v. 42, n. 5, p. 705-716, 2021.
- AWASTHI, M. K.; PANDEY, A. K.; KHAN, J.; BUNDELA, P. S.; WONG, J. W. C.; SELVAM, A. Evaluation of thermophilic fungal consortium for organic municipal solid waste composting. **Bioresource Technology**, v. 168, p. 214–221, 2014.

- BARRENA, R.; FONT, X.; GABARRELL, X.; SÁNCHEZ, A. Home composting versus industrial composting: Influence of composting system on compost quality with focus on compost stability. **Waste Management**, v. 34, n. 7, p. 1109-1116, Julho 2014.
- BARROS, R. T. V. **Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos**. Belo Horizonte: Tessitura Editora, 2012.
- BASS, J.; SCHOTTEN, M.; PLUME, A.; CÔTÉ, G.; KARIMI, R. Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quantitative science studies. **Quantitative Science Studies**, v. 1, n. 1, p. 377-386, 2020.
- BIAN, B.; HU, X.; ZHANG, S.; LV, C.; YANG, Z.; YANG, W.; ZHANG, L. Pilot-scale composting of typical multiple agricultural wastes: Parameter optimization and mechanisms. **Bioresource Technology**, v. 287, 2019.
- BROCHIER, V.; GOURLAND, P.; KALLASSY, M.; POITRENAUD, M.; HOUOT, S. Occurrence of pathogens in soils and plants in a long-term field study regularly amended with different composts and manure. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 160, p. 91-98, 2012.
- BUSTAMANTE, M. A.; CEGLIE, F. G.; ALY, A.; MIHRETEAB, H. T.; CIACCIA, C.; TITTARELLI, F. Phosphorus availability from rock phosphate: Combined effect of green waste composting and sulfur addition. **Journal of Environmental Management**, v. 182, p. 557-563, Agosto 2016.
- CARNEIRO, M.; BILOTTA, P.; MALUCELLI, L. C.; OCH, S. H.; DA SILVA CARVALHO FILHO, M. A. Sludge and scum blends from water and sewage treatment plants for energy recovering toward a circular economy perspective. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 17, n. 9, p. 3847-3856, 2020.
- CASATELLI, L. M. Vermicomposting: Turning paper sludge into "Black Gold". **Paper and Packaging**, p. 36-37, 2007.
- CERDA, A.; ARTOLA, A.; FONT, X.; BARRENA, R.; GEA, T.; SÁNCHEZ, A. Composting of food wastes: Status and challenges. **Bioresource Technology**, v. 248, p. 57-67, 2018.
- CESARO, A.; CONTE, A.; BELGIORNO, V.; SICILIANO, A.; GUIDA, M. The evolution of compost stability and maturity during the full-scale treatment of the organic fraction of municipal solid waste. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 264-270, 15 Fevereiro 2019.
- CEUSTERMANS, A.; DE CLERCQ, D.; AERTSEN, A.; MICHIELS, C.; COOSEMANS, J.; RYCKEBOER, J. Inactivation of Salmonella Senftenberg strain W 775 during composting of biowastes and garden wastes. **Journal of Applied Microbiology**, v. 103, n. 1, p. 53-64, 2007.
- CHEN, J.; HOU, D.; PANG, W.; NOWAR, E. E.; TOMBERLIN, J. K.; HU, R.; CHEN, H.; XIE, J.; ZHANG, J.; YU, Z.; LI, Q. Effect of moisture content on greenhouse gas and NH₃ emissions from pig manure converted by black soldier fly. **Science of The Total Environment**, v. 967, 2019.
- CHEN, Z.; ZHANG, S.; WEN, Q.; ZHENG, J. Effect of aeration rate on composting of penicillin mycelial dreg. **Journal of Environmental Sciences**, v. 37, p. 172-178, 2015.
- CHRISTENSEN, M. L.; KEIDING, K.; NIELSEN, P. H.; JØRGENSEN, M. K. Dewatering in biological wastewater treatment: A review. **Water Research**, v. 82, p. 14-24, 2015.

- CLARKE, W.; TAYLOR, M.; COSSINS, R. Evaluation by respirometry of the loading capacity of a high rate vermicompost bed for treating sewage sludge. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 13, p. 2611–2618, 2007.
- CONAMA. Resolução nº 481, de 3 outubro de 2017. **Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo decompostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências**, 2017.
- CONAMA. Resolução nº 498, de 19 de agosto de 2020. **Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências.**, 2020.
- COOPER, J. e CARLIELL-MARQUET, C. A substance flow analysis of phosphorus in the UK food production and consumption system. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 74, p. 82–100, 2013.
