

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Martha Christina Mendonça dos Santos

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE TRATAMENTO DE  
ESGOTOS DESCENTRALIZADOS: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA.**

Maceió

2022

Martha Christina Mendonça dos Santos

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE TRATAMENTO DE  
ESGOTOS DESCENTRALIZADOS: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Profa. Dra. Daniele Vital Vich.

Coorientadora: Profa. Dra. Ivete V. L. Ferreira

Maceió

2022

**Catálogo na Fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

S237a Santos, Martha Christina Mendonça dos.  
Análise de viabilidade técnica e econômica de tratamento de esgotos descentralizados : uma revisão bibliométrica / Martha Christina Mendonça dos Santos. – Maceió, 2022.  
56 f. : il. color.

Orientadora: Daniele Vital Vich.  
Coorientadora: Ivete V. L. Ferreira.  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 52-56.

1. Viabilidade técnica e econômica. 2. Alternativas de tratamento. 3. Tratamento descentralizado de esgoto. I. Título.

CDU: 628.38

# Folha de Aprovação

AUTORA: Martha Christina Mendonça dos Santos

## ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DESCENTRALIZADOS: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Documento assinado digitalmente  
 DANIELE VITAL VICH  
Data: 08/05/2023 14:33:24-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Professora Dra. Daniele Vital Vich - Universidade Federal de Alagoas (Orientadora)

Documento assinado digitalmente  
 IVETE VASCONCELOS LOPES FERREIRA  
Data: 05/05/2023 11:10:28-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Professora Dra Ivete V. L. Ferreira - Universidade Federal de Alagoas (Coorientadora)

Documento assinado digitalmente  
 KARINA RIBEIRO SALOMON  
Data: 05/05/2023 07:58:00-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Professora Dra. Karina Ribeiro Salomon - Universidade Federal de Alagoas

Documento assinado digitalmente  
 AMANDA LIMA MORAES DOS SANTOS  
Data: 05/05/2023 18:15:40-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Engenheira Amanda Lima Moraes dos Santos – Universidade Federal do Ceará

## AGRADECIMENTOS

À Deus, primeiramente, minha rocha e meu consolo, que não me deixou abalar diante das dificuldades.

À minha mãe, exemplo de mulher, que priorizou minha educação e sempre me encorajou em tudo que eu me dispus a fazer. Só tenho a agradecer por tudo que fez por mim e por todo o amor que me foi dado.

Aos meus avós, Maria Zélia e Manoel Pedro, por sempre ter uma palavra de apoio e um carinho em tudo o que fazem. Obrigada por tanto amor!

Ao meu esposo, José Antônio, pelo incentivo, companheirismo e suporte diário. Por sua paciência e amor, muito obrigada!

Aos demais familiares pela compreensão e momentos de lazer.

À minha orientadora, Daniele Vich, pela sensibilidade e gentileza no repasse do conhecimento. Sou grata pela oportunidade de trabalharmos juntas, pelas palavras otimistas e pela confiança depositada em mim.

Aos amigos Maria Vitória e Wesley, por trilharem junto comigo na graduação, sempre me dando motivos para sorrir e acreditar.

Ao meu pai, Rildo, e meus irmãos Matheus e Paulo. Obrigada por serem a surpresa mais feliz que eu pude ter até agora.

À Polícia Militar de Alagoas, por me proporcionar crescimento pessoal e estabilidade financeira, deixando minha caminhada acadêmica mais tranquila.

## RESUMO

Em muitos países, como por exemplo o Brasil, menos da metade da população total usufrui da estrutura de saneamento, sendo a classe menos favorecida e a população das pequenas cidades as mais afetadas. Uma alternativa para essa problemática é a utilização de sistemas descentralizados de tratamento, que trazem ainda muitos questionamentos quanto à viabilidade de implantação e operação, principalmente nos quesitos técnicos e econômicos. Por isso, esse estudo consistiu no emprego da análise bibliométrica, tendo como fonte de dados a base *Scopus* para reunir os periódicos mais relevantes, refinando-os por área de interesse, a fim de obter resultados significativos que possam auxiliar na análise de viabilidade desses sistemas de tratamento, apresentando o grau de consolidação do tema na conjuntura atual, os progressos alcançados e as tendências para o futuro. Com a pesquisa, obtiveram-se 686 artigos, publicados por 160 instituições em um intervalo de tempo de 50 anos. O aumento do interesse pelo tema foi constatado a partir de 1995, ano que começou a se intensificar a produção de periódicos. Os estudos se iniciaram com uma preocupação com as variáveis técnicas, passaram para as variáveis financeiras e evoluíram para uma análise conjunta, chegando a envolver os aspectos ambientais, nas ferramentas mais elaboradas. Notou-se um crescente interesse pela sustentabilidade das estações de tratamento, com a geração de energia limpa e reutilização de recursos, como também a busca por soluções mais naturais de tratamento como as *Wetlands* e lagoas de estabilização.

**Palavras-chave:** Tratamento Descentralizado de Esgoto; Viabilidade técnica e Econômica.

## ABSTRACT

In many countries, such as Brazil, less than half of the total population uses the sanitation structure, with the less favored class and the population of small towns being the most affected. An alternative to this problem is the use of decentralized treatment systems, which still raise many questions regarding the feasibility of implementation and operation, especially in technical and economic terms. Therefore, this study consisted of the use of bibliometric analysis, using the Scopus database as a data source to gather the most relevant journals, refining them by area of interest, to obtain significant results that can help in the feasibility analysis of these systems of treatment, presenting the degree of consolidation of the theme in the current situation, the progress achieved and the trends for the future. With the research, 686 articles were obtained, published by 160 institutions over a period of 50 years. The increase in interest in the subject was observed from 1995 onwards, the year in which the production of periodicals began to intensify. The studies began with a concern for technical variables, moved on to financial variables and evolved into a joint analysis, even involving environmental aspects in more elaborate tools. There was a growing interest in the sustainability of treatment plants, with the generation of clean energy and reuse of resources, as well as the search for more natural treatment solutions such as Wetlands and stabilization ponds.

**Keywords:** Decentralized sewage treatment; Technical and economic feasibility.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Série histórica das populações urbanas e rurais do Brasil, de acordo com os dados censitários do IBGE. ....	13
<b>Figura 2.</b> Evolução do tratamento de esgotos. ....	14
<b>Figura 3.</b> Índice de atendimento do sistema de tratamento de esgoto no Brasil em 2020. ....	16
<b>Figura 4.</b> Distribuição da população no Estado de Alagoas no ano de 2010. ....	17
<b>Figura 5.</b> Índice de atendimento do sistema de tratamento de esgoto em Alagoas em 2020. ....	17
<b>Figura 6.</b> Graus de centralização e descentralização de sistemas de tratamento de esgoto. ....	19
<b>Figura 7.</b> Questões-chave para a escolha da descentralização. ....	20
<b>Figura 8.</b> Fluxograma da metodologia aplicada para a revisão sistemática e bibliométrica. ....	22
<b>Figura 9.</b> Distribuição dos resultados da pesquisa por tipo de documento. ....	23
<b>Figura 10.</b> Evolução do número de publicações a partir do ano da primeira publicação. ....	25
<b>Figura 11.</b> Evolução do número de publicações nos últimos dez anos. ....	26
<b>Figura 12.</b> Palavras-chave da primeira década de estudo (1972-1981). ....	27
<b>Figura 13.</b> Objetivos para o desenvolvimento sustentável presentes nas publicações no período de 1972-1981. ....	28
<b>Figura 14.</b> Palavras-chave da segunda década de estudo (1982-1991). ....	30
<b>Figura 15.</b> Objetivos para o desenvolvimento sustentável presentes nas publicações no período de 1982-1991. ....	31
<b>Figura 16.</b> Palavras-chave da terceira década de estudo (1992-2001). ....	32
<b>Figura 17.</b> Objetivos para o desenvolvimento sustentável presentes nas publicações no período de 1992-2001. ....	33
<b>Figura 18.</b> Palavras-chave da quarta década de estudo (2002-2011). ....	36
<b>Figura 19.</b> Objetivos para o desenvolvimento sustentável presentes nas publicações no período de 2002-2011. ....	37
<b>Figura 20.</b> Palavras-chave da quinta década de estudo (2012-2021). ....	39
<b>Figura 21.</b> Objetivos para o desenvolvimento sustentável presentes nas publicações no período de 2012-2021. ....	40
<b>Figura 22.</b> Palavras-chave do ano atual (2022). ....	42
<b>Figura 23.</b> Objetivos para o desenvolvimento sustentável presentes nas publicações de 2022. ....	43
<b>Figura 24.</b> Mapa de produção científica. ....	44
<b>Figura 25.</b> Ranking de produção científica (países). ....	44
<b>Figura 26.</b> Ranking de produção científica (autores). ....	45
<b>Figura 27.</b> Mapa de palavras-chave e suas conexões. ....	48

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Número de publicações por instituição.....	45
<b>Tabela 2.</b> Número de publicações por área de estudo. ....	47

## LISTA DE SIGLAS

<b>ACV</b>	Análise de Ciclo de Vida
<b>ANA</b>	Agência Nacional de Águas
<b>CAPES</b>	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<b>DBO</b>	Demanda Bioquímica de Oxigênio
<b>ETE</b>	Estação de Tratamento de Esgoto
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>PLANSAB</b>	Plano Nacional de Saneamento Básico
<b>SNIS</b>	Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento
<b>TCC</b>	Trabalho de Conclusão de Curso
<b>VPL</b>	Valor Presente Líquido

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	10
2.	OBJETIVOS.....	12
	2.1. Objetivo Geral .....	12
	2.2. Objetivos Específicos .....	12
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	13
	3.1. Panorama do tratamento de esgoto no Brasil .....	13
	3.2. Tratamento de esgoto em Alagoas.....	16
	3.3. Sistemas de tratamento de efluentes .....	18
	3.4. Análise de viabilidade .....	20
	3.5. Revisão bibliométrica .....	21
4.	METODOLOGIA.....	22
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
	5.1. Análise Temporal .....	25
	5.2. Produção científica: Países, Autores e Instituições .....	44
	5.3. Áreas de estudo e Palavras – Chave .....	46
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	49
7.	CONCLUSÃO.....	51
8.	REFERÊNCIAS .....	52

## 1. INTRODUÇÃO

A sobrevivência e o desenvolvimento humano dependem diretamente da água. Com o passar dos anos e o crescimento populacional, a demanda por água vem aumentando significativamente. Em contrapartida, a quantidade de água potável ou de água que possa ser utilizada para satisfazer as necessidades humanas não aumentou. Como solução para a preservação dessas águas tem-se o investimento em saneamento e no tratamento do esgoto sanitário, que tem como objetivo reproduzir, em tempo reduzido e eficiência otimizada, a capacidade de autodepuração dos cursos d'água (LEONETI et al., 2011).

Atualmente, a universalização do saneamento esbarra na política, na tecnologia e na economia, sendo o Brasil um exemplo de país que tem muito a melhorar no que diz respeito ao saneamento e tratamento de esgoto, principalmente nas zonas rurais. Dados de 2020 do Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS), afirmam que 97,2 milhões de pessoas não tinham acesso aos serviços de saneamento básico. Destas, 30,4 milhões moravam em zonas rurais. Vale ressaltar que, a população rural neste ano, de acordo com o mesmo sistema de informações, era composta por 32,6 milhões de pessoas (SNIS, 2020).

Nesse contexto surge o sistema de tratamento descentralizado, como solução para as áreas não atendidas pelos sistemas centralizados. Porém, ainda existem muitos desafios que precisam ser vencidos para tornar sua implantação eficiente, viável e segura para as comunidades isoladas, especialmente no caso dos sistemas de menor escala. É uma tarefa complexa, que envolve avaliação de muitas variáveis simultaneamente (SANTOS, 2019). Segundo CORNELLI (2014), devem ser buscadas formas alternativas que combinem baixo custo (variável econômica), eficiência (variável técnica-ambiental) e as necessidades dos usuários (variável social).

Para isso, a revisão bibliométrica faz-se extremamente importante, pois permite fazer uma seleção e a análise do acervo científico existente e chegar na formulação de uma questão de pesquisa, para desenvolver o corpo de estudos proposto (BOTELHO et al., 2011).

Ante o exposto, busca-se verificar, sob a perspectiva técnica e econômica, a viabilidade da implantação de sistemas de tratamento de esgotos descentralizados. Além disso, identificar o grau de relevância do tema no cenário atual, os progressos científicos alcançados e fornecer uma gama de informações que auxiliem no processo de tomada de decisão e na percepção de questões a ser exploradas em estudos futuros.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Identificar as pesquisas que analisam a viabilidade técnica e econômica de sistemas de tratamento de esgotos descentralizados.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Analisar os periódicos, instituições e autores que mais publicam estudos sobre a viabilidade de tratamentos de esgotos descentralizados;
- Identificar os avanços técnicos e científicos ocorridos dentro da temática, separando-os por áreas e/ou períodos de interesse;
- Identificar lacunas e possibilidades de pesquisa que possam embasar trabalhos futuros.

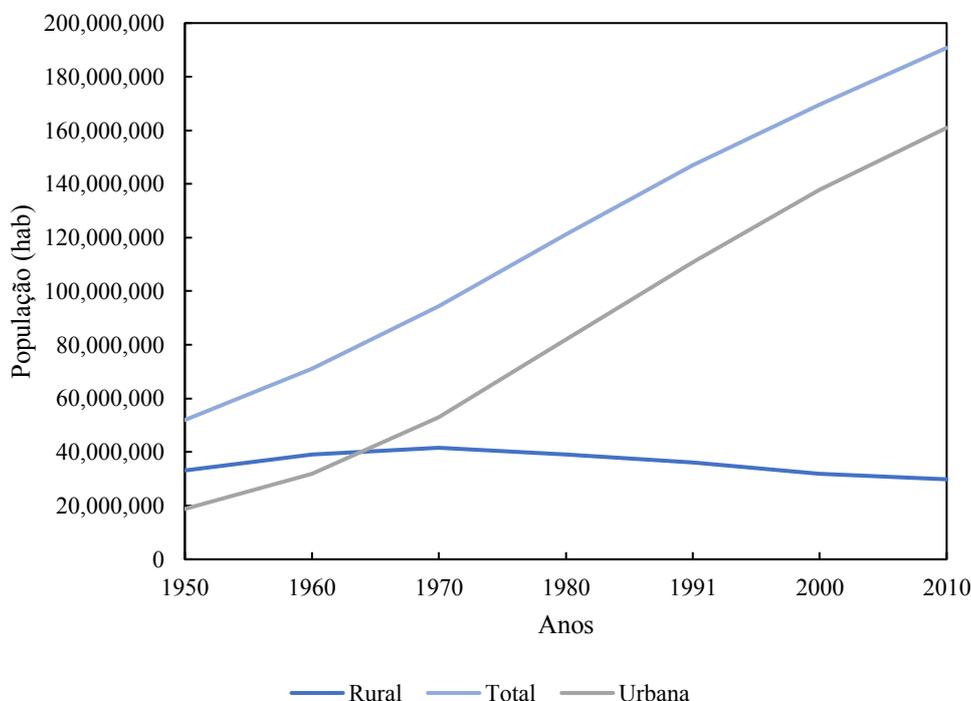
### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1. Panorama do tratamento de esgoto no Brasil

O aumento da população em áreas urbanas, de forma concentrada, fez com que fossem lançadas altas cargas de matéria orgânica pontualmente, demandando a criação de tecnologias otimizadas para a garantia do tratamento eficiente de grandes volumes de resíduos sólidos e líquidos (DANTAS et al., 2012). Por outro lado, as zonas rurais têm como obstáculo as questões políticas, no que diz respeito aos investimentos econômicos, visto que o alto custo dos sistemas de tratamento de esgotos impede o governo de investir em cidades de pequeno e médio porte (OLIVEIRA JÚNIOR, 2013).

O Brasil é um país de grande extensão territorial que, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2021), tem população estimada em aproximadamente 214 milhões de habitantes. As mudanças citadas acima podem ser visualizadas por meio dos dados censitários disponibilizados pelo mesmo instituto (Figura 1).

