



UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

VITOR MARCOS LIMA DOS SANTOS

***ROADMAP* TECNOLÓGICO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE
ABATEDOUROS: TENDÊNCIAS E OPORTUNIDADES**

JUAZEIRO-BA
2024

VITOR MARCOS LIMA DOS SANTOS

**ROADMAP TECNOLÓGICO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE
ABATEDOUROS: TENDÊNCIAS E OPORTUNIDADES**

Trabalho apresentado a Universidade Federal do Vale do São Francisco – Univasf, Campus Juazeiro-BA, como requisito para obtenção do título de Engenheiro agrícola e ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Miriam Cleide Cavalcante de Amorim.

JUAZEIRO-BA

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

S237r Santos, Vitor Marcos Lima dos
Roadmap tecnológico no tratamento de efluentes de abatedouros: tendências e oportunidades / Vitor Marcos Lima dos Santos. – Juazeiro-BA, 2024.
xi, 47 f.: il. 29 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental)
Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro, 2024.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Miriam Cleide Cavalcante de Amorim.

1. Inovação. 2. Agroindústria. 3. Patentes. I. Título. II. Amorim, Miriam Cleide Cavalcante de. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 303.483

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca SIBI/UNIVASF
Bibliotecário: Márcio Pataro. CRB - 5 / 1369.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

FOLHA DE APROVAÇÃO

VITOR MARCOS LIMA DOS SANTOS

**ROADMAP TECNOLÓGICO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE
ABATEDOUROS: TENDÊNCIAS E OPORTUNIDADES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental, pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.

Aprovado em: 16 de Dezembro de 2024.

Banca Examinadora

(Miriam Cleide Cavalcante de Amorim, Doutora, Universidade Federal do Vale do São Francisco – Orientadora).

(Daniel dos Santos Costa, Doutor, Universidade Federal do Vale do São Francisco – 1º Examinador).

(Paula Tereza de Souza e Silva, Doutora, Embrapa Semiárido – 2ª Examinadora).

Dedico este trabalho à minha vó, Antônia Martinha dos Santos.

AGRADECIMENTOS

A Deus por toda graça recebida durante toda a minha trajetória acadêmica, e pela sua infinita misericórdia.

Agradeço a toda a minha família, em especial a minha vó Antônia Martinha dos Santos, e meus pais Antônio Marcos Rodrigues dos Santos e Maria Eunice dos Santos Lima por todo amor e dedicação a minha criação.

Agradeço a minha excelente orientadora Prof. Dra. Miriam Cleide Cavalcante de Amorim, por toda a orientação, ensinamento e paciência.

Agradeço também os colegas do grupo PET Saneamento Ambiental, e do Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA), especialmente a Aricélia, Guilherme e Sheila por todo apoio e auxílio.

Agradeço ao PET-MEC e FNDE pelo incentivo financeiro.

Agradeço a todos os professores incríveis da UNIVASF que tive em sala de aula, suas contribuições foram fundamentais para minha vida acadêmica e profissional, em especial a Prof. Dra. Jardênia Rodrigues Feitosa.

Agradeço a minha namorada Bianca Rodrigues, pelo amor e compreensão durante a construção desse trabalho.

Por fim, agradeço aos colegas da turma Anderson e Talys Brendo, pelo apoio durante toda a graduação, e a todos os outros que fizeram e fazem parte da minha vida.