- CRAFT, C. M. e NELSON, E. B. Microbial Properties of Composts That Suppress Damping-Off and Root Rot of Creeping Bentgrass Caused by *Pythium graminicola*. **Applied and environmental microbiology**, v. 62, n. 5, p. 1550-1557, 1996.
- DASTPAK, H.; PASALARI, H.; JAFARI, A. J.; GHOLAMI, M.; FARZADKIA, M. Improvement of Co-Composting by a combined pretreatment Ozonation/Ultrasonic process in stabilization of raw activated sludge. **Scientific Reports**, v. 10, 23 Janeiro 2020.
- DEMANGE, V.; BARRERA, C.; LABOISSIÈRE, A.; DUQUENNE, P.; SIMON, X.; MILLON, L.; REBOUX, G.; GRZEBYK, M. Effects of plant features on symptoms and airway inflammation in compost workers followed over 18 months. **Archives of Environmental & Occupational Health**, p. 1–10, 2020.
- DESA. Statistical Yearbook (2020 edition). **ST/ESA/STAT/SER.S/39. United Nations**, New York, n. 63, 2020.
- EL HAYANY, B.; EL FELLS, L.; OUHDOUCH, Y.; HAFIDI, M. Fate of pathogenic microorganisms during lagooning sludge composting and exploration of bacteriophages as indicator of hygienization. **Environmental Technology & Innovation**, v. 21, Fevereiro 2021.
- EL HOUDA, N. C.; HEMIDAT, S.; THABIT, Q.; CHAKCHOUK, M.; NASSOUR, A.; HAMDI, M.; NELLES, M. Potential of sustainable concept for handling organic waste in tunisia. **Sustainability**, v. 12, n. 19, Outubro 2020.
- EPSTEIN, E. **The Science of Composting**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 1997.
- FAHIMNIA, B.; SARKIS, J.; DAVARZANI, H. Green supply chain management: A review and bibliometric analysis. **International Journal of Production Economics**, v. 162, p. 101-114, 2015.
- FAO. The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050, Roma, 2018.
- FAO. The State of Food and Agriculture 2019. Moving forward on food loss and waste reduction, Roma, 2019.
- FRANCOU, C.; POITRENAUD, M.; HOUOT, S. Stabilization of Organic Matter During Composting: Influence of Process and Feedstocks. **Compost Science & Utilization**, v. 13, n. 1, p. 72–83, 2005.

- GADEPALLE, V. P.; OUKI, S. K.; VAN HERWIJNEN, R.; HUTCHINGS, T. Effects of amended compost on mobility and uptake of arsenic by rye grass in contaminated soil. **Chemosphere**, v. 72, n. 7, p. 1056–1061, 2008.
- GAVIRIA-MARIN, M.; MERIGÓ, J. M.; BAIER-FUENTES, H. Knowledge management: A global examination based on bibliometric analysis. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 140, p. 194-220, Março 2020.
- GRIGATTI, M.; CAVANI, L.; DI BIASE, G.; CIAVATTA, C. Current and residual phosphorous availability from compost in a ryegrass pot test. **Science of The Total Environment**, v. 677, p. 250-262, 2019.
- GUANGYIN, Z. e YOUCAI, Z. Chapter One - Sewage Sludge Generation and Characteristics. [S.l.]: Butterworth-Heinemann, 2017. p. 1-11.
- GUO, R.; LI, G.; JIANG, T.; SCHUCHARDT, F.; CHEN, T.; ZHAO, Y.; SHEN, Y. Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. **Bioresource Technology**, v. 112, p. 171-178, 2012.
- GUO, Y.; RENE, E. R.; WANG, J.; MA, W. Biodegradation of polyaromatic hydrocarbons and the influence of environmental factors during the co-composting of sewage sludge and green forest waste. **Bioresource Technology**, v. 297, 2020.
- HAFIDI, M.; AMIR, S.; JOURAIPHY, A.; WINTERTON, P.; EL GHAROUS, M.; MERLINA, G.; REVEL, J. C. Fate of polycyclic aromatic hydrocarbons during composting of activated sewage sludge with green waste. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 18, p. 8819–8823, 2008.
- HE, Z.; LIN, H.; HAO, J.; KONG, X.; TIAN, K.; BEI, Z.; TIAN, X. Impact of vermiculite on ammonia emissions and organic matter decomposition of food waste during composting. **Bioresource Technology**, v. 253, p. 548–554, 2018.
- HSEU, Z. Y. Evaluating heavy metal contents in nine composts using four digestion methods. **Bioresource Technology**, v. 95, n. 1, p. 53-59, 2004.