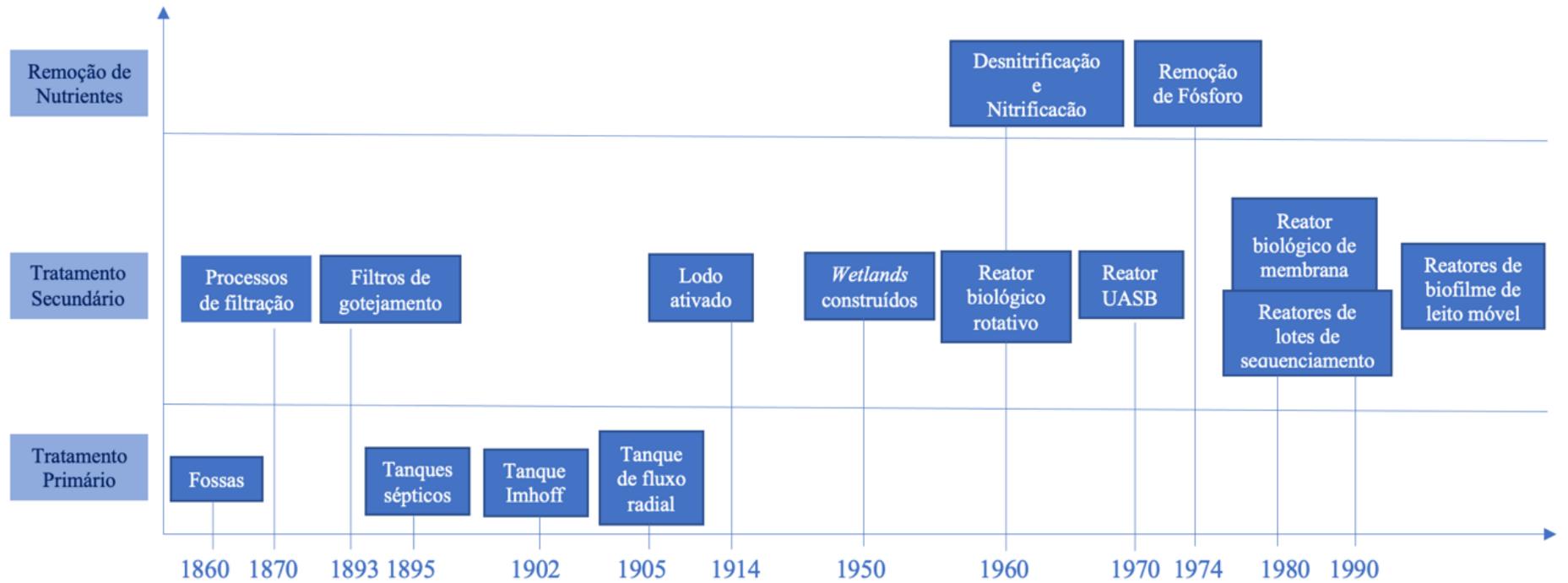
**Figura 1.** Série histórica das populações urbanas e rurais do Brasil, de acordo com os dados censitários do IBGE.



Fonte: Autora, adaptado de IBGE (2010).

Com o passar dos anos, consideráveis alterações tecnológicas nos sistemas de tratamento físico, químico e biológico de efluentes foram feitas, como mostra a Figura 2.

**Figura 2.** Evolução do tratamento de esgotos.



Fonte: Autora, adaptado de Lofrano e Brown (2010).

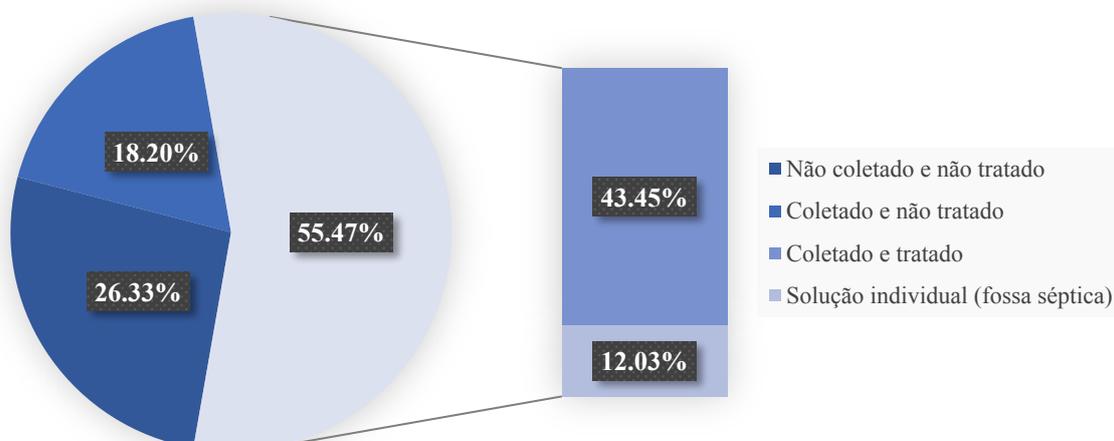
Porém, tais avanços ainda não permitem a realização de um trabalho completamente aplicável, principalmente nas áreas rurais, sendo o gerenciamento de águas residuárias um problema para os governos e para as pessoas que necessitam desse serviço (OLIVEIRA JÚNIOR, 2013).

No ano de 2020, segundo dados do SNIS, apenas 55,48% da população total brasileira era atendida pela rede geral de esgotamento sanitário, ou seja, possuíam tratamento considerado adequado. Desse percentual, 43,45% possuíam esgoto coletado e tratado e 12,03% utilizavam fossas sépticas, como mostra a Figura 3 (ANA, 2020).

Vale ressaltar que das cargas de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) geradas (kgDBO/dia), 50,8% foram tratados em 2020, sendo estimado para esse ano, um investimento de 102 bilhões de reais para a coleta e 48 bilhões de reais para o tratamento de esgoto em todo o país (SNIS, 2020; ANA, 2020).

A fim de universalizar o saneamento básico no país até 2033, meta estabelecida pelo Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), aprovado em 2013, foi sancionada a Lei Federal nº 14.026 de 15 de julho de 2020, que, dentre outras alterações, modifica a Lei nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007 no que diz respeito ao aprimoramento das condições de saneamento básico. Denominada como o novo marco legal do saneamento, estabelece a atribuição da competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Além disso, prevê que as empresas que fazem os serviços de saneamento, sejam elas públicas ou privadas, devem ser selecionadas por meio de licitação, realizada pelos Estados ou Municípios, se comprometendo a atingir a meta de universalização (BRASIL, 2020).

**Figura 3.** Índice de atendimento do sistema de tratamento de esgoto no Brasil em 2020.



**Fonte:** Autora, adaptado do Atlas Esgotos – ANA (2020).

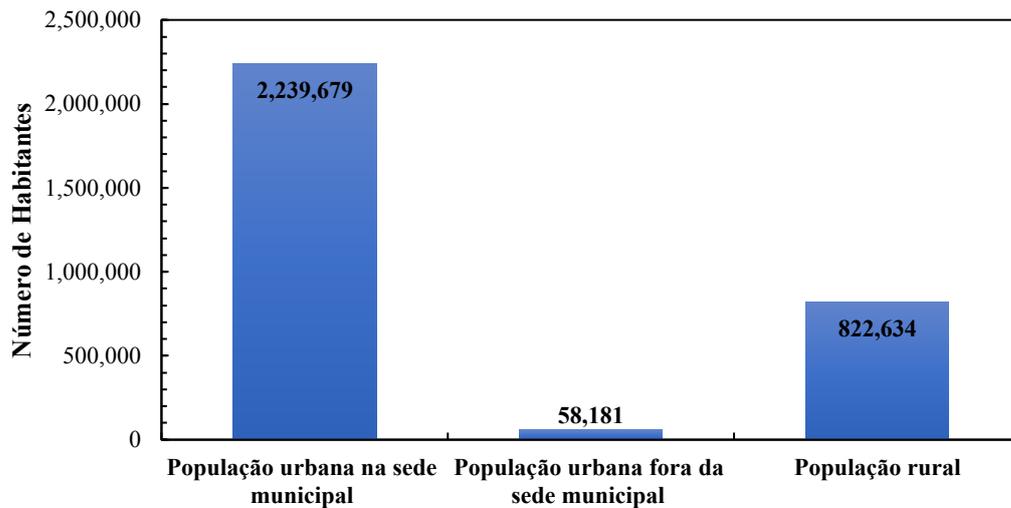
Em consonância com essa Lei, têm-se ainda a resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011, que dispõe sobre as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para a gestão do lançamento de efluentes em corpos de águas receptores alterando parcialmente e completando a resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Essas legislações fornecem o arcabouço legal para o tratamento de efluentes do âmbito nacional.

### **3.2. Tratamento de esgoto em Alagoas**

Alagoas é um Estado da região Nordeste do Brasil, com 102 municípios e população estimada em 3 milhões de pessoas (IBGE, 2021). Apresenta 26,4% da população rural e 73,6% da população urbana, como exemplifica a Figura 4.

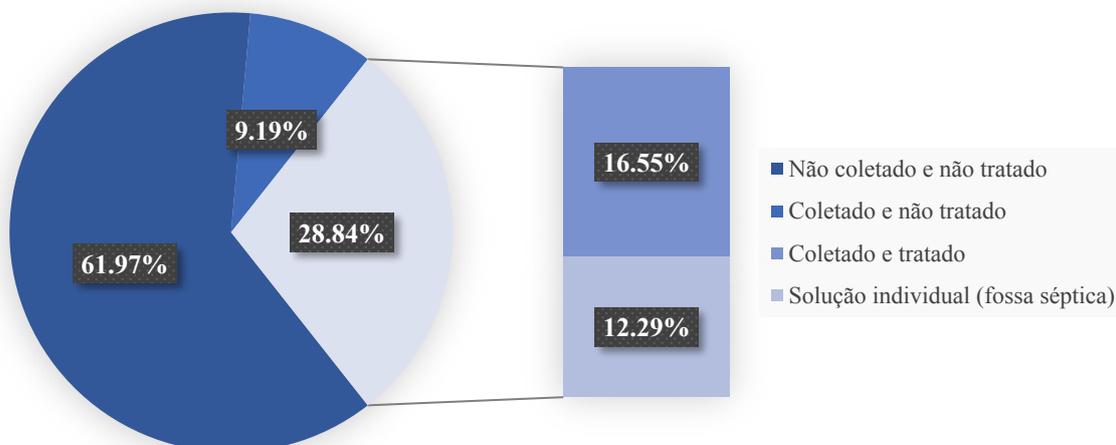
Em relação ao tratamento de esgotos (Figura 5), dados do atlas de esgotos mostram que apenas 28,84% da população total tinha acesso à rede geral de esgotamento sanitário, em 2020, sendo 16,6% coletado e tratado e 12,3% tratado em fossas sépticas (ANA, 2020).

**Figura 4.** Distribuição da população no Estado de Alagoas no ano de 2010.



Fonte: Autora, adaptado do IBGE (2010).

**Figura 5.** Índice de atendimento do sistema de tratamento de esgoto em Alagoas em 2020.



Fonte: Autora, adaptado do Atlas Esgotos – ANA (2020).

O que se destaca negativamente no cenário estadual, em comparação com o nacional, é o tratamento da carga orgânica gerada, que em 2020 chegou a 131.022 Kg de DBO/dia, sendo tratado apenas 17,2% desse valor. Outro destaque negativo é o percentual de esgoto não coletado e não tratado, que se apresenta 2,35 vezes maior que o percentual

nacional, aproximadamente. Os investimentos no setor são estimados em 2,4 bilhões para coleta e 800 milhões para tratamento (SNIS, 2020; ANA,2020).

Segundo a Constituição do Estado de Alagoas, datada de 1989, compete ao Estado:

*“Art. 187. Constitui função social do Estado velar pela proteção e defesa da saúde a nível individual e coletivo, adotando as medidas necessárias para assegurar os seguintes direitos:*

*I – Condições dignas de trabalho, saneamento, moradia, alimentação, educação, transporte e lazer;*

*II – Respeito ao meio ambiente e controle da poluição ambiental.*

Ainda de acordo com a Constituição estadual, compete aos municípios promover programas de construção de moradias e de melhoria das condições habitacionais e de saneamento básico. Estado e municípios devem prover o direito ao saneamento básico de qualidade observando as legislações nacionais e a Lei nº 7.081 que institui a política estadual de saneamento básico, disciplina o consórcio público e o convênio de cooperação entre entes federados para autorizar a gestão associada de serviços públicos de saneamento básico, e dá outras providências (ALAGOAS, 2009).

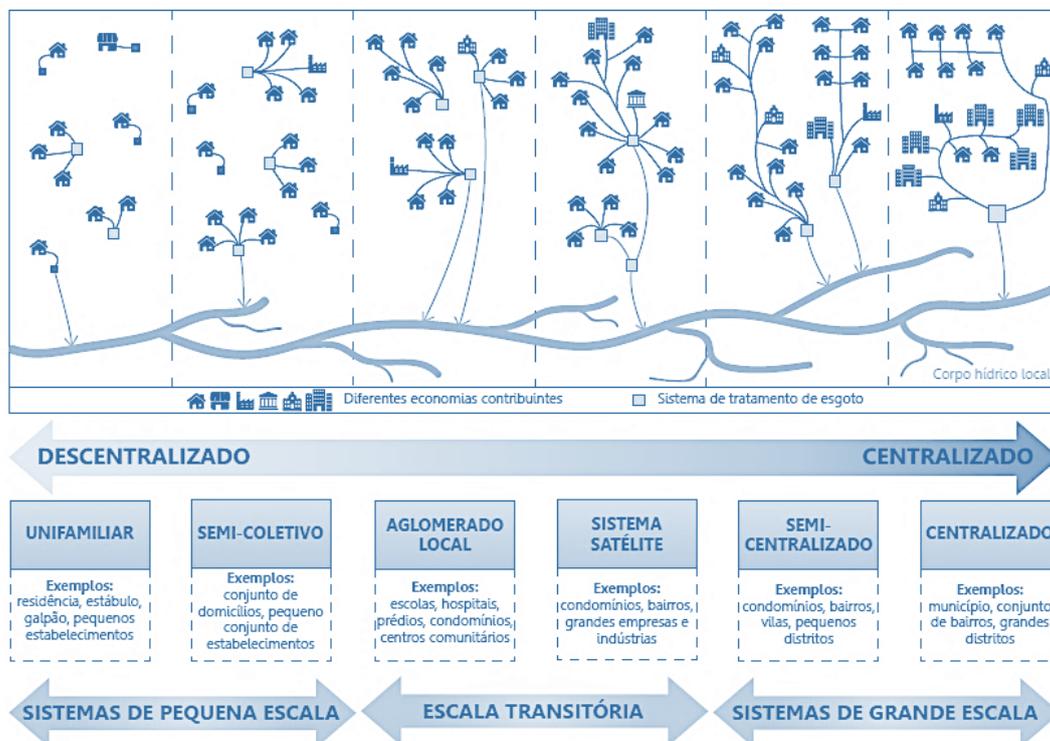
### **3.3. Sistemas de tratamento de efluentes**

Há dois modelos de sistemas de tratamento de esgoto que são utilizados atualmente: os centralizados e os descentralizados. Os sistemas centralizados, também chamados de convencionais, consistem na coleta de grandes volumes de águas residuárias que são tratadas e descartadas distantes da fonte de geração. Já os descentralizados são definidos pelos processos de coleta, tratamento e disposição/reutilização de esgotos realizados próximos às fontes de geração (LIBRALATO; GHIRARDINI; AVEZZÙ, 2012).

Figueiredo (2019) destaca que há várias propostas de classificação e nomenclaturas para os sistemas descentralizados, compondo uma ampla gama de possibilidades que se enquadram entre os dois extremos do tratamento de efluentes: pequenos sistemas descentralizados (sistemas individuais/unifamiliares) e grandes sistemas centralizados (estações de tratamento de esgoto).

Tendo em vista facilitar a compreensão das possibilidades existentes, (TONETTI et al., 2018) adaptaram o conteúdo (Figura 6), do trabalho de Bueno (2017):

**Figura 6.** Graus de centralização e descentralização de sistemas de tratamento de esgoto.



Fonte: Tonetti et. al., 2018, adaptado de Bueno, 2017.