RESUMO

A crescente produção de carne e o conseqüente aumento de instalações de abate têm intensificado a geração de efluentes de composição complexa e alto impacto ambiental, exigindo soluções inovadoras para atender aos padrões regulatórios cada vez mais restritivos. Assim, o presente trabalho objetivou analisar as tendências tecnológicas no tratamento de efluentes de abatedouros, visando esclarecer o cenário atual, destacar o progresso alcançado e identificar as perspectivas futuras para o setor. A pesquisa foi estruturada em três fases principais: (i) mapeamento do cenário mundial das publicações científicas e tecnológicas, por meio de buscas nos bancos de dados da Web Of Science e Scopus, para os artigos, e com software Questel Orbit, para patentes; (ii) prospecção tecnológica de sistemas de tratamento de efluentes de abatedouros, e (iii) construção de um *roadmap* tecnológico com base nas patentes e publicações analisadas. No cenário mundial, se observa o predomínio brasileiro no quantitativo de publicações científicas, com 161 artigos. Contudo na análise patentária, a China foi o país com maior número de registros, com 501 patentes. A análise das tendências, elucida um foco em tecnologias como digestão anaeróbia, lodos ativados e eletrocoagulação, com destaque para remoção de matéria orgânica e nutrientes. Na análise das patentes de processos, que tratam sobre sistemas de tratamento, observou-se uma predominância na adoção de unidades operacionais de flotação por ar dissolvido (28,1%), biorreatores de membrana (28,7%), unidades de desnitrificação (21,6%) e desinfecção (28,7%), sendo evidente uma tendência no desenvolvimento de sistemas mais robustos, que visam a remoção de outros poluentes como o nitrogênio. O *roadmap* tecnológico indica, no estágio atual, a predominância de sistemas automatizados compactos. No curto prazo, observa-se um maior quantitativo de registros de tecnologias com foco na remoção de sólidos grosseiros. A longo prazo, constatou-se avanços no desenvolvimento de tecnologias de tratamento avançadas e de valorização dos resíduos. Portanto, a partir do cenário descrito neste estudo, pode-se concluir que o tema é inovador e promissor, podendo auxiliar os tomadores de decisão a ingressar no segmento, ou realizar futuros investimentos e parcerias, visualizar concorrentes e aplicações relacionados ao tratamento de efluente de abatedouros.

Palavras-chave: Inovação. Agroindustrial. Patentes. Prospecção.

ABSTRACT

Growing meat production and the consequent increase in the number of slaughterhouses have intensified the generation of effluents with a complex composition and high environmental impact, requiring innovative solutions to meet increasingly restrictive regulatory standards. The aim of this study was therefore to analyze technological trends in the treatment of slaughterhouse effluents, with a view to clarifying the current scenario, highlighting the progress made and identifying prospects for the sector. The research was structured in three main phases: (i) mapping the global scenario of scientific and technological publications, by searching the Web Of Science and Scopus databases for articles, and Questel Orbit software for patents; (ii) technological prospecting of slaughterhouse effluent treatment systems, and (iii) construction of a technological roadmap based on the patents and publications analyzed. On the world stage, Brazil is predominant in terms of the number of scientific publications, with 161 articles. But in terms of patent analysis, China was the country with the highest number of registrations, with 501 patents. The analysis of trends reveals a focus on technologies such as anaerobic digestion, activated sludge and electrocoagulation, with an emphasis on the removal of organic matter and nutrients. In the analysis of process patents dealing with treatment systems, there was a predominance in the adoption of dissolved air flotation operating units (28.1%), membrane bioreactors (28.7%), denitrification units (21.6%) and disinfection (28.7%), with a clear trend towards the development of more robust systems aimed at removing other pollutants such as nitrogen. The technological roadmap indicates, at the current stage, the predominance of compact automated systems. In the short term, there will be more registrations of technologies focused on the removal of coarse solids. In the long term, progress has been made in the development of advanced treatment technologies and waste recovery. Therefore, based on the scenario described in this study, it can be concluded that the topic is innovative and promising, and can help decision-makers to enter the segment, or make future investments and partnerships, visualize competitors and applications related to slaughterhouse effluent treatment.