- INGHELDS, D.; DULLAERT, W.; AGHEZZAF, E. H.; HEIJUNGS, R. Towards optimal trade-offs between material and energy recovery for green waste. **Waste Management**, v. 93, p. 100-111, 2019.
- INSAM, H. e BERTOLDI, M. Chapter 3 Microbiology of the composting process. In: DIAZ, L. F.; BERTOLDI, M.; BIDLINGMAIER, W.; STENTIFORD, E. **Compost Science and Technology**. [S.l.]: Elsevier, v. 8, 2007. p. 25-48.
- JOURAIPHY, A.; AMIR, S.; EL GHAROUS, M.; REVEL, J.-C.; HAFIDI, M. Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformation during composting of sewage sludge and green plant waste. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 56, n. 2, p. 101-108, 2005.
- KARADAG, D.; ÖZKAYA, B.; ÖLMEZ, E.; NISSILÄ, M. E.; ÇAKMAKÇI, M.; YILDIZ, Ş.; PUHAKKA, J. A. Profiling of bacterial community in a full-scale aerobic composting plant. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 77, p. 85-90, 2013.
- KAZA, S.; YAO, L. C.; BHADA-TATA, P.; VAN WOERDEN, F. What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. **The World Bank**, Washington, DC, 2018.

- KIBLER, K. M.; REINHART, D.; HAWKINS, C.; MOTLAGH, A. M.; WRIGHT, J. Food waste and the food-energy-water nexus: A review of food waste. **Waste Management**, v. 74, p. 52–62, Abril 2018.
- KUMMU, M.; DE MOEL, H.; PORKKA, M.; SIEBERT, S.; VARIS, O.; WARD, P. J. Lost food, wasted resources: Global food supply chain losses and their impacts on freshwater, cropland, and fertiliser use. **Science of The Total Environment**, v. 438, p. 477–489, 2012.
- LANGSDORF, A.; VOLKMAR, M.; HOLTSMANN, D.; ULBE, R. Material utilization of green waste: a review on potential valorization methods. **Bioresources and Bioprocessing**, v. 8, 2021.
- LARCHEVÊQUE, M.; BALDY, V.; MONTÈS, N.; FERNANDEZ, C.; BONIN, G.; BALLINI, C. Short-term Effects of Sewage-Sludge Compost on a Degraded Mediterranean Soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 4, p. 1178–1188, 2006.
- LEE, L. H.; WU, T. Y.; SHAKE, K. P. Y.; LIM, S. L.; NG, K. Y.; NGUYEN, M. N.; TEOH, W. H. Sustainable approach to biotransform industrial sludge into organic fertilizer via vermicomposting: a mini-review. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 93, n. 4, p. 925–935, Abril 2018.
- LEMUNIER, M.; FRANCOU, C.; ROUSSEAUX, S.; HOUOT, S.; DANTIGNY, P.; PIVETEAU, P.; GUZZO, J. Long-Term Survival of Pathogenic and Sanitation Indicator Bacteria in Experimental Biowaste Composts. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 71, n. 10, p. 5779–5786, 2005.
- LI, Y.; HANLON, E.; O'CONNOR, G.; CHEN, J.; SILVEIRA, M. Land Application of Compost and Other Wastes (By-products) in Florida: Regulations, Characteristics, Benefits, and Concerns. **HortTechnology**, v. 20, n. 1, p. 41–51, 2010.
- LIN, L.; XU, F.; GE, X.; LI, Y. Improving the sustainability of organic waste management practices in the food-energy-water nexus: A comparative review of anaerobic digestion and composting. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 89, p. 151-167, 2018.
- LINNENLUECKE, M. K.; MARRONE, M.; SINGH, A. K. Conducting systematic literature reviews and bibliometric analyses. **Australian Journal of Management**, v. 45, n. 2, p. 175-194, 2020.
- LUO, Y.; LIANG, J.; ZENG, G.; CHEN, M.; MO, D.; LI, G.; ZHANG, D. Seed germination test for toxicity evaluation of compost: Its roles, problems and prospects. **Waste Management**, n. 71, p. 109-114, 2018.
- MALINOWSKI, M.; WOLNY-KOŁADKA, K.; VAVERKOVÁ, M. Effect of biochar addition on the OFMSW composting process under real conditions. **Waste Management**, v. 84, p. 364-372, 2019.