Algumas diferenças entre esses sistemas devem ser ressaltadas, principalmente no que diz respeito aos aspectos social, econômico, ambiental e operacional. Os sistemas convencionais, apresentam as seguintes características:

*“Sistemas centralizados estão geralmente associados a regiões metropolitanas ou grandes cidades, com extensa rede coletora e bombeamento para transporte, além de estações de tratamento de esgoto (ETE) de grande porte, as quais frequentemente estão associadas a sistemas convencionais de tratamento, com uso intensivo de energia, geração excessiva de lodo e certas dificuldades operacionais, consideradas mais sofisticadas; portanto, com necessidade de maior aporte de capital para a construção e custos significativos para operação e manutenção”.*  
(SANTOS, 2019)

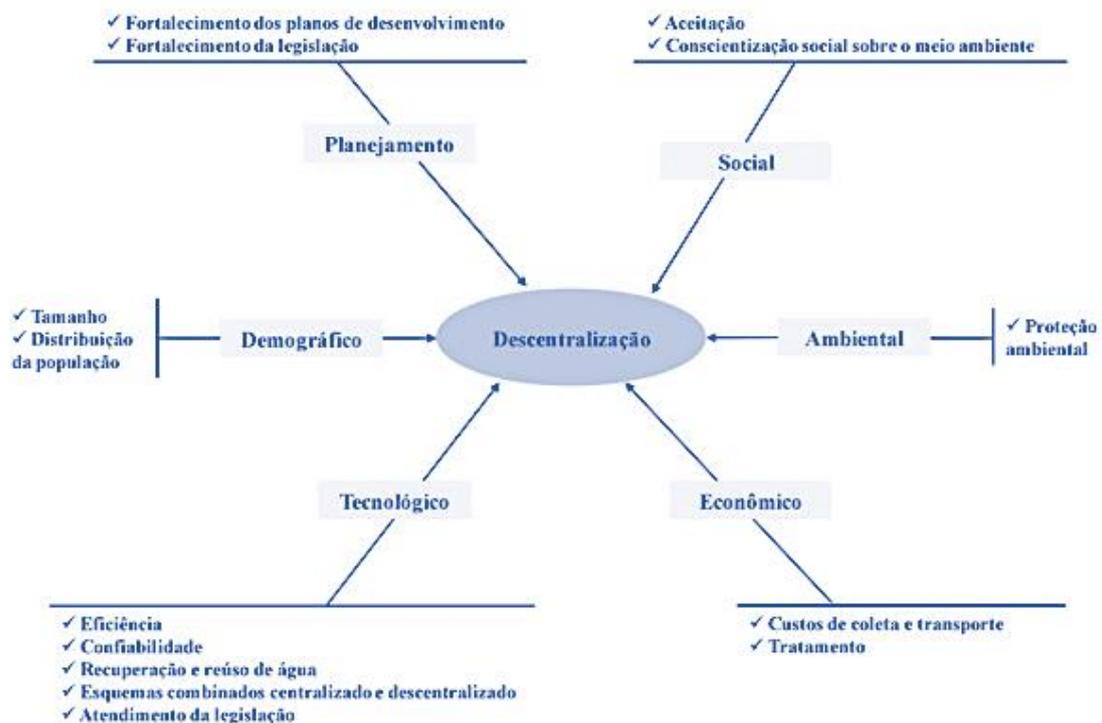
Enquanto os sistemas descentralizados diferem nos quesitos descritos abaixo:

“Sistemas descentralizados estão geralmente associados a sistemas alternativos com custos de implantação e operação reduzidos, menor porte e tratamento de esgoto no próprio local da comunidade servida. Em geral, as redes coletoras têm extensão reduzida e o tratamento é mais simplificado. Até recentemente, os sistemas descentralizados foram a opção preferencial, no caso de regiões metropolitanas, para atender zonas periféricas, habitações subnormais, vilas e conjuntos habitacionais distantes e áreas de baixa renda, ou seja, sistemas isolados, não interligados aos sistemas centralizados de maior porte”.(SANTOS, 2019)

### 3.4. Análise de viabilidade

Então, como saber se o sistema descentralizado é mais viável para determinado uso ou não? A adoção de quaisquer dos sistemas envolvem uma série de questões que, de acordo com Subtil, Sanchez e Cavalhero (2016), devem ser levadas em consideração. A figura 7 esquematiza as questões abordadas antes da escolha de um sistema descentralizado. Porém, tal análise pode ser utilizada para os demais sistemas.

Figura 7. Questões-chave para a escolha da descentralização.



**Fonte: Subtil, E.; Sanchez, A. e Cavalhero, A., adaptada de Bernal e Rastrepo (2012).**

Atualmente, na área técnica e econômica, existem inúmeras ferramentas que auxiliam o responsável pela tomada de decisão a optar por um sistema, descartando os demais. Como exemplo, temos a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) que é conceituada por Frazão et al (2008) como um instrumento científico qualitativo e quantitativo, que avalia todos os estágios do ciclo de vida e tipos de impactos ambientais direcionados ao produto, com o intuito de levantar e interpretar os aspectos e impactos potenciais envolvidos em todo o processo; aprimorar o processo produtivo e os produtos de uma empresa; comparar, de uma forma integrada, o desempenho ambiental de seus produtos; auxiliar na tomada de decisões da indústria, do governo e das ONGs, na definição de prioridades e no desenvolvimento de projetos e processos; fornecer informações referentes aos recursos utilizados no consumo de energia e nas emissões de poluentes; subsidiar as estratégias de marketing (comparação de produtos, rotulagem e declarações ambientais), gerando uma diferenciação na competitividade dos produtos no mercado cada vez mais exigente.

Dentre os métodos de Análise Econômica, os que se destacam pela popularidade são o Valor Presente Líquido (VPL) e o *Payback*. O VPL de um projeto de investimento pode ser definido como a soma algébrica dos valores descontados do fluxo de caixa a ele associado. Em outras palavras, é a diferença do valor presente das receitas menos o valor presente dos custos (SILVA e FONTES, 2005). Já o *Payback* é o método que representa o tempo médio em anos para recuperar o investimento inicial (BRIGHAM; GAPENSKI; EHRHARDT, 2001). O uso de tais ferramentas juntamente com a análise das demais questões – chave permitem atestar a viabilidade de um sistema de tratamento de efluentes.

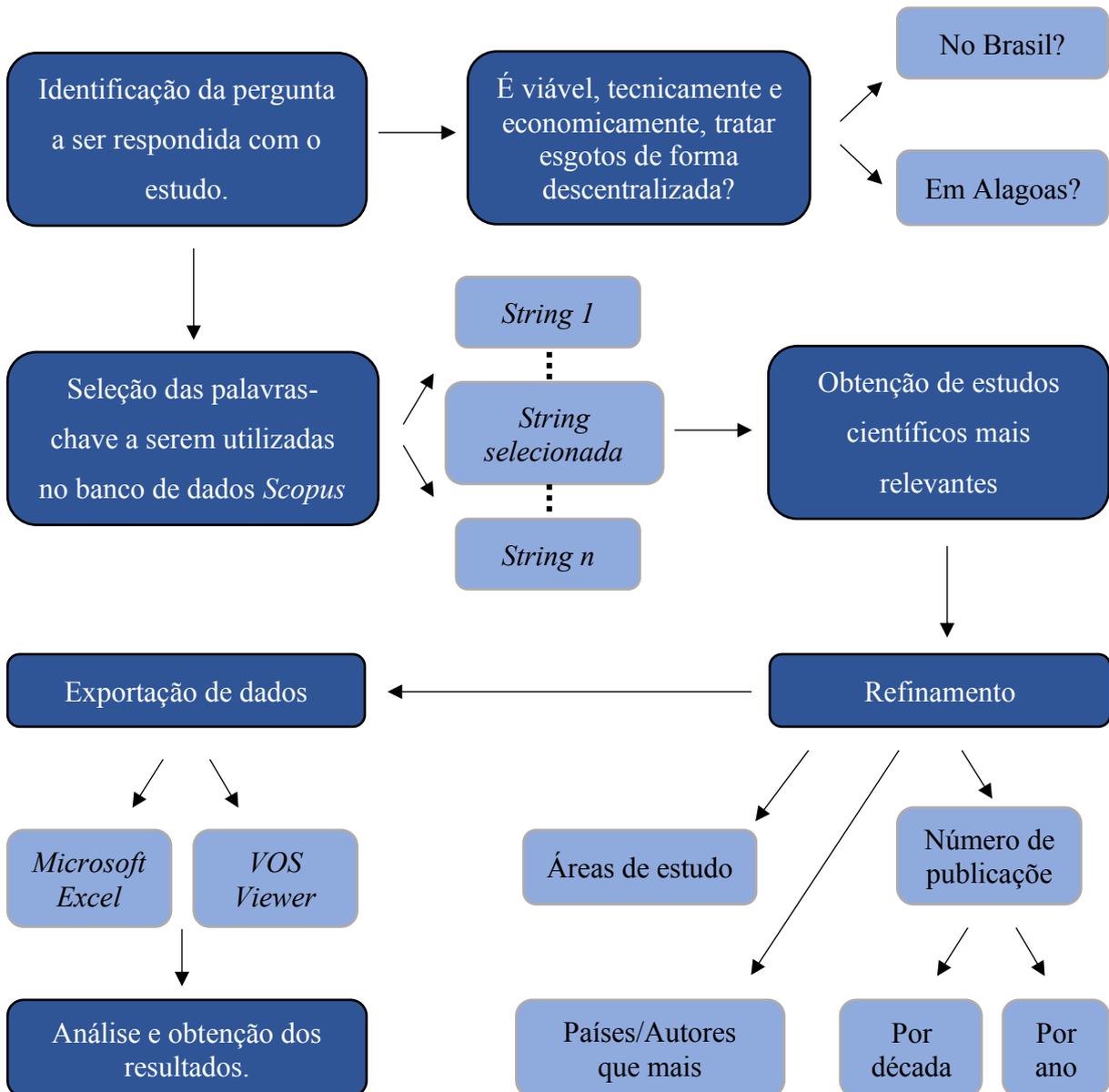
### **3.5. Revisão bibliométrica**

A revisão bibliométrica é um método planejado para responder a uma pergunta específica, possibilitando a coleta, seleção e análise crítica de estudos. Os artigos provenientes de estudos originais disponíveis em um banco de dados são as fontes para o estudo bibliométrico. Difere da revisão bibliográfica tradicional, pois essa apenas possibilita uma visão geral sobre assuntos específicos e é usada como argumento para novas pesquisas (BOTELHO et al., 2011).

#### 4. METODOLOGIA

A metodologia desse estudo consiste nas ações expostas no fluxograma que segue:

**Figura 8.** Fluxograma da metodologia aplicada para a revisão sistemática e bibliométrica.



Fonte: Autora (2022).

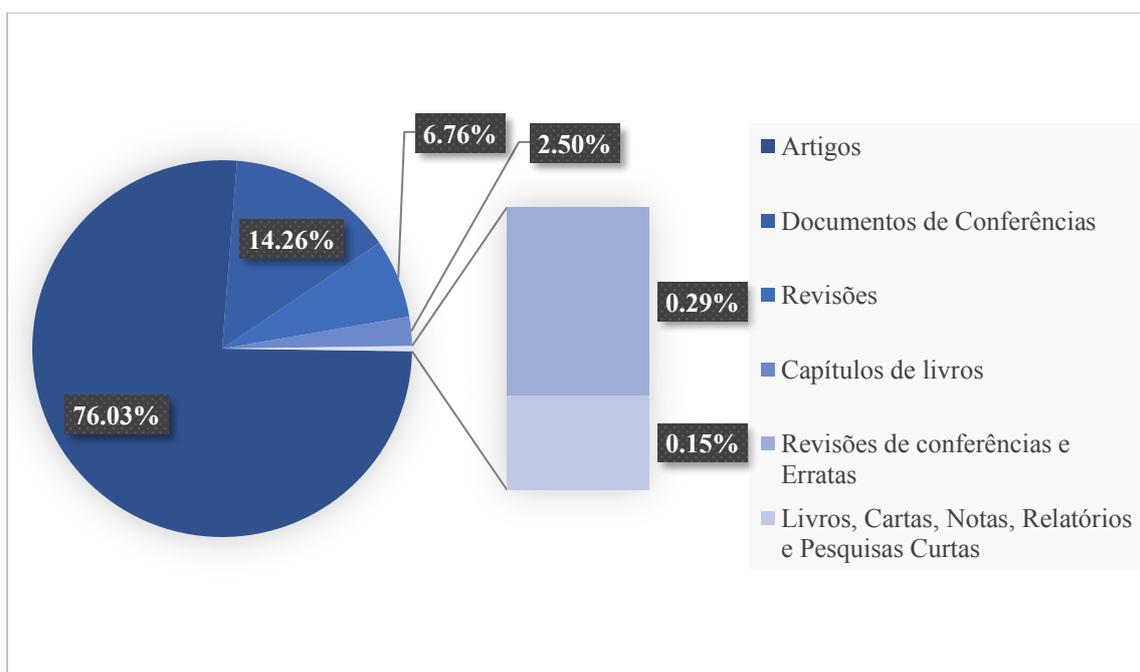
De acordo com o exposto na seção 3.6, necessita-se obter com o estudo, a resposta para uma pergunta específica. Analisando o tema a ser estudado, chegou-se a seguinte pergunta: “É viável, tecnicamente e economicamente, tratar esgotos de forma descentralizada?” Para responder tal indagação será feita uma pesquisa no banco de dados de literatura acadêmica *Scopus*, um dos produtos oferecidos pela empresa europeia

Elsevier, que pode ser acessado pelo portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Com essa ferramenta é possível ter acesso a vários conteúdos produzidos nacionalmente e internacionalmente, que estão relacionados ao tema que se pretende estudar, através da combinação de palavras-chave, as chamadas *strings*. A título de exemplificação, foram testadas inicialmente, no dia 26/01/2022, duas *strings*: “*descentralized*” and “*sewage*” and “*treatment systems*” and “*feasibility*” or “*analysis*”, que retornou 2.090 periódicos, dentre os quais 1.479 eram artigos acadêmicos; e, “*descentralized treatment*” and “*sewage*” and “*feasibility*” or “*analysis*”, que retornou 312 periódicos, sendo 239 artigos acadêmicos.

Analisando os resultados obtidos com as pesquisas anteriormente citadas, fez-se necessário uma investigação dos termos mais utilizados na área, tendo em vista chegar a uma combinação em que artigos fossem mais relevantes para o tema da pesquisa. No dia 21/06/2022 foi utilizada a *string*: “*wastewater treatment plant*” and “*decentralized*” or “*economic analysis*” or “*economic feasibility*” or “*technical analysis*” or “*technical viability*” or “*technical feasibility*”, que retornou 686 periódicos com a distribuição por tipo de documento ilustrada na Figura 9.

**Figura 9.** Distribuição dos resultados da pesquisa por tipo de documento.



Fonte: Autora (2022).

Considerando que a maior porcentagem de periódicos é de artigos científicos, utilizou-se estes documentos como base para a análises das áreas de interesse. São elas: as áreas de estudo, países e autores que mais publicam sobre o tema, a quantidade de publicações e o avanço do tema com o decorrer dos anos. A partir da obtenção dos dados, com o auxílio dos softwares *Microsoft Excel* e *VOSViewer*, chegou-se aos resultados apresentados na seção a seguir.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

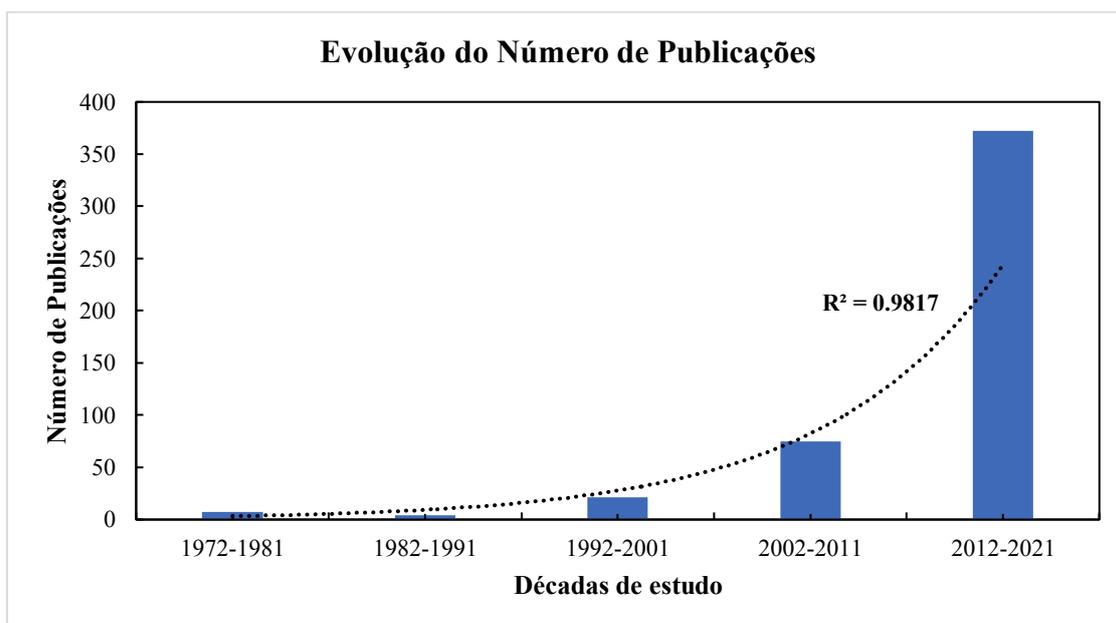
### 5.1. Análise Temporal

O ano de início dos estudos sobre a temática de viabilidade dos sistemas de tratamentos descentralizados foi 1972. Nesse ano, apenas um artigo foi publicado, intitulado “*Emerging water quality criteria considerations*”, do autor Dugan, G.L.

O ano de 1972, segundo Passos (2009), foi marcado pela Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano, mais comumente conhecida como Conferência de Estocolmo, primeira grande iniciativa internacional de proteção ao Meio Ambiente. Na época, a comunidade internacional caminhava para uma nova perspectiva, derivada da constatação da finitude dos recursos do planeta, que foi para alguns a imagem que mudou consideravelmente a maneira pela qual a humanidade começava a perceber e reconhecer os limites do planeta em que habitava.