Keywords: Agroindustrial. Innovation. Prospecting. Patents.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 -	Forma genérica de um roadmap tecnológico.	22
Figura 2 -	Metodologia para a Elaboração de roadmap tecnológico.	23
Figura 3 -	Resumo das fases metodológicas do projeto	24
Figura 4 -	Fluxograma metodológico das etapas realizadas na Fase I.	24
Figura 5 -	Fluxograma metodológico das etapas realizadas na Fase II.	25
Figura 6 -	Fluxograma metodológico das etapas realizadas na Fase III.	26
Figura 7 -	Distribuição temporal dos artigos sobre tratamento de efluentes de abatedouros.	28
Figura 8 -	Distribuição geográfica dos artigos em função dos autores de correspondência sobre tratamento de efluentes de abatedouros.	30
Figura 9 -	Tendências sobre tratamento de efluentes de abatedouros, a partir dos termos mais relevantes nas palavras-chave do autor.	30
Figura 10 -	Mapa de visualização de rede de palavras-chave com pelo menos 30 ocorrências.	31
Figura 11 -	Tendência de investimento em tecnologia nos últimos 20 anos.	33
Figura 12 -	Distribuição geográfica das patentes por país de proteção.	34
Figura 13 -	Códigos IPC citados nas patentes retornadas.	35
Figura 14 -	Grupo de conceito relacionados aos sistemas de tratamento de efluentes.	36
Figura 15 -	(a) Unidades Operacionais e (b) Tecnologias de destaque nos sistemas de tratamento de efluentes de abatedouros.	37
Figura 16 -	Estágio atual do <i>Roadmap</i> tecnológico do tratamento de efluentes de abatedouros.	38
Figura 17 -	Estágio de (a) curto e (b) longo prazo do <i>Roadmap</i> do tratamento de efluentes de abatedouros.	40

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 - Taxonomias Meso e Micro do <i>Roadmap</i> .	26
Quadro 2 - Principais políticas mundiais de proteção das águas.	29

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Características de diferentes águas residuais industriais.

18

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	152.	OBJETIVOS
172.1	OBJETIVO	GERAL
172.1	OBJETIVOS	ESPECÍFICOS
173.	REFERENCIAL	TEÓRICO
183.1.	EFLUENTES DE	ABATEDOUROS
183.2.	TRATAMENTO DE EFLUENTES DE	ABATEDOUROS
193.3.	ESTUDOS	PROSPECTIVOS
213.4.	ROADMAP	TECNOLÓGICO
224.		METODOLOGIA
245.	RESULTADOS	E DISCUSSÃO
285.1	FASE I: MAPEAMENTO DO CENÁRIO MUNDIAL DAS PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS	
285.1.1	Publicações	científicas
		28
5.1.2 Publicações tecnológicas		
325.2.	TENDÊNCIAS E OPORTUNIDADES PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES EM ABATEDOUROS	
355.2.1	Sistemas de	tratamento de efluentes
		35
5.2.2 Roadmap tecnológico		38
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS		43
		REFERÊNCIAS
		44

1. INTRODUÇÃO

A produção e o consumo de carne no mundo aumentaram drasticamente nas últimas três décadas e podem dobrar até o ano de 2050, como reflexo observa-se um aumento expressivo no número de instalações de abate (AZIZ et al., 2022). Os abatedouros são segmentos industriais que utilizam uma quantidade considerável de água desde o abate até a limpeza de setores e equipamentos, o que resulta em uma elevada produção de efluentes (PEREIRA et al., 2024).

Embora os rios tenham uma capacidade natural de autodepuração, a liberação frequente destes efluentes sem que sejam adequadamente tratados pode sobrecarregar o corpo de água receptor, e causar diversos prejuízos (MUSA & IDRUS, 2021). Com o avanço nas pesquisas científicas ao longo dos anos, os padrões internacionais de lançamento, estão ficando cada vez mais restritivos (ALLAOUI et al., 2015).

Autores como Ferrer et al. (2024) e Rivera-Castellanos et al. (2023) destacam que processos convencionais de tratamento de águas residuais, que antes eram eficientes, hoje não conseguem atender aos requisitos de qualidade estabelecidos pelas legislações ambientais atuais. Neste caso, segundo Pereira et al. (2024), melhorias nos sistemas de tratamento de águas residuais são essenciais para tornar os efluentes reutilizáveis para fins industriais, agrícolas e domésticos. Tornando cada vez mais necessário o desenvolvimento de sistemas e processos inovadores no setor.

O avanço tecnológico, historicamente impulsionado por métodos como os estudos prospectivos, com metodologias como o *roadmap* (roteiro), representam uma peça-chave na melhoria dos processos e produtos (SINFIELD et al., 2024). Phaal et al. (2004) explicam que além de oferecer uma abordagem estruturada para alinhar mercados, produtos e tecnologias em evolução ao longo do tempo, estes permitem a antecipação de demandas futuras e a criação de soluções adaptáveis às restrições crescentes.