- MATEO-SAGASTA, J.; RASCHID-SALLY, L.; THEBO, A. Chapter 2 - Global Wastewater and Sludge Production, Treatment and Use. In: DRESCHSEL, P.; QADIR, M.; WICHELNS, D. **Wastewater**. 1. ed. [S.l.]: Springer Netherlands, 2015. p. 15-38.
- MORTULA, M. M.; AHMED, A.; FATTAH, K. P.; ZANNERNI, G.; SHAH, S. A.; SHARABY, A. M. Sustainable management of organic wastes in sharjah, uae through co-composting. **Methods and Protocols**, v. 3, n. 76, Novembro 2020.

- MU, D.; HOROWITZ, N.; CASEY, M.; JONES, K. Environmental and economic analysis of an in-vessel food waste composting system at Kean University in the U.S. **Waste Management**, v. 59, p. 476-486, Janeiro 2017.
- ONU. World Population Prospects 2019: Highlights (ST/ESA/SER.A/423). **Department of Economic and Social Affairs, Population Division**, Nova York, 2019.
- ONWOSI, C. O.; IGBOKWE, V. C.; ODIMBA, J. N.; EKE, I. E.; NWANKWOALA, M. O.; IROH, I. N.; EZEUGU, L. I. Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects. **Journal of Environmental Management**, v. 190, p. 140-157, 1 Abril 2017.
- OVIEDO-OCAÑA, E. R.; HERNÁNDEZ-GÓMEZ, A. M.; RÍOS, M.; PORTELA, A.; SÁNCHEZ-TORRES, V.; DOMÍNGUEZ, I.; KOMILIS, D. A Comparison of Two-Stage and Traditional Co-Composting of Green Waste and Food Waste Amended with Phosphate Rock and Sawdust. **Sustainability**, v. 13, n. 3, 21 Janeiro 2021.
- PANDEY, P. K.; VADDELLA, V.; CAO, W.; BISWAS, S.; CHIU, C.; HUNTER, S. In-vessel composting system for converting food and green wastes into pathogen free soil amendment for sustainable agriculture. **Journal of Cleaner Production**, v. 139, p. 407-415, 15 Dezembro 2016.
- PARADELO, R.; MOLDES, A. B.; BARRAL, M. T. Evolution of organic matter during the mesophilic composting of lignocellulosic winery wastes. **Journal of Environmental Management**, v. 116, p. 18–26, 2013.
- PERGOLA, M.; PICCOLO, A.; PALESE, A. M.; INGRAO, C.; DI MEO, V.; CELANO, G. A combined assessment of the energy, economic and environmental issues associated with on-farm manure composting processes: Two case studies in South of Italy. **Journal of Cleaner Production**, p. 3969-3981, 20 Janeiro 2018.
- POULSEN, T. G. e HANSEN, J. A. Assessing the impacts of changes in treatment technology on energy and greenhouse gas balances for organic waste and wastewater treatment using historical data. **Waste Management & Research**, v. 27, n. 9, p. 861–870, 2009.
- PRASPALIAUSKAS, M.; ŽALTAUSKAITĖ, J.; PEDIŠIUS, N.; STRIŪGAS, N. Comprehensive evaluation of sewage sludge and sewage sludge char soil amendment impact on the industrial hemp growth performance and heavy metal accumulation. **Industrial Crops and Products**, v. 150, 2020.
- RAMDANI, N.; LOUSDAD, A.; HAMOU, A. Study of the biodegradation and fertility of the co-composting produced from sewage sludge and green waste and its effects on the speciation of heavy metals. **Journal of Materials and Environmental Science**, v. 6, n. 5, p. 1310-1320, Janeiro 2015.
- REN, J.; LIANG, H.; CHAN, F. T. S. Urban sewage sludge, sustainability, and transition for Eco-City: Multi-criteria sustainability assessment of technologies based on best-worst method. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 116, p. 299-39, Março 2017.
- RIALTI, R.; MARZI, G.; CIAPPEI, C. B. D. Big data and dynamic capabilities: a bibliometric analysis and systematic literature review. **Management Decision**, v. 57, n. 2, Setembro 2019.

- ROS, M.; PASCUAL, J. A.; GARCIA, C.; HERNANDEZ, M. T.; INSAM, H. Hydrolase activities, microbial biomass and bacterial community in a soil after long-term amendment with different composts. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 12, p. 3443–3452, 2006.
- SÁNCHEZ, O. J.; OSPINA, D. A.; MONTOYA, S. Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. **Waste Management**, v. 69, p. 136-153, 2017.
- SCRINZI, D.; ANDREOTTOLA, G.; FIORI, L. Composting hydrochar-OFMSW digestate mixtures: Design of bioreactors and preliminary experimental results. **Applied Sciences**, v. 11, n. 4, 2021.