A partir de 1995 o espaço temporal entre as publicações foi diminuído, culminando em um aumento exponencial de produção de conteúdo relacionado ao tema. A fim de se ter uma visão mais clara da evolução do número de publicações, dividiu-se os anos em intervalos, com dez anos cada. Tal evolução, dada de forma exponencial, pode ser visualizada na figura 10.

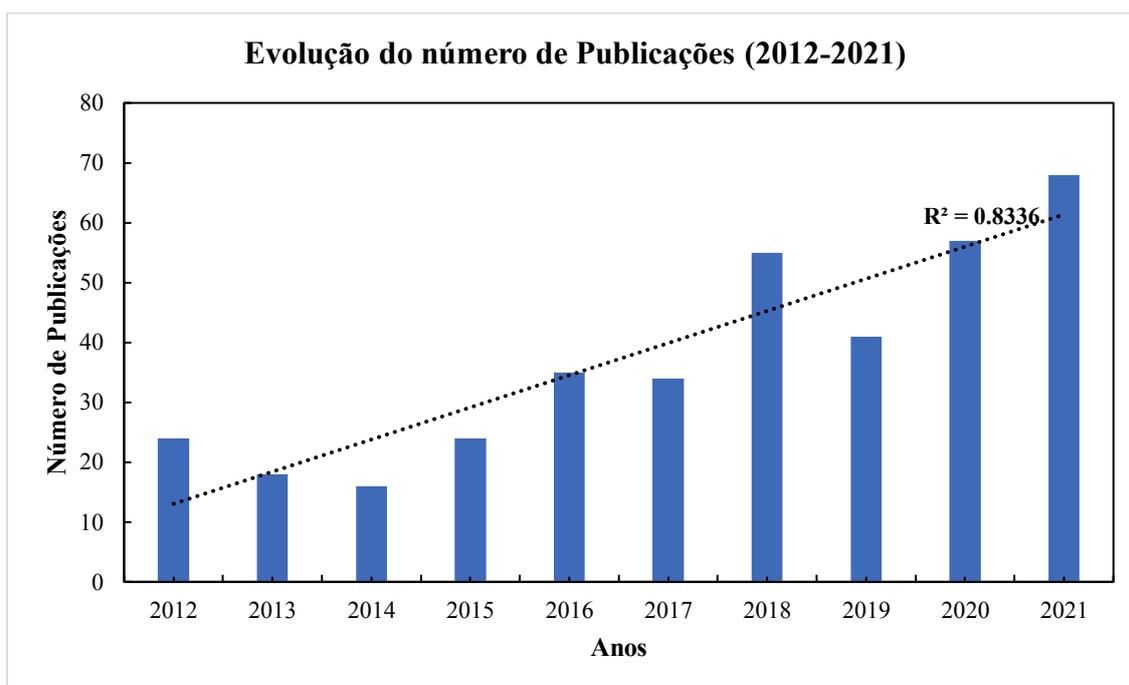
**Figura 10.** Evolução do número de publicações a partir do ano da primeira publicação.



Fonte: Autora (2022).

Como observa-se na figura anterior, o ápice de publicações ocorreu no período de 2012 a 2021, chegando a um total de 372 publicações. Vale ressaltar que no ano de 2022, até o mês de junho, foram publicados 38 artigos, superando o número de publicações de alguns dos anos anteriores, reforçando a tendência de crescimento exponencial mostrado na figura 11.

**Figura 11.** Evolução do número de publicações nos últimos dez anos.



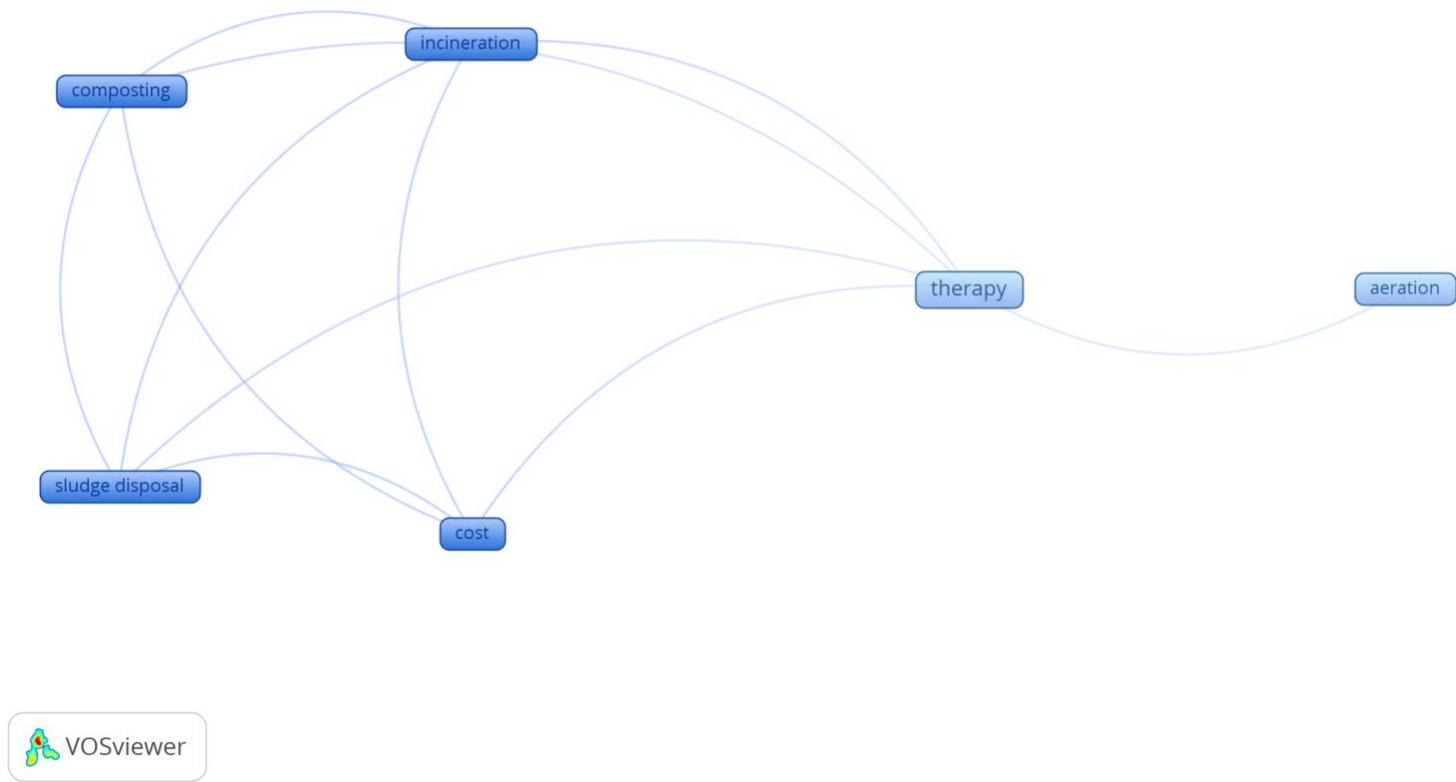
Fonte: Autora (2022).

### 5.1.1. Primeira década de estudo (1972-1981)

A primeira década, impulsionada pelo desenvolvimento de uma consciência ecológica, conta com uma quantidade discreta de publicações (07 artigos), focados principalmente no aspecto técnico e na saúde ambiental, visto que as áreas de estudo representadas em percentual são: 44,4% engenharias, 33,3% ciências ambientais e 22,2% medicina.

As palavras-chave utilizadas nesse período estão apresentadas na figura 12. Utilizou-se para filtro de ocorrências de palavras a quantidade mínima de 01 (uma) ocorrência e, das 23 palavras apresentadas, foram selecionadas as 06 mais relevantes, a fim de demonstrar a tendência de estudo no período.

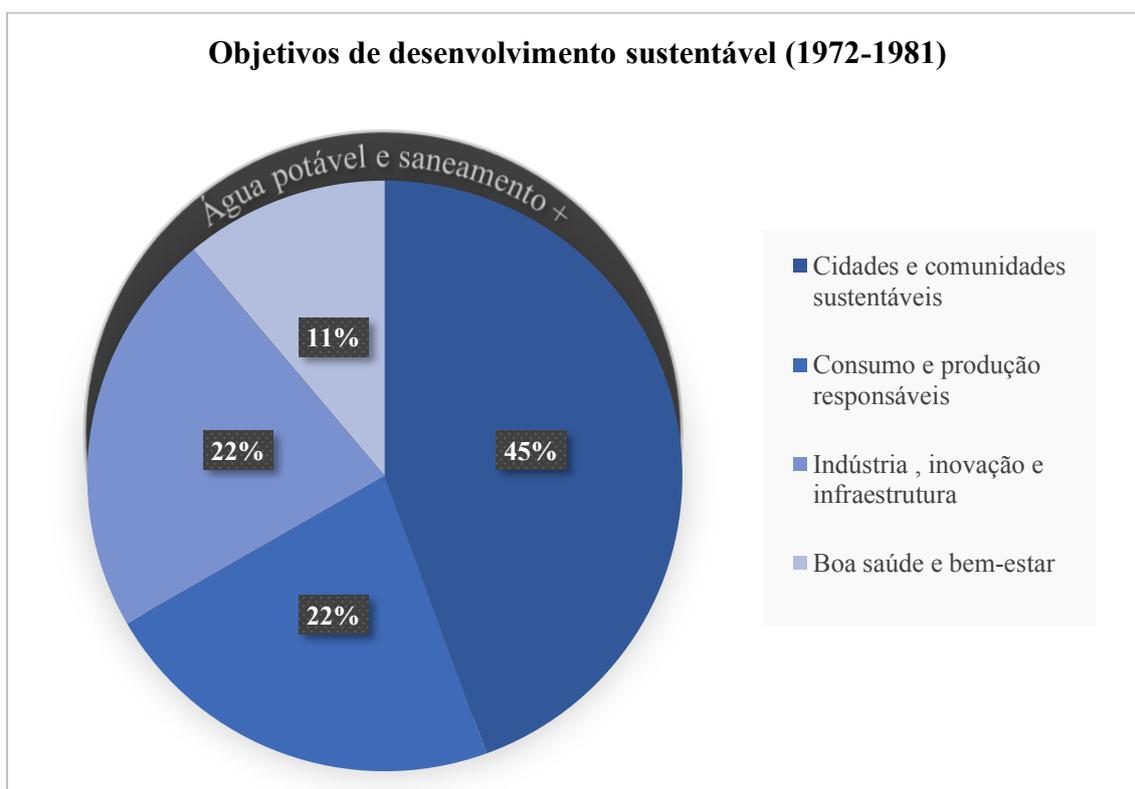
**Figura 12.** Palavras-chave da primeira década de estudo (1972-1981).



Fonte: Autora (2022).

Outro dado importante extraído da base de dados *Scopus* são os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) estabelecidos em 2021. Os artigos da década apresentam temas relacionados aos seguintes objetivos (figura 13). Vale ressaltar que todos os artigos apresentam o objetivo água potável e saneamento que visa a garantia da disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos (ONU, 2022).

**Figura 13.** Objetivos para o desenvolvimento sustentável presentes nas publicações no período de 1972-1981.



**Fonte:** Autora (2022).

Tendo em vista que não há artigos com acesso aberto nesse período, pode-se destacar dois artigos com base nos resumos divulgados. O primeiro, de ADAMS E GEMMELL (1973), realiza uma análise estatística em estações de tratamento de esgotos relacionadas regionalmente e destaca que em seus resultados os sistemas de tratamento descentralizados podem diminuir altos picos de variabilidade de carga de resíduos, visto que a utilização de várias plantas com desempenho relativamente independente tende a resultar em um desempenho combinado com menos variância do que uma única planta (sistema centralizado).

O segundo, refuta a conclusão do artigo citado anteriormente, visto que ao realizar uma relação de capacidade de projeto com a qualidade dos efluentes, HEATH (1980) conclui que as plantas pequenas, tem um desempenho melhor em relação às plantas grandes. Heath destaca ainda que o tratamento descentralizado surge como ambientalmente superior, pois apresenta vantagens indiscutíveis de carga de resíduos espacialmente dispersa e impacto hidrológico mínimo.

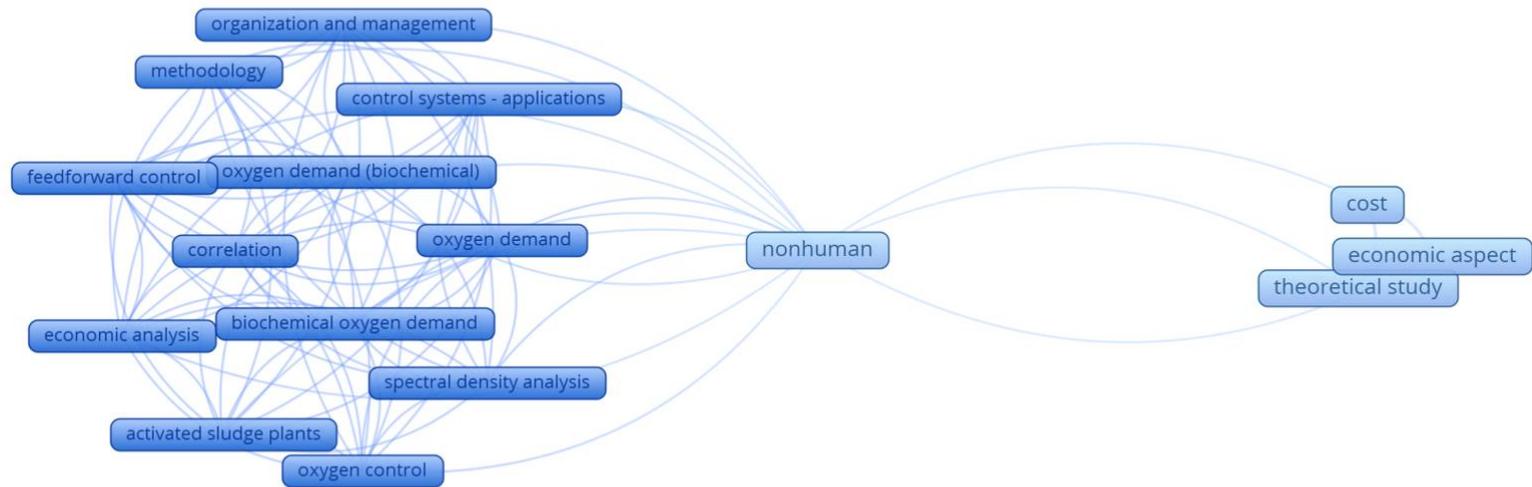
Sendo assim, os artigos do período em questão indicam que as estações descentralizadas de tratamento de esgoto possuem resultados satisfatórios, considerando o aspecto técnico. Tais discussões e comparações com o sistema centralizado, inseriram a temática na pesquisa científica e fomentaram o estudo de novas ferramentas de análise, em outros aspectos, a fim de comprovar a viabilidade desse sistema.

### **5.1.2. Segunda década de estudo (1982-1991)**

A segunda década apresentou uma redução no número de publicações, que foram de 07 - na década anterior - para 04 publicações. Nesse período, demonstrou-se um interesse maior na análise econômica e no aspecto químico do tratamento, visto que as áreas de estudo que obtiveram enfoque foram: 60,0% ciências ambientais, 20,0% engenharias e 20,0% química.

Essas observações refletem-se no mapa de palavras-chave da figura 14. Em que, para o filtro de ocorrência mínima de palavras utilizou-se 01(uma) ocorrência e, das 43 palavras apresentadas, foram selecionadas as 16 mais relevantes para o estudo. O software dividiu automaticamente em dois *clusters*, ou seja, dois aglomerados, de acordo com as relações apresentadas entre elas. O primeiro *cluster* apresenta 12 palavras relacionadas ao tratamento químico e o segundo *cluster* é constituído de 04 palavras com enfoque no aspecto econômico.