Essas metodologias, são amplamente utilizadas nos mais diversos estudos científicos (ALOFAYSAN et al., 2024; XIONG et al., 2024) e no meio empresarial (SINFIELD et al., 2024; NOH et al., 2021; DAIM et al., 2018) para o planejamento estratégico de longo prazo, destacando-se pela capacidade de integrar fatores técnicos, econômicos e socioculturais, promovendo a adoção de inovações habilitadoras que atendam a múltiplos objetivos (PARK et al., 2020). No contexto do

tratamento de efluentes agroindustriais, como os gerados por abatedouros, tal abordagem é fundamental para superar as limitações dos sistemas convencionais, desenvolvendo processos que não apenas atendam aos padrões legais, mas também promovam a valorização dos resíduos de modo a reduzir seu impacto.

Portanto, o desenvolvimento desse estudo, e aplicação das ferramentas de análise como o *roadmap*, visa esclarecer o cenário atual, destacar o progresso alcançado e identificar as perspectivas futuras no tratamento de efluentes de abatedouros. Por meio dessa abordagem, é possível explorar as oportunidades de inovação existentes, promovendo o alinhamento entre as demandas do setor e as tecnologias emergentes.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar as tendências tecnológicas no tratamento de efluentes de abatedouros.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mapear e analisar o cenário mundial das publicações científicas sobre tratamento de efluentes de abatedouros;
- Realizar uma prospecção tecnológica sobre sistemas de tratamento de efluentes de abatedouros;
- Elaborar um *Roadmap* tecnológico do segmento de tratamento de efluente de abatedouros.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. EFLUENTES DE ABATEDOUROS

Os abatedouros são segmentos industriais que utilizam uma quantidade considerável de água, e acabam gerando efluentes de composição complexa, pois são constituídos por óleos e gorduras, proteínas, fibras, sangue, microrganismos patogênicos, nutrientes, agentes de limpeza, medicamentos veterinários, entre outros (PEREIRA et al., 2024; AZIZ et al., 2022).

Conforme explicam Zanol et al. (2024) estes empreendimentos necessitam de grande quantidade de água para manter as operações e os padrões de higiene exigidos, gerando principalmente duas linhas de águas residuais: a linha verde, que consiste em esterco, estômago e resíduos intestinais; e a linha vermelha, que é composta por sangue, além de resíduos sólidos de várias etapas do processamento que podem se misturar durante o processo.

Logo, os resíduos gerados em abatedouros contêm alta proporção de compostos orgânicos e outros contaminantes, ou seja, sangue, óleo, graxa, gorduras, amônia, bactérias fecais que podem causar efeitos nocivos ao meio ambiente (KOTHARI et al., 2024). A Tabela 1 evidencia o potencial poluidor do efluente de abatedouros frente a outros resíduos industriais conforme suas características físico-químicas.

Tabela 1. Características dos efluentes de diversos segmentos industriais.

Parâmetro	Abatedouro	Laticínios	Refinarias de petróleo	Têxteis	Farmacêuticas	Pecuária
pH	5–7,8	6–11	6,9–10	7–7,2	4,2–4,5	–
DQO (mg/l)	1100–15.000	1150–9.200	125–1095	773–1.290	5000–80.000	6.190 –78.600
DBO (mg/l)	600–3.900	–	–	400–490	–	3.940–34.600
NT (mg/l)	50–840	–	–	–	135–1250	1.530–6.500
NH ₄ ⁺ -N (mg/l)	20–300	–	5–51	–	40–320	–
PT (mg/l)	15–200	8–68	–	9,4–27,9	30–120	116–1770
PO ₄ ⁻³ (mg/l)	8–120	–	–	–	–	–
SST (mg/l)	220–6.400	340–1730	9–93	–	900–18.800	1850–29.000
AGV (mg/l)	175–797	–	–	–	–	–
Alcalinidade (mg/l)	350–1340	320–970	–	–	–	–

Fonte: Aziz et al. (2019)

Quando comparados aos efluentes de origem domésticas, Ng et al. (2022) pontuam que as características médias dos efluentes de abatedouro podem ser 6,3

vezes maiores para demanda biológica de oxigênio (DBO₅), 9,8 vezes maiores para demanda química de oxigênio (DQO), 10,7 vezes maiores para nitrogênio total (NT), 5,5 vezes maiores para sólidos suspensos total (SST) e 7,1 vezes maiores para fósforo total (PT).