- SDA. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 61, DE 8 DE JULHO DE 2020. **Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro**, 2020. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 158, n. 134, p. 5-17. 15 julho.
- SELVAM, A.; ZHAO, Z.; WONG, J. W. C. Composting of swine manure spiked with sulfadiazine, chlortetracycline and ciprofloxacin. **Bioresource Technology**, v. 126, p. 412-417, Dezembro 2012.
- SESAY, A. A.; LASARIDI, K.; STENTIFORD, E.; BUDD, T. Controlled Composting of Paper Pulp Sludge Using the Aerated Static Pile Method. **Compost Science & Utilization**, v. 5, n. 1, p. 82–96, 1997.
- SOBIK-SZOLTYSEK, J. e KUPICH, I. Effect of the addition of coal waste on the process of composting and sorption capacity of composts. **Rocznik Ochrona Srodowiska**, v. 21, n. 2, p. 1156-1174, 2019.
- SPENCER, R. On-farm composting of Boston area food scraps. **BioCycle**, p. 19-22, 2007.
- SUN, X.; WANG, S.; WANG, J.; LU, W.; WANG, H. Cocomposting of Night Soil and Green Wastes. **Compost Science & Utilization**, v. 20, n. 4, p. 254-259, Julho 2013.
- TANDY, S.; HEALEY, J. R.; NASON, M. A.; WILLIAMSON, J. C.; JONES, D. L. Heavy metal fractionation during the co-composting of biosolids, deinking paper fibre and green waste. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 18, p. 4220-4226, Setembro 2009.
- TRÉMIER, A.; TEGLIA, C.; BARRINGTON, S. Effect of initial physical characteristics on sludge compost performance. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 15, p. 3751–3758, 2009.
- UNEP. Food Waste Index Report 2021, Nairobi, 2021.
- USUI, M.; KAWAKURA, M.; YOSHIZAWA, N.; SAN, L. L.; NAKAJIMA, C.; SUZUKI, Y.; TAMURA, Y. Survival and prevalence of *Clostridium difficile* in manure compost derived from pigs. **Anaerobe**, v. 43, p. 15-20, 2017.
- VIRETTO, A.; GONTARD, N.; ANGELLIER-COUSSY, H. Urban parks and gardens green waste: A valuable resource for the production of fillers for biocomposites applications. **Waste Management**, v. 120, p. 538-548, 1 Favereiro 2021.
- WAINAINAB, S.; AWASTHI, M. K.; SARSAIYAF, S.; CHEND, H.; SINGHC, E.; KUMARC, A.; RAVINDRANE, B.; AWASTHIA, S. K.; LIUA, T.; DUANA, Y.; KUMARC, S.; ZHANGA, Z.; TAHERZADEHB, M. J. Resource recovery and circular economy from organic solid waste using aerobic and anaerobic digestion technologies. **Bioresource Technology**, v. 301, Abril 2020.
- XUE, L.; LIU, G.; PARFITT, J.; LIU, X.; VAN HERPEN, E.; STENMARCK, Å.; O'CONNOR, C. G.; ÖSTERGREN, K. H.; CHENG, S. Missing Food, Missing Data? A

- Critical Review of Global Food Losses and Food Waste Data. **Environmental Science & Technology**, v. 51, n. 12, p. 6618–6633, 17 Maio 2017.
- ZANG, B.; LI, S.; MICHEL, F.; LI, G.; LUO, Y.; ZHANG, D.; LI, Y. Effects of mix ratio, moisture content and aeration rate on sulfur odor emissions during pig manure composting. **Waste Management**, v. 56, p. 498–505, 2016.
- ZHANG, H.; LV, D.; WEI, L. Characteristics of Dewatered Sewage Sludge and Green Waste Co-composting. **Second International Conference on Digital Manufacturing & Automation**, 2011.
- ZHAO, X.; LI, B.; NI, J.; XIE, D. Effect of four crop straws on transformation of organic matter during sewage sludge composting. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 15, n. 1, p. 232–240, 2016.
- ZHONG, H.; LIU, X.; TIAN, Y.; ZHANG, Y.; LIU, C. Biological power generation and earthworm assisted sludge treatment wetland to remove organic matter in sludge and synchronous power generation. **Science of the Total Environment**, v. 776, p. 145909, 2021.
- ZHOU, Y.; SELVAM, A.; WONG, J. W. C. Evaluation of humic substances during co-composting of food waste, sawdust and Chinese medicinal herbal residues. **Bioresource Technology**, v. 168, p. 229-234, 2014.