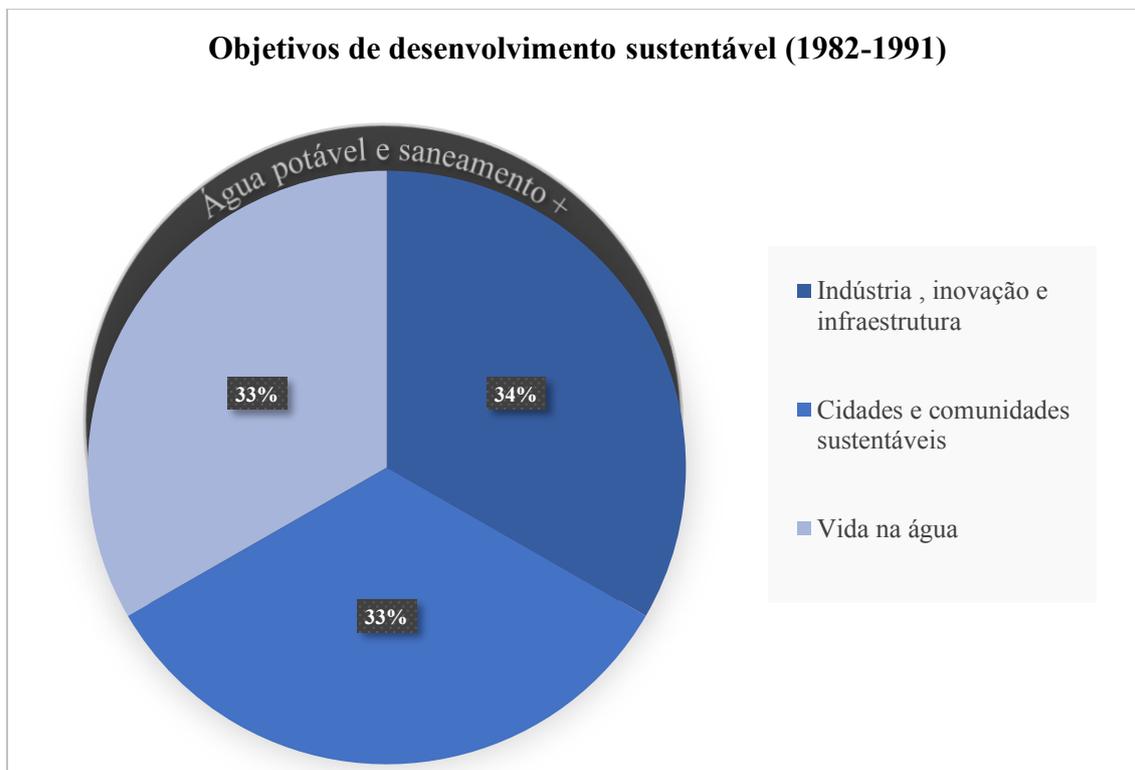
**Figura 14.** Palavras-chave da segunda década de estudo (1982-1991).



Fonte: Autora (2022).

A seguir, está a figura 15 que mostra os ODS abordados pelos artigos publicados nesse período. Vale ressaltar o surgimento da preocupação com a conservação das vidas nas águas.

**Figura 15.** Objetivos para o desenvolvimento sustentável presentes nas publicações no período de 1982-1991.



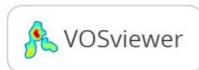
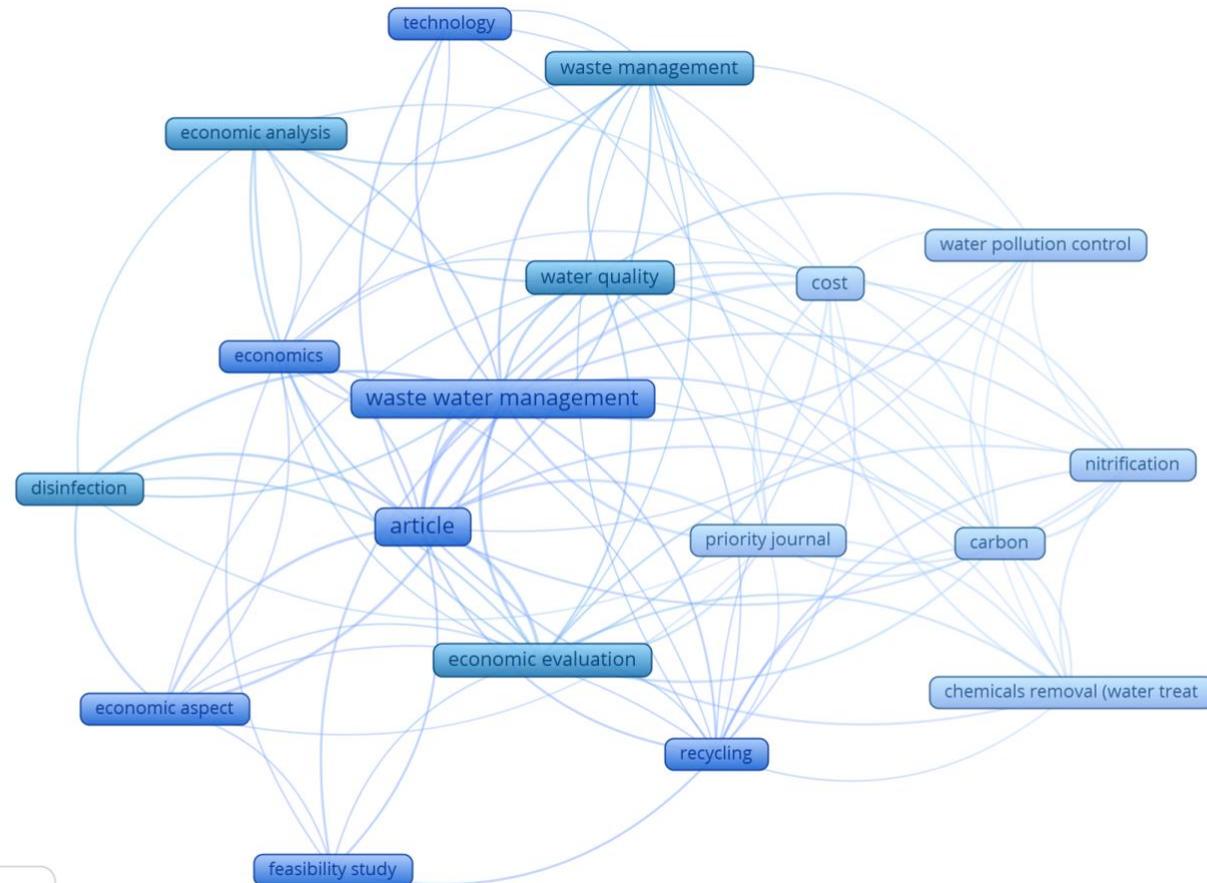
Fonte: Autora (2022).

Porém, quanto a afinidade com a temática estudada, não se nota avanços na busca pela afirmação da viabilidade dos sistemas de tratamento descentralizados, visto que os artigos, em sua maioria, discutem análises econômicas de novas tecnologias de tratamento de esgoto, sem levar em consideração a estruturação do sistema.

### 5.1.3. Terceira década de estudo (1992-2001)

A terceira década conta com o surgimento expressivo da palavra gestão (figura 16), avançando no sentido da descentralização e da reutilização de materiais e água. As áreas de estudo aumentaram consideravelmente, tendo destaque as ciências ambientais (44,7%), engenharia química (13,2%), química (7,9%) e ciências da terra, energia, engenharias e ciências dos materiais (5,3%).

Figura 16. Palavras-chave da terceira década de estudo (1992-2001).



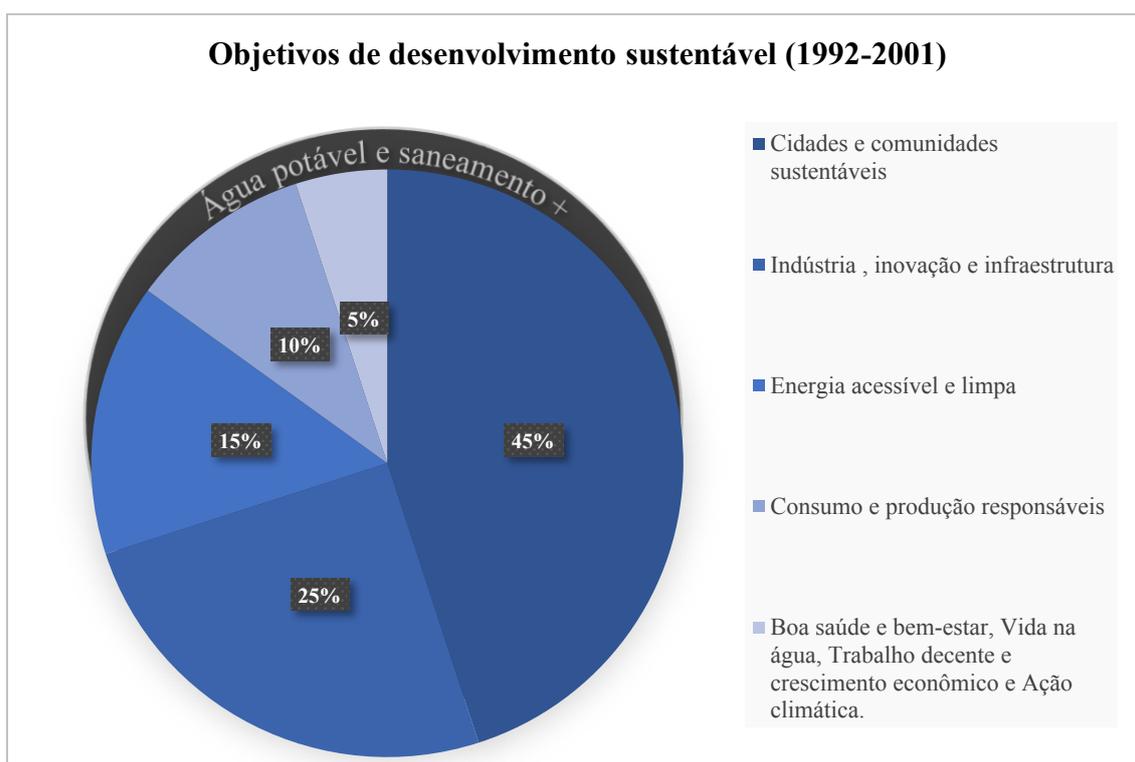
Fonte: Autora (2022).

O mapa de palavras-chaves, apresentado na figura 16, conta com as 18 palavras mais relevantes, extraídas das 28 resultantes após a aplicação do filtro de ocorrência mínima (03 ocorrências). Essas palavras foram divididas em três *clusters*, porém apresentam-se bem correlacionadas entre si, diferente do que ocorreu na década anterior.

O primeiro *cluster* conta com 07 palavras, o segundo apresenta 06 palavras e o terceiro, 05 palavras. Como destaque tem-se a palavra “*waste water management*”, ou seja, gestão de águas residuais, que aparece com a fonte maior (grande número de ocorrências) e mais ao centro das relações, indicando que está relacionada com a maioria das palavras que aparecem no mapa.

No que tange os ODS, nota-se, com a figura 17, uma crescente no objetivo indústria, inovação e infraestrutura, como também o aparecimento dos objetivos: energia acessível e limpa; trabalho decente e crescimento econômico; e, ação climática.

**Figura 17.** Objetivos para o desenvolvimento sustentável presentes nas publicações no período de 1992-2001.



Fonte: Autora (2022).

Dos artigos do período, quatro se destacaram pela consonância com o tema. METCALFE (1995) publicou o artigo intitulado “Investindo em técnicas de águas residuais aquícolas para melhoras a qualidade da água: um estudo de caso da comunidade

costeira”, em que é realizado um estudo da viabilidade econômica do uso da aquicultura, ou seja, do uso de organismos aquáticos, para melhoria da qualidade de efluentes das lagoas de estabilização da comunidade. Nesse estudo, foi feita uma análise econômica completa, considerando os custos de construção e instalação e as receitas geradas pela venda dos peixes cultivados, culminando em um resultado positivo de retorno econômico para os moradores da cidade, após a implantação do sistema.

Em outro estudo de caso, OTTERPOHL, GROTTKER E LANGE (1997), elaboram um projeto piloto para um assentamento com cerca de 300 habitantes em Lubeck, Alemanha, em alternativa ao caro sistema centralizado de esgoto. O projeto prevê um sistema integrado com vasos sanitários a vácuo e tubulações para coleta de água preta que, após a coleta, é misturado a resíduos biológicos triturados para alimentar uma usina de biogás, visando a produção de fertilizante líquido. Para as águas cinzas, os autores adotaram sistemas de biofilme e para as águas pluviais, um sistema de trincheiras.

Seguindo na mesma linha de raciocínio, WILDERER E SCHREFF (2000) defendem em seu artigo o desenvolvimento e a aplicação de estações de tratamento no local onde são geradas as águas residuais. Mesmo com a necessidade de altas tecnologias, projetadas e fabricadas por métodos industriais modernos, os autores afirmam que se estas tecnologias forem produzidas em massa, de forma que, ao sair da fábrica, estejam prontas para serem utilizadas pelos usuários, os custos serão relativamente baixos. Com isso, o sistema de gestão descentralizado seria mais viável economicamente.

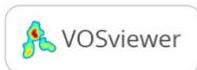
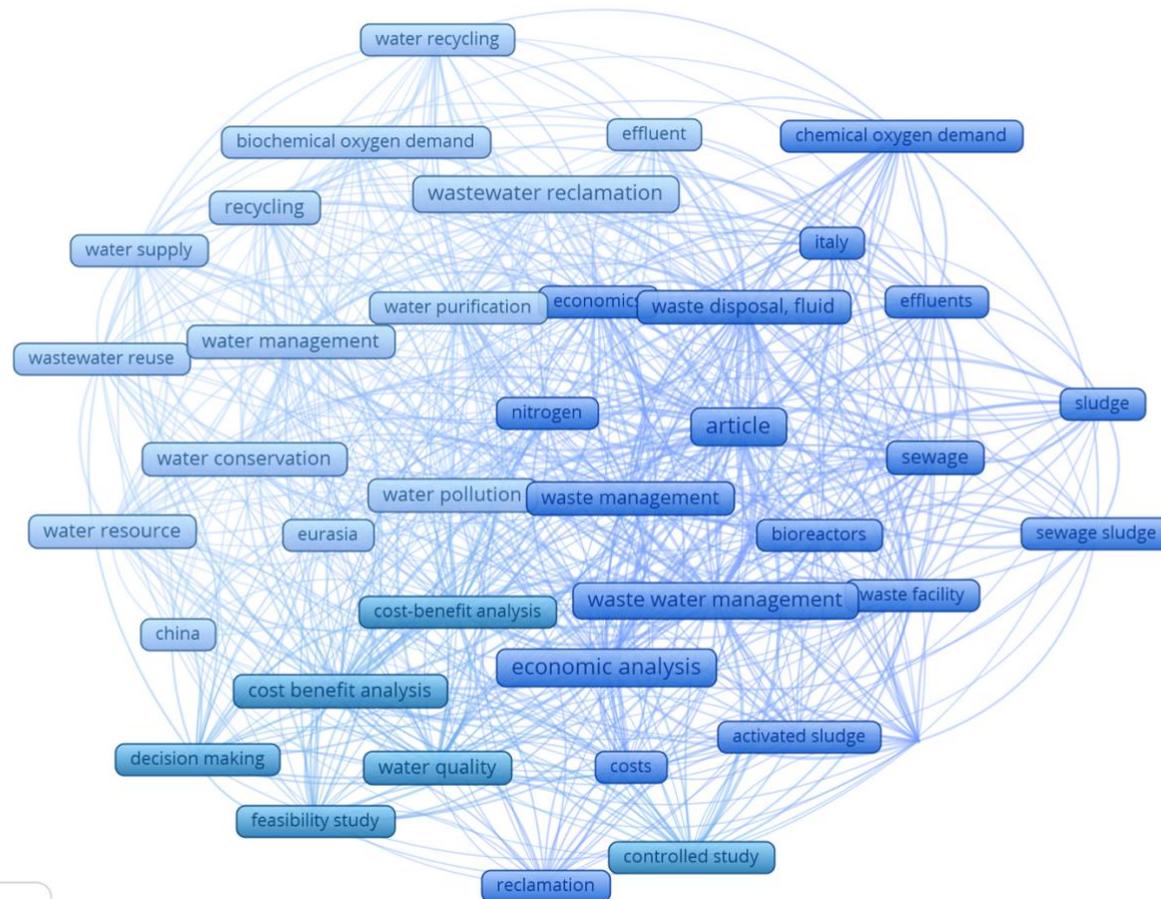
Para finalizar, VAN TOMME, PIETERS E VERSTRAETE (2001) trazem uma problemática. Em seu artigo, são tratados os critérios de operação, desempenho, aspectos tecnológicos e custos das estações de tratamento de águas residuais individuais na Flandres, Bélgica. Segundo eles, os custos totais de capital e operação podem ser da mesma ordem de sistemas centralizados, o desempenho é considerado bom, mas a qualidade do efluente difere dependendo do cuidado e da atenção dados pelo proprietário. Por isso, consideram essencial a gestão logística de controle de desempenho adequado.

#### 5.1.4. Quarta década de estudo (2002-2011)

O período compreendido entre 2002 e 2011, além das tendências apresentadas nos períodos anteriores, ressalta a utilização da ferramenta de análise denominada análise de custo-benefício (ACB). Como também trás à tona a união das palavras Europa e Ásia (EURASIA), presente no mapa de palavras-chave da figura 18, demonstrando que os países que compõem esses continentes passaram a ser grandes produtores científicos nesse intervalo de tempo.