Contudo, o consumo de água e as características do efluente produzido dependem de vários fatores como tamanho do abatedouro, tipo de animal abatido, tipo de abate realizado, água necessária para vários equipamentos e lavagem (PEREIRA et al., 2024).

Quando analisa-se o volume consumido por tonelada produzida, tem-se que para bovinos estima-se uma geração de 4 a 30 m³ de efluente, para suínos de 1,6 a 9 m³, enquanto para pescado fica em torno de 0,9 a 3,8 m³ por tonelada produzida (ZANOL et al, 2024). Considerando o volume de águas residuárias produzidas muitas iniciativas de reuso do efluente vem sendo desenvolvidas, através do crescente número de pesquisas na área (STACHURSKI et al., 2024; EMERICK et al., 2020), bem como pelo estabelecimento de legislações específicas a exemplo da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 503 de 2021 que define critérios e procedimentos para o reuso em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias.

Entretanto, mesmo com o alto potencial de reuso agrícola do efluente, principalmente pelos seus níveis de nutrientes, estes por vezes apresentam alta carga microbiológica e de poluentes emergentes, oferecendo riscos à saúde pública e ao meio ambiente (RADMAN et al., 2023; AZIZ et al., 2022). Segundo Pereira et al. (2024), estes podem conter patógenos como *Bacillus*, *Brucella*, *Salmonella*, *Clostridium*, *Mycobacterium*, *Staphylococcus* e *Erysipelothrix* que são capazes de infectar tanto humanos quanto animais.

3.2. TRATAMENTO DE EFLUENTES DE ABATEDOUROS

O tratamento de efluentes de abatedouros tem se tornado uma área de crescente preocupação devido à complexidade e aos elevados níveis de poluição presentes nesses efluentes. Segundo Mkilima et al. (2024) devido a sua composição, as águas residuais, exigem novas abordagens para garantir a efetividade do seu tratamento, e o atendimento aos padrões impostos por cada país.

Entre os tratamentos comumente empregados para a redução dos níveis de matéria orgânica pode-se destacar os tratamentos físico-químico, biológico aeróbio e biológico anaeróbio.

Hilares et al. (2021), explicam que os tratamentos físico-químicos, como coagulação e floculação, são amplamente usados na remoção de sólidos suspensos e na redução da Demanda Química de Oxigênio (DQO), mas geram grandes volumes de lodo e apresentam limitações na remoção de micropoluentes e compostos recalcitrantes.

Nos tratamentos aeróbios, como lodos ativados, há alta eficiência na remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos devido ao uso de microorganismos que metabolizam os compostos biodegradáveis (PEREIRA et al., 2024). No entanto, o processo exige elevado consumo de energia para aeração e produz volumes consideráveis de lodo biológico (OULEBSIR et al., 2020).

Já nos processos anaeróbios, a digestão de resíduos orgânicos tem se mostrado eficiente para converter matéria orgânica em biogás, oferecendo uma alternativa sustentável ao reaproveitamento energético (KOTHARI et al., 2024; AZIZ et al., 2022). Segundo Sánchez et al. (2023) uma das unidades operacionais mais empregadas neste tipo de tratamento no mundo são os reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), mesmo apresentando diversas desvantagens operacionais e sensibilidade a agentes inibitórios.

Conforme explicam Perez-remedios et al. (2024) os subprodutos animais são ricos em gordura e proteína, produzem ácidos graxos voláteis e ácidos graxos de cadeia longa durante a digestão anaeróbia. No entanto, o excesso de nitrogênio das proteínas pode inibir esse processo, limitando a produção de metano ao afetar o crescimento de bactérias metanogênicas.

Diversos autores explicam que são observados muitos avanços em pesquisas científicas no tratamento de águas residuárias, contudo, os mesmos pontuam que as tecnologias adaptadas para efluentes de abatedouros ainda são limitadas em comparação com as convencionais (MKILIMA et al., 2024; SÁNCHEZ et al., 2023; HILARE et al., 2021;). Isso demonstra a necessidade e a possibilidade de inovar dentro do segmento, através da proposição de novos sistemas de tratamento.

3.3. ESTUDOS PROSPECTIVOS

Os estudos de prospecção compreendem um papel importante na previsão de tendências e no desenvolvimento de novas tecnologias e processos em diversos campos da ciência e engenharia, incluindo o tratamento de efluentes. Estes estudos buscam projetar cenários futuros a partir de dados coletados ao longo do tempo, constituindo uma ferramenta estratégica para organizações de pesquisa e empresas de tecnologia, conforme explicam Reis et al. (2016).

De acordo com Campos et al. (2021), o trabalho de prospecção e o monitoramento contínuo desempenham um papel crucial na construção de um mapa conceitual que reúne informações e conhecimentos essenciais sobre o tema em questão, contribuindo para a redução da incerteza nas atividades de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), proporcionando uma base mais sólida para a tomada de decisões estratégicas e o direcionamento dos recursos para áreas de maior potencial inovador.

Os estudos prospectivos se dividem em prospecção científica e a prospecção tecnológica, que são abordagens complementares, mas distintas (SIQUEIRA et al, 2021). A prospecção científica é voltada para a investigação e identificação de novas áreas de pesquisa, ou seja, ela busca entender as possibilidades e limitações do conhecimento científico em sua forma mais ampla, com foco na descoberta de fenômenos e processos ainda não totalmente compreendidos (CAMPOS et al., 2021; CAMPOS & NOLASCO, 2020; REIS et al., 2016). Já a prospecção tecnológica é mais aplicada e objetiva, direcionando-se para o desenvolvimento de inovações tecnológicas que possam ser implementadas de maneira prática, muitas vezes com base em descobertas científicas (CAMPOS et al., 2021; REIS et al., 2016).

Contudo, alguns autores (SÁNCHEZ-PÉREZ et al., 2025; BRESLIN & BAILEY, 2020; POST et al., 2019) lançam dúvidas sobre a efetividade das metodologias empregadas na construção de estudos prospectivos, pois estes se apoiam fortemente na reafirmação do conhecimento existente em vez de abrir novos caminhos, muitas vezes focando na pesquisa existente, considerando o curto prazo, do que das pesquisas desconhecidas, longo prazo.

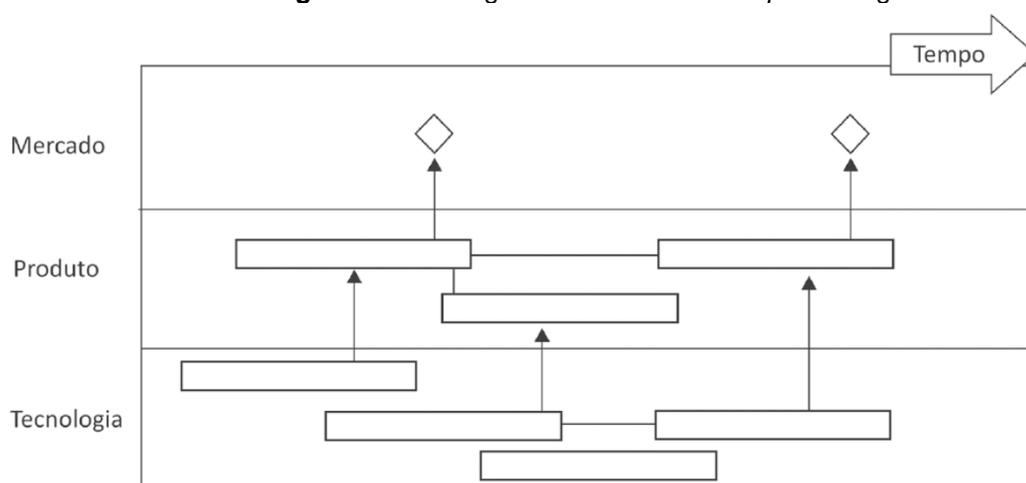
3.4. ROADMAP TECNOLÓGICO

A fim de possibilitar uma visão mais abrangente e de longo prazo, e possibilitar a tomada de decisão assertiva, muitos autores apresentam o *Roadmap* tecnológico, como uma ferramenta complementar aos estudos de prospecção.