O mapa citado foi resultado da seleção das palavras que apresentaram número de ocorrência superior a cinco. Das 68 palavras resultantes, as que apresentaram maior importância foram as 39 palavras presentes na figura 18. Estas foram divididas em 03 *clusters*: o primeiro com 19 palavras, tem foco na qualidade da água; o segundo, que possui 14 palavras, aborda o aspecto econômico e o tratamento químico; e, o último *cluster* destaca o processo de decisão através das análises de custo-benefício.

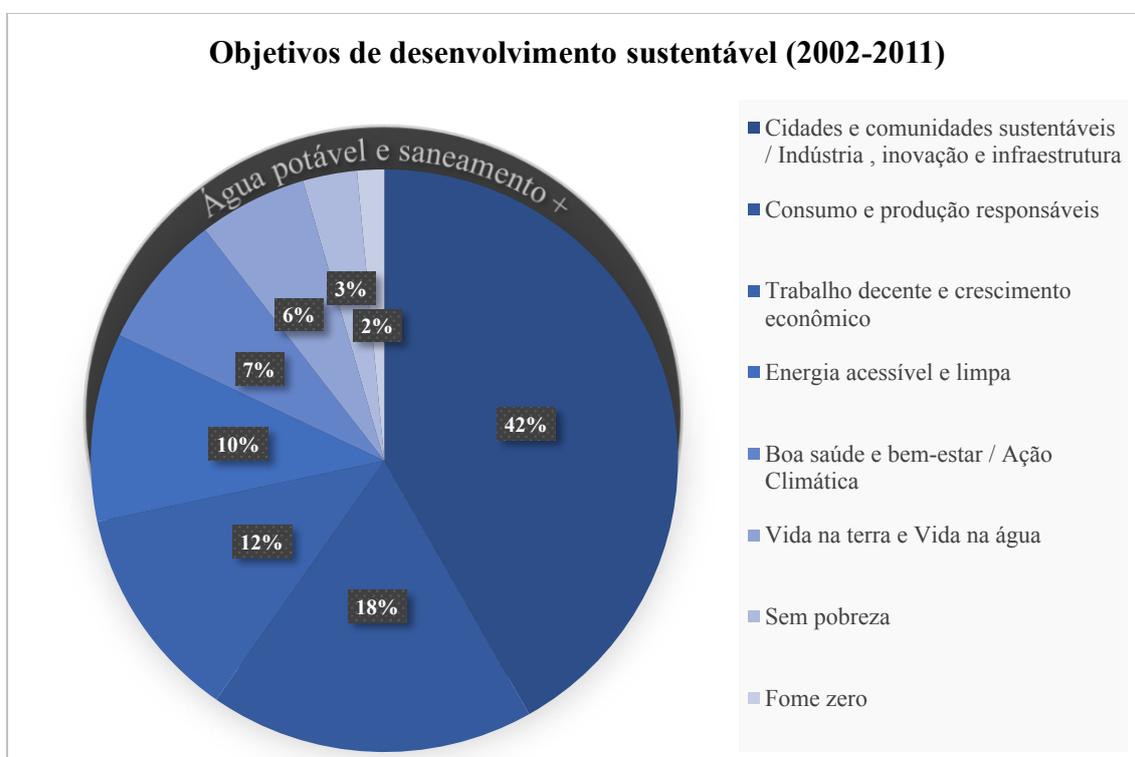
Figura 18. Palavras-chave da quarta década de estudo (2002-2011).



Fonte: Autora (2022).

No que concerne às áreas de estudo, faz-se constar as principais, com a seguinte composição: ciências ambientais (49,6%), engenharia (14,8%), engenharia química (10,4%), química (6,7%), ciências sociais (3,7%), energia e ciências dos materiais (3,0%). Destaca-se nessa composição a inserção das ciências sociais que, ainda não haviam sido associadas ao tema. Em consonância a essa constatação está o conteúdo da figura 19, visto que dos 17 ODS, 12 estão relacionados aos artigos publicados nessa década, afirmando a extensão da temática, que abrange desde o aspecto ambiental até o aspecto socioeconômico.

**Figura 19.** Objetivos para o desenvolvimento sustentável presentes nas publicações no período de 2002-2011.



Fonte: Autora (2022).

Após leitura dos artigos da década, destaca-se um estudo de caso feito na Jordânia, pelo Jordan Traffic Institute (JIT). Nele, ABBASSI (2008) faz a avaliação de desempenho de uma estação descentralizada de águas residuais de lodo ativado por leito fixo como solução ao alto custo do sistema centralizado. O sistema descentralizado trata uma média de 100 m<sup>3</sup>/d de águas residuais domésticas e apresentou eficiência total de remoção de 97,5% de DBO5, redução de 97% da concentração de amônia e 80% de redução na concentração de fósforo em 12 meses de monitoramento. Foi feita também uma análise

do solo após irrigação e, comparado a irrigação com água de poço, o teor orgânico no solo foi aumentado, mostrando-se como uma opção viável para reuso local de águas residuais.

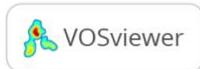
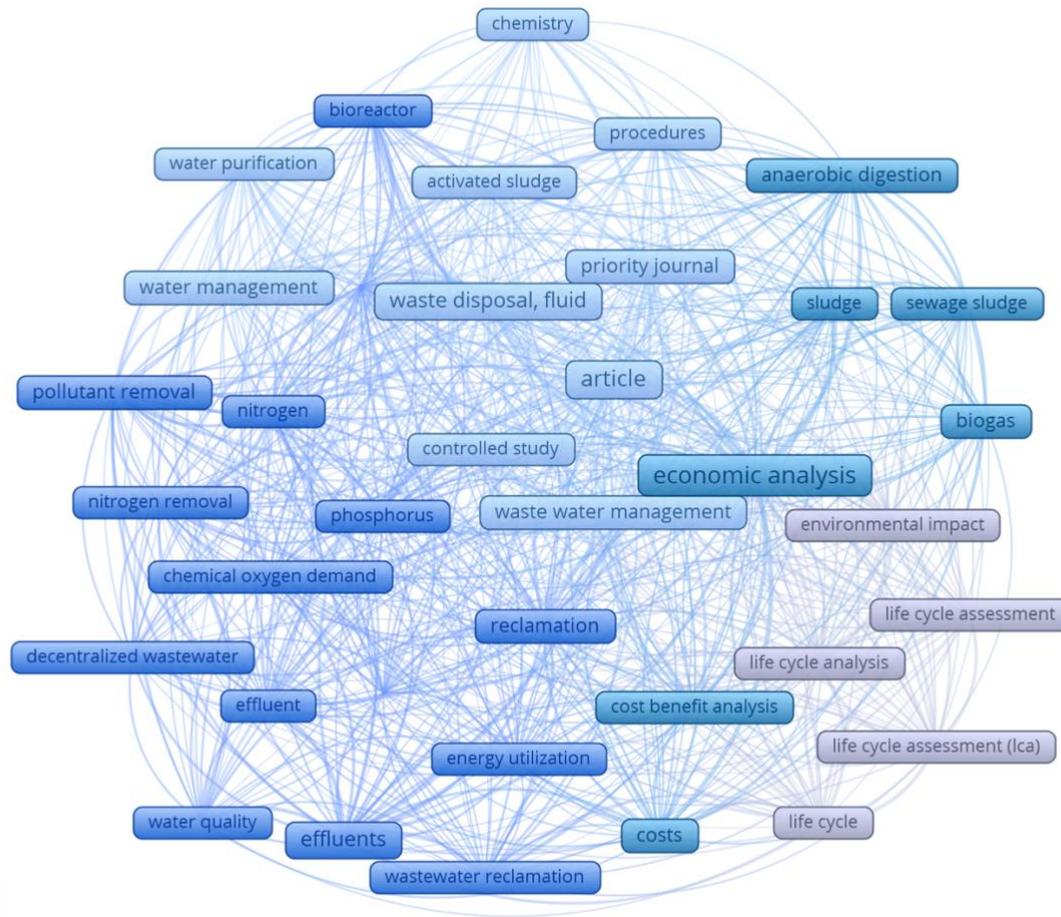
No mesmo ano, LIM, PARK D. E PARK J.M. (2008), fizeram um estudo de viabilidade ambiental e econômica de um sistema total de rede de tratamento de águas residuais em uma usina siderúrgica, sendo esse sistema composto por estações de tratamento distribuídas e terminais. Os métodos de avaliação utilizados foram a Análise do Ciclo de Vida (ACV) e o Custo do Ciclo de Vida (CCV) e o sistema estudado foi comparado a um sistema convencional de tratamento de águas residuais. No geral, o sistema descentralizado mostrou-se mais econômico, porém seu desempenho do ponto de vista ambiental anulou seu desempenho econômico.

O tema mais abordado foi a análise de custo-benefício (ACB) que, no artigo de YUAN, JIANG E BI (2010), é utilizada para comparar duas estratégias operacionais de sistemas de tratamento de águas residuais industriais: o modelo descentralizado e um modelo integrado, em que as ETEs são geridas e operadas por uma empresa. A análise de custo-efetividade mostra que o custo operacional do sistema descentralizado é menor que o do modelo integrado, porém o modelo integrado melhorou o desempenho das ETEs e reduziu efetivamente a descarga ilegal de águas residuais industriais.

#### **5.1.5. Quinta década de estudo (2012-2021)**

Os anos compreendidos entre 2012 e 2021 foram os que resultaram em mais periódicos, um total de 372 artigos. Foi necessário utilizar o filtro de 30 ocorrências como o valor mínimo para seleção das palavras-chave, ainda assim, o retorno foi de 50 palavras. Destas, 37 palavras apresentaram maior relevância e estão expostas na figura 20, divididas em quatro *clusters*. Nota-se uma crescente nos estudos de caso, uma preocupação maior com os impactos ambientais e o interesse na produção de energia renovável - o biogás – como alternativa para a redução de custos de operação nas estações de tratamento.

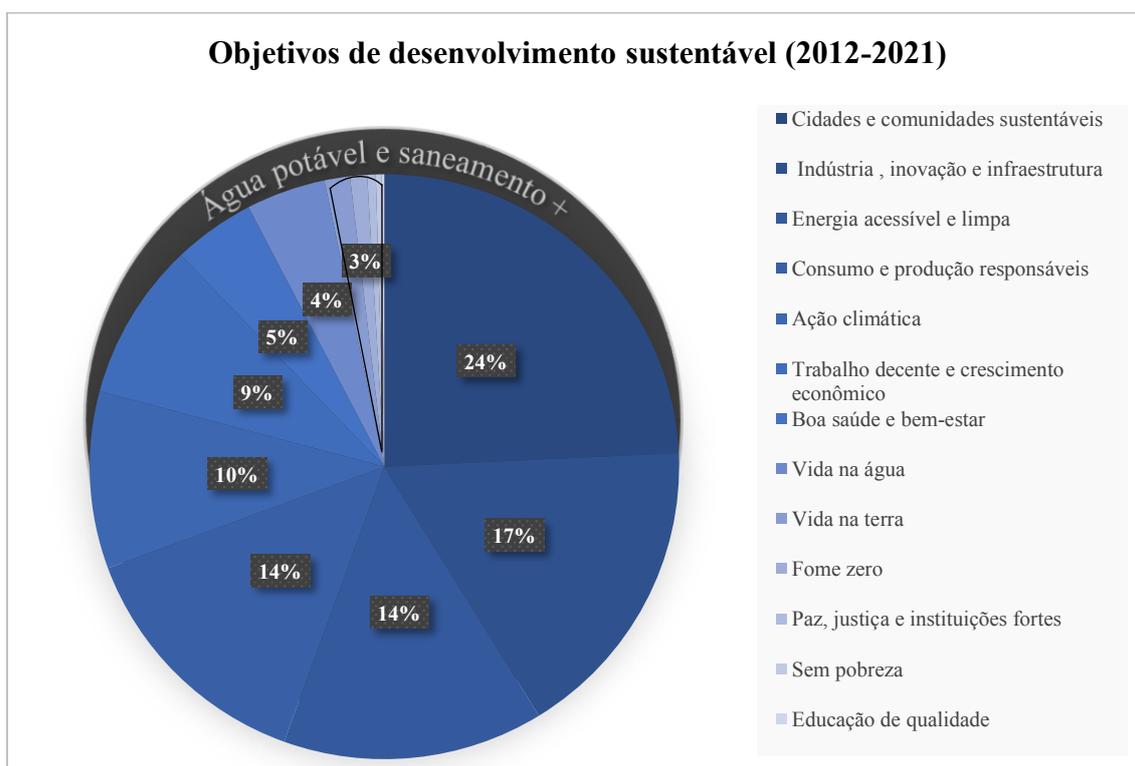
Figura 20. Palavras-chave da quinta década de estudo (2012-2021).



Fonte: Autora (2022).

As principais áreas de estudo do período são: ciências ambientais (42,6%), engenharia (12,9%), energia (10,3%), engenharia química (7,4%), ciências sociais (5,6%), química (3,8%) e bioquímica (3,6%). Da mesma maneira, temos a figura 21, que ilustra a composição dos ODS relacionados ao período, dentre elas, têm-se um aumento nos objetivos energia acessível e limpa e ação climática, reforçando as linhas de estudo identificadas na figura 20.

**Figura 21.** Objetivos para o desenvolvimento sustentável presentes nas publicações no período de 2012-2021.



Fonte: Autora (2022).

Um dos artigos mais relevantes ao tema estudado é o artigo de GONZÁLEZ-VIAR et al (2016) que realiza uma análise de custo-efetividade de estratégias centralizadas e descentralizadas de tratamento de águas residuais, visando melhoras o estado ecológico da bacia do Rio Arga, na Espanha. No referido estudo, foi realizada uma comparação entre um sistema com vários biorreatores de membrana híbrida dentro do quadro urbano para mineração de esgoto e uma ampliação da estação central de tratamento de águas residuais. Em suma, o sistema descentralizado se mostrou com o custo

mais elevado, porém com efetividade maior, sendo o mais indicado para atingir o objetivo de recuperação do rio.

GARFÍ, FLORES E FERRER (2017), por sua vez, realizaram um estudo avaliando o aspecto ambiental e econômico de três alternativas para o tratamento de águas residuais para pequenas comunidades: uma estação convencional e duas tecnologias baseadas na natureza (sistemas híbridos construídos de zonas úmidas construídas - *Wetlands* - e lagoas de algas de alta taxa). Foi usada a ACV e o resultado foi que os sistemas convencionais apresentaram de 2 a 5 vezes mais impacto ambiental em comparação com as outras tecnologias. Em termos de custos, o sistema convencional mostrou-se 2 a 3 vezes mais caro, fazendo com que os autores concluíssem que as tecnologias de zonas úmidas e lagoas são soluções apropriadas para pequenas aglomerações.

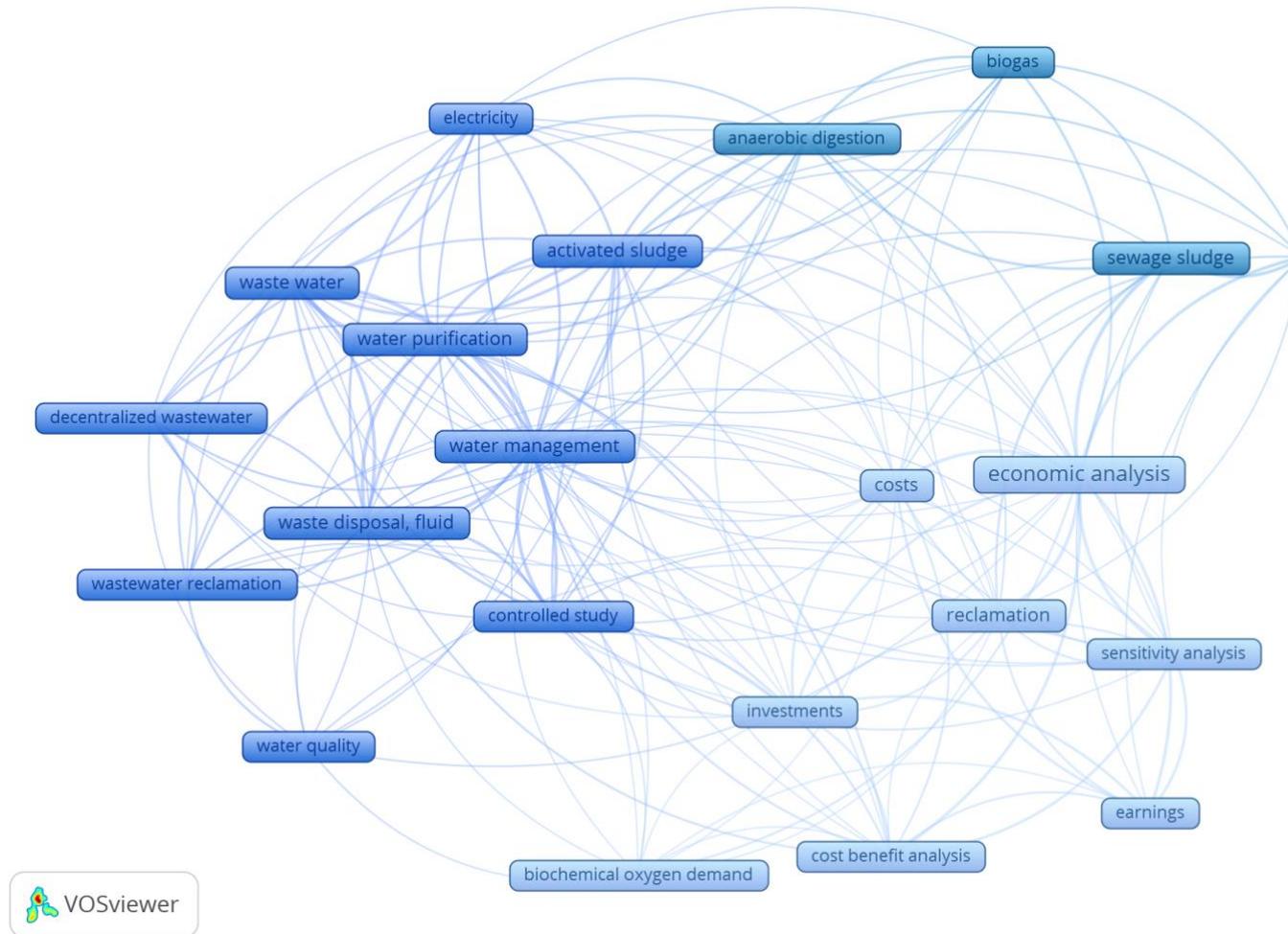
No Brasil, FERREIRA et al (2021) realizaram uma revisão sistemática dos últimos 20 anos de pesquisa sobre tratamento descentralizado. Utilizando o método de pesquisa de arquivo, chegaram à conclusão de que o interesse pelo tema é relativamente novo, pois só foram encontrados 45 artigos nas três bases de dados: *Scopus*, *Web of Science* e *Science Direct*. Vale ressaltar também que nenhum dos artigos avaliou os parâmetros de qualidade definidos pela legislação brasileira, não podendo afirmar se estes são viáveis para utilização no país. Além disso, segundo os autores, faz-se necessário uma investigação minuciosa quanto a confiabilidade dos custos, manutenção e as condições de operação para poder considerar esses sistemas uma alternativa aos sistemas centralizados.