Segundo Tavares & Borschiver et al. (2021), este se consolida como uma ferramenta de grande destaque na área, principalmente pelo seu desempenho e versatilidade em estabelecer tendências de mercado, estudar trajetórias tecnológicas e perfil dos atores atuantes no setor, monitorar concorrentes ao longo do tempo e identificar oportunidades de novos negócios.

Conforme destacam Coelho et al. (2012) o termo *Roadmapping* refere-se a um método utilizado para criar *Roadmaps*, representações gráficas simplificadas que facilitam a comunicação e o compartilhamento de uma intenção estratégica, com objetivo de mobilizar, alinhar e coordenar os esforços das partes interessadas para alcançar um ou mais objetivos. A Figura 1 apresenta a forma genérica de um *Roadmap*.

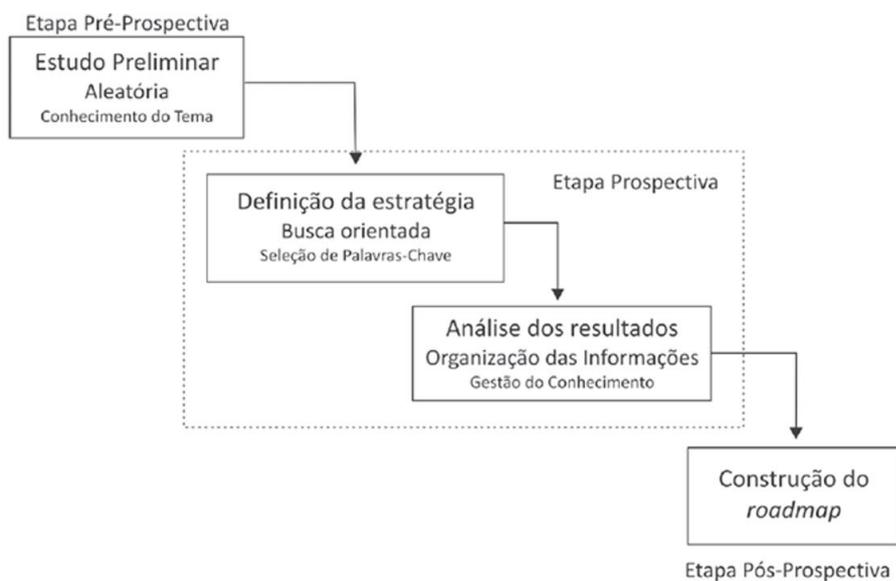
Figura 1 - Forma genérica de um *roadmap* tecnológico.



Fonte: Borschiver & Lemos (2017).

Cardoso (2017) pontua que existem diversas possibilidades de design do *roadmap* na literatura, porém é interessante observar nem sempre se adequarão exclusivamente a todas as pesquisas, sejam pelo formato ou propósito. Portanto, para a sistematização dos procedimentos e garantia da obtenção do objetivo final, há a necessidade do estabelecimento de uma metodologia. A Figura 2 apresenta a metodologia básica de construção de um *roadmap* tecnológico.

Figura 2 - Metodologia para a Elaboração de *roadmap* tecnológico.



Fonte: Borschiver & Lemos (2016).

Logo, considerando sua metodologia básica este pode ser adaptado e aplicado em muitas áreas, como planejamento de produtos físicos e de serviços, desenvolvimento de árvore genealógica de produtos e planejamento de programas (LEE & PARK, 2005).

Vale salientar que a ferramenta já é utilizada por grandes empresas mundiais, como parte do seu planejamento estratégico. Exemplos importantes incluem a Motorola, pioneira na aplicação de *roadmaps* durante os anos 1980, que utilizou a ferramenta para alinhar estratégias de produto e tecnologia com suas metas de mercado (WILLYARD & MCCLEES, 1987). Da mesma forma, muitas empresas de tecnologia foram adotando *roadmaps* para gerenciar suas inovações tecnológicas e antecipar mudanças no mercado, permitindo que liderem setores altamente competitivos (LEE & PARK, 2005; PHAAL et al., 2004).

4. METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos, esta pesquisa foi realizada em três principais fases resumidas no fluxograma da Figura 3.