#### **5.1.6. Ano atual (2022)**

Das publicações deste ano destaca-se a consolidação dos sistemas de tratamento de esgoto descentralizados tendo em vista um aumento na qualidade do tratamento dos efluentes, diminuindo os índices de microrganismos patogênicos destinados para os corpos hídricos e, a busca pela sustentabilidade das estações.

O mapa apresentado na figura 22 mostra as palavras-chave dos artigos publicados em 2022 que apresentam mais de quatro ocorrências. No total, tem-se 22 palavras, divididas em três *clusters* que reforçam a tendência destacada no parágrafo anterior.

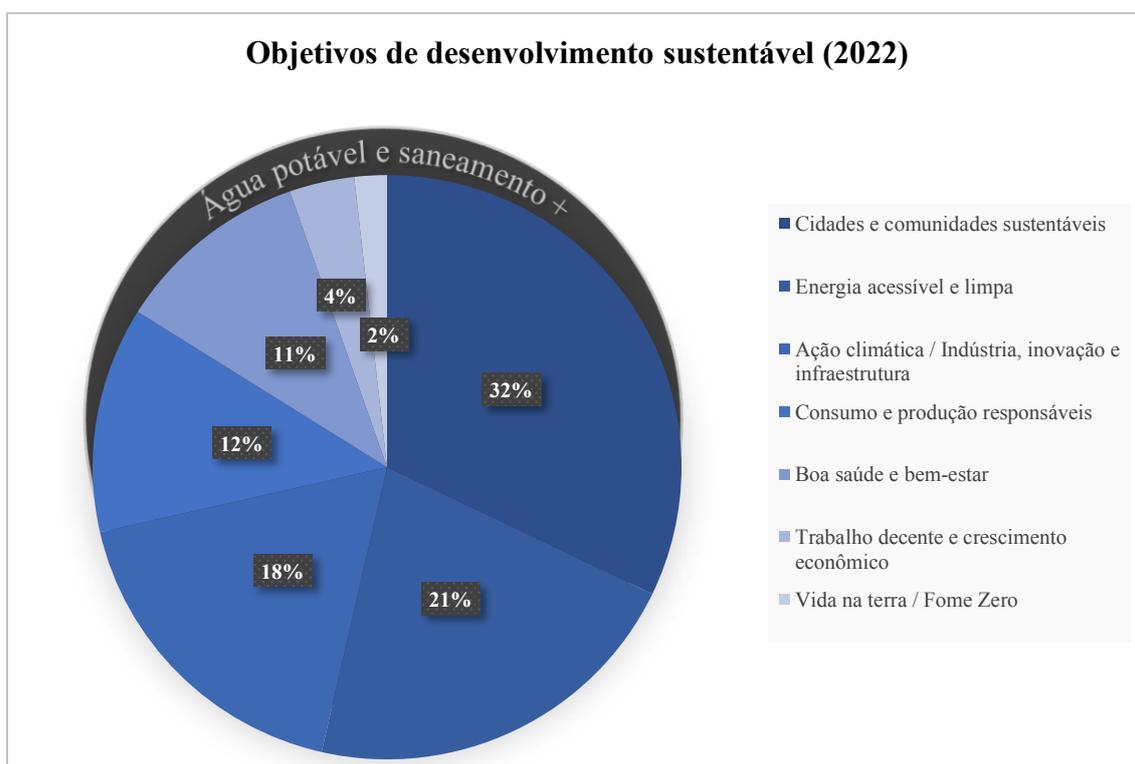
Figura 22. Palavras-chave do ano atual (2022).



Fonte: Autora (2022).

As áreas de estudo apresentam uma modificação em relação à década anterior, no que diz respeito à área de energia, que aumentou 7,1% em meses de estudo, ficando a distribuição percentual configurada da forma: ciências ambientais (31,4%), energia (17,4%), engenharia (9,3%), ciências sociais (8,1%), química (5,8%), ciências agrárias e biológicas (4,7%), engenharia química (4,7%) e bioquímica (3,5%). Os ODS, por sua vez, configuram-se como mostra a figura 23, reafirmando as tendências já discutidas.

**Figura 23.** Objetivos para o desenvolvimento sustentável presentes nas publicações de 2022.



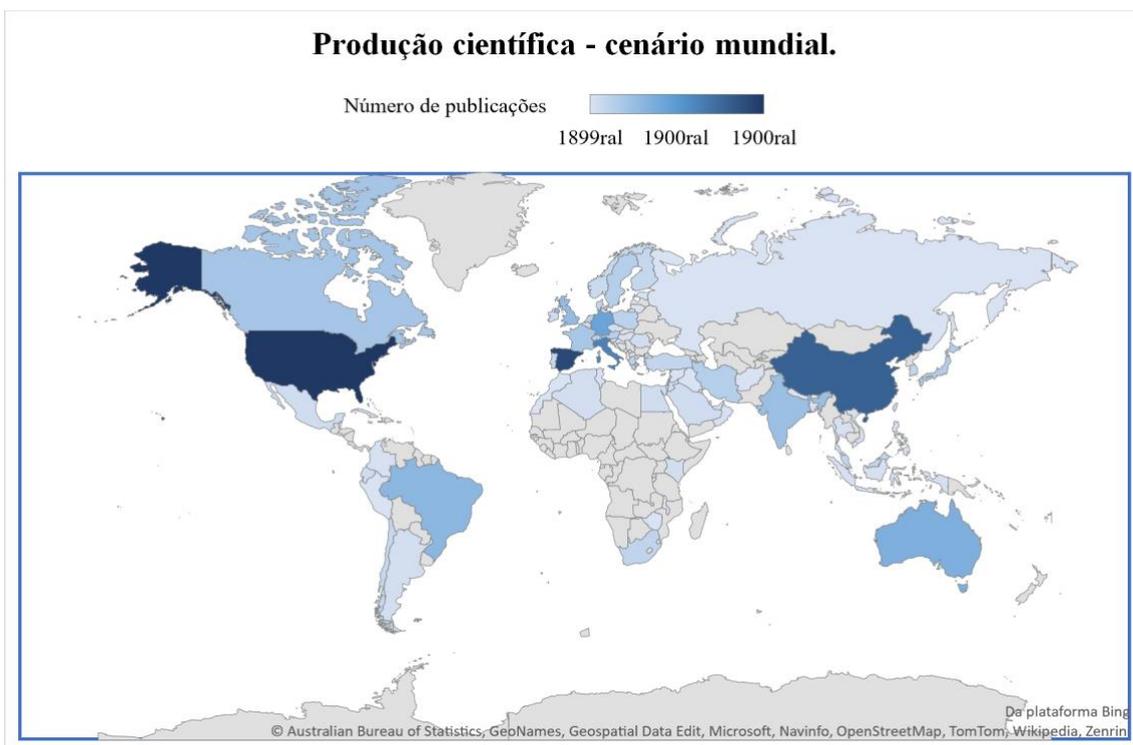
Fonte: Autora (2022).

O artigo que realça o estudo de viabilidade dos sistemas descentralizados e a tendência do ano é o artigo de ESTEVÉZ et al (2022): “Como o tratamento descentralizado pode contribuir para a simbiose entre proteção ambiental e recuperação de recursos”. Neste artigo, os autores avaliam o perfil ambiental e econômico de uma configuração híbrido-decentralizada para fins de gerenciamento eficiente de águas residuais e recuperação de recursos em comparação ao sistema centralizado. Com os resultados da ACV e do VPL os autores concluíram que o tratamento descentralizado está de acordo com a economia circular, pois permite o uso de água recuperada e biofertilizantes em condições seguras e ecológicas, porém o custo, com a taxa vigente, não garante benefícios suficientes para apoiar o investimento nesse tipo de tecnologia.

## 5.2. Produção científica: Países, Autores e Instituições

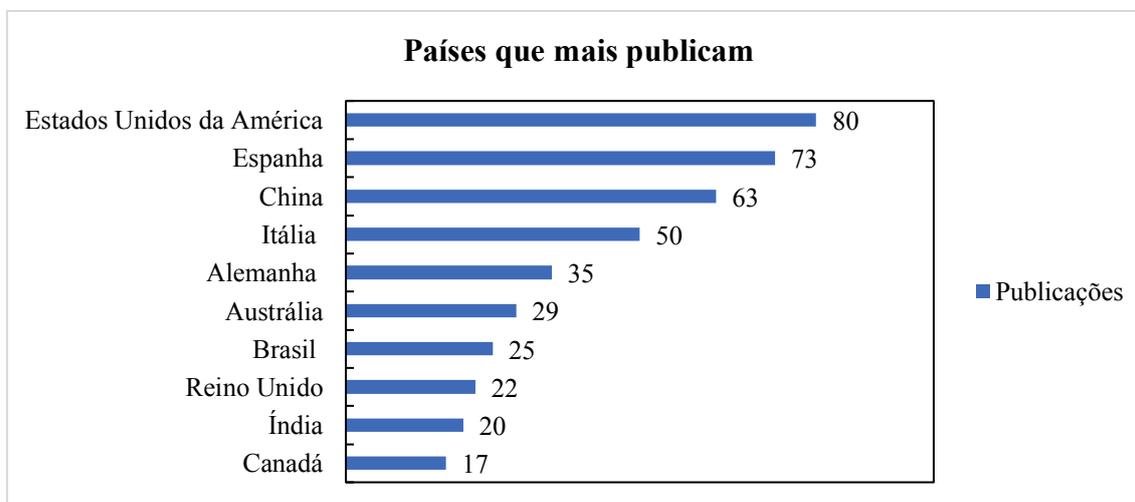
Partindo para o aspecto geográfico, foi possível obter um mapa de produção científica (figura 24) e um ranking com os dez países que mais publicam artigos sobre o tema (figura 25). Em primeiro lugar temos os Estados Unidos da América (EUA) com 80 publicações. O Brasil aparece em 7º lugar, com 25 publicações.

Figura 24. Mapa de produção científica.



Fonte: Autora (2022).

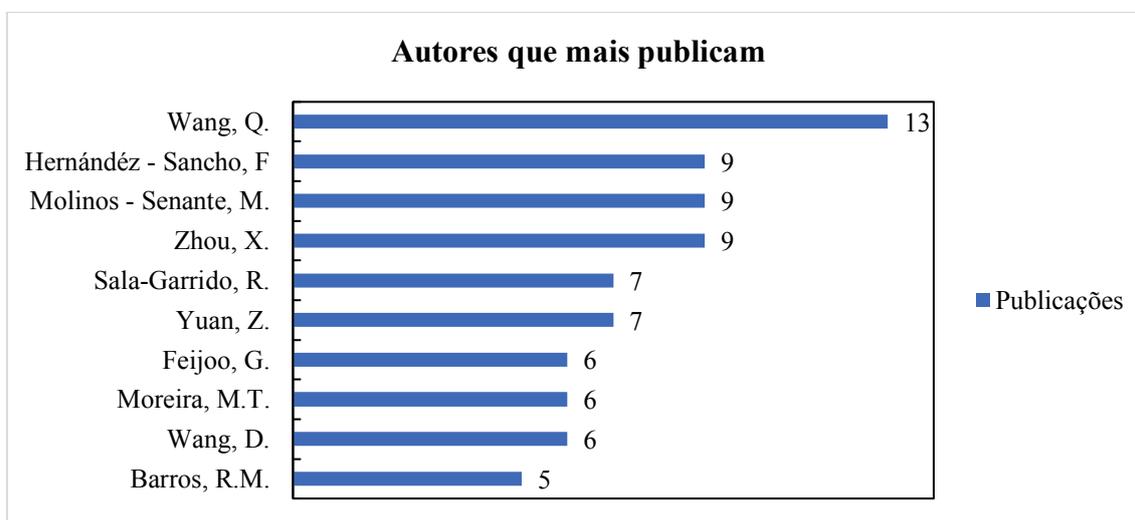
Figura 25. Ranking de produção científica (países).



Fonte: Autora (2022).

Além disso, foi possível identificar os autores mais ativos na produção de conteúdo científico nessa área (figura 26). Dentre eles está a brasileira Regina Mambeli Barros, representando o décimo lugar com 5 artigos publicados pela Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais.

**Figura 26.** Ranking de produção científica (autores).



**Fonte:** Autora (2022).

Quanto às instituições (Tabela 1), nota-se que, de um total de 160, a maioria apresenta duas publicações, sendo a Universidade de Queensland, instituição australiana com 17 artigos, a que mais publicou sobre o tema.

**Tabela 1.** Número de publicações por instituição.

Instituição	País	Número de Publicações
<i>The University of Queensland</i>	Austrália	17
<i>Universidad de Santiago de Copostela</i>	Espanha	12
<i>Universitat de València</i>	Espanha	11
<i>Politecnico di Torino</i>	Itália	11
<i>Ministry of Education China</i>	China	10
<i>Chinese Academy of Sciences</i>	China	10
<i>Harbin Institute of Technology</i>	China	10
<i>Eawag – Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology</i>	Suíça	09
<i>Tsinghua University</i>	China	09
<i>Universitat de Girona</i>	Espanha	08

**Fonte:** Autora (2022).

No Brasil, apresentando 05 publicações está a Universidade Federal de Itajubá, que juntamente com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (04 publicações), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (03 publicações), Universidade Federal do ABC (02 publicações), Universidade de São Paulo (02 publicações), Universidade Federal de Viçosa (02 publicações) e Universidade Federal de Minas Gerais (02 publicações), são as representantes brasileiras dentre as instituições.

### **5.3. Áreas de estudo e Palavras – Chave**

Das oito grandes áreas do conhecimento, segundo a CAPES (2021), a pesquisa retornou artigos com área de estudo que se enquadram em seis delas: Ciências Exatas e da Terra, Ciências Biológicas, Engenharias, Ciências da Saúde, Ciências Agrárias e Ciências Sociais Aplicadas, como expõe a tabela 2.

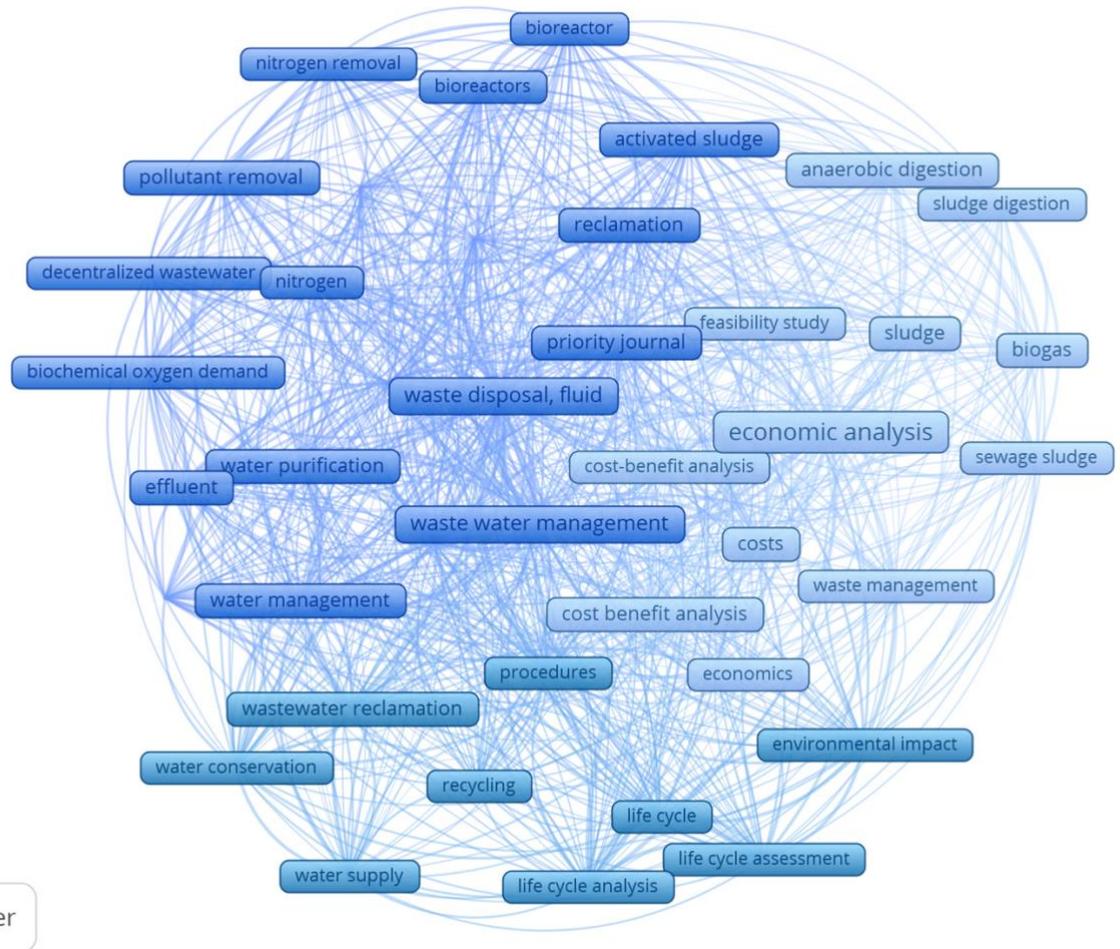
Por fim, foram analisadas de forma global as palavras-chaves que aparecem nos artigos. Através do software *VOSviewer*, foi possível filtrar pela quantidade de ocorrências nos textos (mínimo: 35 ocorrências) e, das 57 palavras resultantes, foram selecionadas as 41 palavras que se encontram divididas em três aglomerados. Assim, foi obtida a figura 27. O tamanho dos ícones nas palavras representa a quantidade de citações e, as linhas, as ligações entre elas.

**Tabela 2.** Número de publicações por área de estudo.

<b>Área de Estudo</b>	<b>Número de Publicações</b>
Ciência Ambiental	426
Engenharia	129
Energia	96
Engenharia Química	76
Ciências Sociais	53
Química	46
Ciências Agrárias e Biológicas	32
Bioquímica, Genética e Biologia Molecular	30
Negócios, Gestão e Contabilidade	21
Ciências da Terra e Planetárias	15
Ciência dos Materiais	14
Medicina	14
Economia, Econometria e Finanças	11
Ciência da Computação	9
Matemática	8
Física e Astronomia	7
Multidisciplinar	4
Imunologia e Microbiologia	3
Ciências da Decisão	2
Farmacologia, Toxicologia e Farmacêuticos	1
Psicologia	1

Fonte: Autora (2022).

Figura 27. Mapa de palavras-chave e suas conexões.



Fonte: Aurora (2022)

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo consistiu na identificação de publicações, presentes na base de dados *Scopus*, que compreendessem a busca pela comprovação da viabilidade de sistemas descentralizados de tratamento de efluentes. Mesmo escolhendo *strings* com intuito de retornar resultados que abrangessem a descentralização e a avaliação de sua aplicabilidade econômica e técnica, foram obtidos resultados que contemplavam melhorias a ETEs centralizadas e, ao tratar das descentralizadas, a maioria não avaliava ambos os aspectos.

Dentre os artigos que correspondiam ao tema estudado, percebeu-se que a análise de viabilidade não se restringe apenas ao financeiro e à eficiência das tecnologias de tratamento, mas sim ao aspecto ambiental. Notou-se uma tendência crescente na identificação de impactos, tanto positivos, quanto negativos, firmando assim mais um parâmetro de avaliação para auxiliar na tomada de decisão.

Ao dividir e analisar os períodos, de dez anos cada, a partir da primeira publicação correspondente à pesquisa, foi possível atestar que o assunto começou a despertar mais interesse em meados do ano 1995, sendo o ano de 2021 o que apresentou mais publicações. A expectativa para 2022 é de superação dos marcos do ano anterior, visto que as publicações do primeiro semestre representam 55,88 % das publicações de 2021.

No que se refere às linhas de pesquisa, a primeira década destacou-se pela busca de melhorias técnicas aos sistemas já existentes, trazendo a descentralização como uma solução teórica para os sistemas de tratamento. A segunda década, por sua vez, apresentou uma preocupação maior com o aspecto financeiro e a terceira, com a gestão dos recursos. A década seguinte, de 2002 a 2011, introduziu as ferramentas de análise mais elaboradas, como a ACV e a ACB, entre outras ferramentas, buscando trazer a confiabilidade necessária para os resultados obtidos. Nos anos seguintes, cresceu a preocupação com a geração de energia e a sustentabilidade das ETEs, aumentando os estudos de caso e visando soluções pontuais.

De fato, foi possível reconhecer uma divisão entre estudos favoráveis e desfavoráveis a essa forma de estruturação das ETEs. Dentre os artigos lidos, grande parte aponta falhas no quesito econômico e operacional, destacando os altos custos com

instalação, manutenção e os cuidados que devem ser tomados pelos responsáveis para que os parâmetros de saída sejam respeitados. Por isso, o crescimento de citações e estudos envolvendo alternativas naturais como as *Wetlands* (zonas úmidas construídas) e as lagoas de estabilização.

Os estudos associados às zonas rurais, zonas que teoricamente seriam as mais favorecidas com a implantação da descentralização, focam no reuso de águas residuais na agricultura ou na geração de energia, tendo em vista proporcionar para os usuários um benefício de cunho financeiro que torne mais atrativo os custos de implantação e manutenção. Caso não haja interesse ou não se tenha espaço físico suficiente, principalmente em pequenas cidades, as fossas sépticas e as fossas verdes ou também chamadas de círculos de bananeiras, cumprem bem o que é proposto e não necessitam de altos investimentos.

No que tange à abrangência do tema, os ODS contribuíram para realçar a importância do tratamento adequado de esgoto para a prosperidade mundial, visto que 14 dos 17 objetivos propostos pela ONU foram citados nos resultados como associados aos artigos. Em conformidade a esse fato, estão as áreas de pesquisa, que vão de Ciências Ambientais à Psicologia, totalizando 21 áreas.

Os países que mais se destacaram pela compatibilidade com o tema foram China e Espanha. Ambos também sobressaíram nas questões numéricas, perdendo apenas os Estados Unidos da América. Além disso, os autores e as instituições que mais investem nesse tipo de pesquisa, estão localizados nesses países.

O Brasil apresenta participação discreta durante os 50 anos de estudo analisados, contando com publicações de apenas três estado brasileiros e um total de 25 artigos, publicados principalmente nos últimos dez anos. Dentre eles, o foco é direcionado para o ponto de vista econômico, reutilização dos recursos e produção de biogás. Mesmo com a adoção da metodologia de estudo de caso em boa parte dos artigos, não se pode admitir similaridades às regiões norte, nordeste e centro-oeste, devido a grande diversidade presente no território do país e as singularidades de cada região.

## **7. CONCLUSÃO**

Em suma, pode-se afirmar que, no contexto geral, ainda não é possível obter um juízo positivo ou negativo quanto à utilização de estações descentralizadas de tratamento de esgoto, visto que este tipo de análise envolve parâmetros territoriais, socioeconômicos e ambientais que devem ser observados caso a caso, de acordo com o objetivo que se quer alcançar. Mesmo com uma gama de possibilidades, uma solução para esse problema seria a criação de um método, ou ferramenta de análise de viabilidade, que englobasse os aspectos técnicos, econômicos e ambientais, tendo em vista facilitar o processo de tomada de decisão por parte dos interessados em utilizar os sistemas descentralizados.

## 8. REFERÊNCIAS

ABBASSI, B.E. Avaliação do desempenho de uma estação de tratamento de águas residuais de lodo ativado de leito fixo descentralizado: estudo de caso no Jordan Traffic Institute. **J Food Agric Environ**, p. 518-23, 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas Esgotos**, 2020. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br> . Acesso: 19 de fev. de 2022.

ALAGOAS. [Constituição (1989)]. **Constituição do Estado de Alagoas**. 3. ed. rev. e aum. Maceió: Assembleia Legislativa do Estado de Alagoas, 2013. Disponível em: <<http://www.procuradoria.al.gov.br/legislacao/constituicao-do-estado-de-alagoas/Livro%20da%20Constituicao%20do%20Estado%20de%20Alagoas%20sem%20Capa.pdf>> . Acesso: 20 de fev. 2022.

ALAGOAS. Lei nº 7.081, de 30 de julho de 2009. Institui a Política Estadual de Saneamento Básico. **Diário Oficial do Estado de Alagoas**, Maceió, AL, 31 jul. 2009. Disponível em: [http://www.residuossolidos.al.gov.br/vgmidia/arquivos/38\\_ext\\_arquivo.pdf](http://www.residuossolidos.al.gov.br/vgmidia/arquivos/38_ext_arquivo.pdf) >. Acesso: 20 de fev. 2022.

BOTELHO, L. L. et al. Revisão bibliométrica sobre mudança organizacional e aprendizagem gerencial em uma organização intensiva em conhecimento. **XXXV Encontro da ANPAD**, 2011.

BRASIL. Lei Federal nº 14.026 de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. **Diário Oficial da União**, Brasília, ed. 135, seção 1, 16 de julho de 2020. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>> . Acesso: 20 de fev. 2022.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 mar. 2005. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso: 20 de fev. 2022.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA **Diário Oficial da União**, Brasília, 16 mai. 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso: 20 de fev. 2022.

BRIGHAM, E. F.; GAPENSKI, L. C.; EHRHARDT, M. C. **Administração Financeira Teoria e Prática**. São Paulo: Atlas, 2001.

BUENO, D. A. **Filtros anaeróbios com pós-tratamento em filtros de areia intermitentes: desempenho em operação crítica**. Campinas -SP: 2017.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR (CAPES). **Tabelas de áreas de Conhecimento/Avaliação**. Disponível em: <<https://www.gov.br/capes/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/avaliacao/instrumentos/documentos-de-apoio-1/tabela-de-areas-de-conhecimento-avaliacao>> . Acesso: 18 de maio de 2022.

CORNELLI, R. **Análise e seleção de alternativas sustentáveis de esgotamento sanitário**. Porto Alegre - RS: 2014.

DANTAS, F. et al. Uma análise da situação do saneamento no Brasil. **Facef Pesquisa: Desenvolvimento e Gestão**, v. 15, p. 272–284, 2012.

ESTÉVEZ, S. et al. Como o tratamento descentralizado pode contribuir para a simbiose entre proteção ambiental e recuperação de recursos. **Sci Total Environ**; p.812, 2022.

FERREIRA, M.M.; FIORE F.A.; SARON A.; DA SILVA, G.H.R. Revisão sistemática dos últimos 20 anos de pesquisas sobre tratamento descentralizado de esgoto doméstico no brasil: estado da arte e potencialidades. **Water Sci Technol**; p.3469-88, 2021.

FIGUEIREDO, I. C. **Tratamento de esgoto na zona rural: diagnóstico participativo e aplicação de tecnologias alternativas.** Campinas - SP: 2019.

FRAZÃO, A. et al. **Conceitos e aplicações de Análise do Ciclo Vida (ACV) no Brasil.** Revista Ibero Americana de Estratégia, vol. 7, núm. 1, 2008, pp. 39-44 Universidade Nove de Julho São Paulo, Brasil. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/3312/331227111005.pdf>> . Acesso: 18 de maio de 2022.

GARFÍ M.; FLORES L., FERRER I. Avaliação do ciclo de vida de sistemas de tratamento de águas residuais para pequenas comunidades: Lodo ativado, pântanos construídos e lagoas de algas de alta taxa. **J Clean Prod**; p. 211-9, 2017.

GONZÁLEZ-VIAR M. et al. Análise custo-efetividade da mineração de esgoto versus tratamento centralizado de águas residuais: estudo de caso da bacia do rio Arga, Espanha. **Urban Water J**; p. 321-30, 2016.

HEATH D.E. Relação da capacidade de projeto com a qualidade do efluente. **J Water Pollut Control Fed**, p. 2270-5, 1980.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Brasileiro de 2010.** Disponível em:< [http://mapasinterativos.ibge.gov.br/atlas\\_ge/brasil1por1.html](http://mapasinterativos.ibge.gov.br/atlas_ge/brasil1por1.html)> . Acesso: 19 de fev. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **IBGE Cidades**, 2021. Disponível em:< <https://cidades.ibge.gov.br> >. Acesso: 19 de fev. 2022.

LEONETI, A. B. et al. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. **Revista de Administração Pública - RAP**, v. 45, n. 2, p. 331–379, abr. 2011.

LIBRALATO, G.; GHIRARDINI, A. V; AVEZZÙ, F. To centralise or to decentralise: An overview of the most recent trends in wastewater treatment management. **Journal of Environmental Management**, v. 94, n. 1, p. 61–68, fev. 2012.

LIM S-, PARK D, PARK JM. Estudo de viabilidade ambiental e econômica de um sistema total de rede de tratamento de efluentes. **J Environ Manage**, p. 564-75, 2008.

LOFRANO, G.; BROWN, J. Wastewater management through the ages: A history of mankind. **Science of the Total Environment**, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969710007564>>. Acesso: 19 de fev. 2022.

METCALFE M.R. Investir em técnicas de águas residuais de aquacultura para melhorar a qualidade da água: um estudo de caso de uma comunidade costeira. **Coast Manage**, p. 327-35, 1995.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. L. **Tratamento descentralizado de águas residuárias domésticas: uma estratégia de inclusão social**. Campina Grande - PB: 2013.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Objetivos do desenvolvimento sustentável. 2022. Disponível em: < <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6> >. Acesso: 01 de jul. 2022.

OTTERPOHL R., GROTTKER M., LANGE J. Gestão sustentável de água e resíduos em áreas urbanas. **Water Sci Technol**, p. 121-33, 1997.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, p. 83–89, 2007.

SANTOS, A. B. **Caracterização, tratamento e gerenciamento de subprodutos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas em empreendimentos habitacionais**. Fortaleza - CE: 2019.

SILVA, M. L.; FONTES, A. A. Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: valor presente líquido (VPL), valor anual equivalente (VAE) e valor esperado da terra (VET). **Sociedade de Investigações Florestais - SIF**, p. 931–936, 2005.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE O SANEAMENTO (SNIS). **Painel do Setor de Saneamento**. 2020. Disponível em:< <http://www.snis.gov.br/painel->

informacoes-saneamento-brasil/web/painel-setor-saneamento2020> . Acesso: 19 de fev. 2022.

SUBTIL, E. L.; SANCHEZ, A. A.; CAVALHERO, A. **Ciência e Tecnologia Ambiental: Conceitos e Perspectivas**. Cap 09, São Paulo, editora UFABC: 2016. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/309429650\\_Sistemas\\_descentralizados\\_de\\_tratamento\\_de\\_esgoto\\_e\\_reuso\\_de\\_agua](https://www.researchgate.net/publication/309429650_Sistemas_descentralizados_de_tratamento_de_esgoto_e_reuso_de_agua)> . Acesso: 18 de maio de 2022.

TONETTI, A. L. et al. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções**. Campinas - SP: 2018.

VAN TOMME I, PIETERS J, VERSTRAETE W. Tratamento individual de águas residuais na Flandres (Bélgica). **Meded Rijksuniv Gent Fak Landbouwkd Toegep Biol Wet**, p. 205-9, 2001.

WILDERER P.A., SCHREFF D. Gestão descentralizada e centralizada de águas residuais: um desafio para desenvolvedores de tecnologia. **Water Sci Technol**, p. 1-8, 2000.

YUAN Z.; JIANG W.; BI J. Custo-benefício de dois modelos operacionais em estações de tratamento de águas residuais industriais na China: um estudo de caso na cidade de Shengze, cidade de Suzhou. **J Environ Manage**, p. 2038-44, 2010.