Figura 3 - Resumo das fases metodológicas do projeto

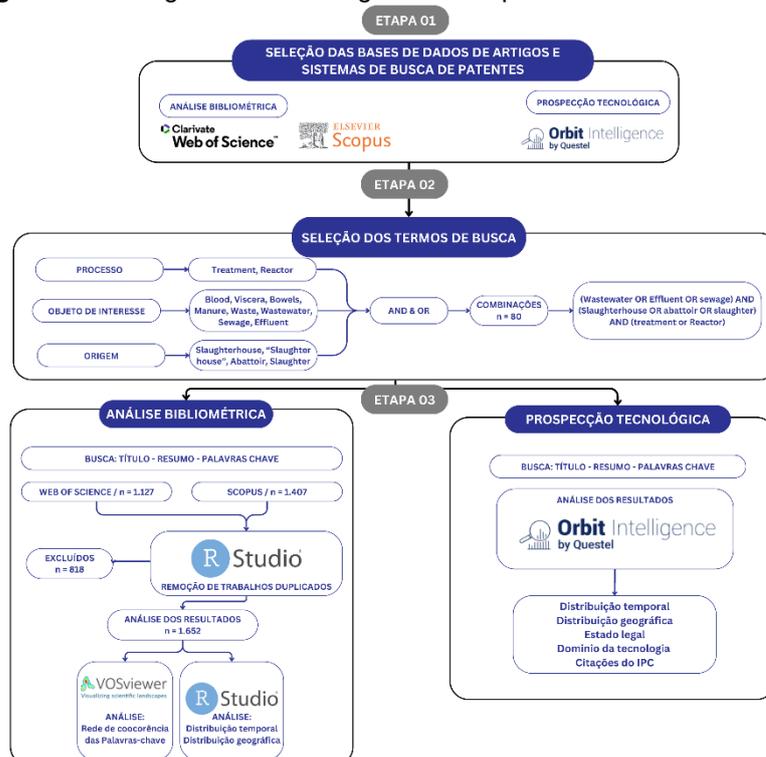


Fonte: Autor (2024)

4.1 FASE I: MAPEAMENTO DO CENÁRIO MUNDIAL DAS PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS

A Fase I teve como objetivo mapear o cenário global do tratamento de efluentes de abatedouros, sendo realizada em três etapas. Para isso, realizou-se uma análise detalhada de publicações científicas e patentes relacionadas ao tema. A pesquisa foi realizada entre os meses de agosto e setembro de 2024, e adotou uma estrutura metodológica organizada em etapas, conforme o elucidado na Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma metodológico das etapas realizadas na Fase I.



Fonte: Autor (2024)

A primeira etapa da fase I consistiu na seleção das bases de dados, sendo utilizadas para a análise bibliométrica a Web of Science (WOS) e a Scopus, através do Portal de Periódicos da CAPES, uma vez que são portais mundialmente conhecidos, que contemplam um conjunto de dados bibliográficos de variadas áreas de conhecimento. Para a prospecção tecnológica, utilizou-se o software Questel Orbit (ORBIT®), plataforma que contempla um quantitativo significativo de base de dados mundiais, destacando-se por sua flexibilidade e amplitude, frente a outros com a mesma finalidade (PIRES et al., 2020).

Na segunda etapa foi realizada a seleção dos termos de busca a partir da combinação de palavras, que remetem ao processo, objeto de interesse e a origem do mesmo. A busca nas bases de dados, da WOS e Scopus, e no sistema de buscas da Orbit, foram realizadas considerando título, resumo e palavras-chave.

A terceira etapa foi fragmentada em dois momentos, o primeiro consistiu na análise bibliométrica dos resultados obtidos na WOS e Scopus. Inicialmente realizou-se a retirada dos trabalhos duplicados através do software R.Studio versão 4.4.1 e posteriormente sua análise no próprio software através do pacote bibliometrix e no software VOSviewer versão 1.6.20.

Por fim, no segundo momento realizou-se uma análise do cenário mundial das patentes através do próprio Software Orbit versão 2.0.0.

4.2. FASE II: TENDÊNCIAS PARA SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTE DE ABATEDOUROS

A fase dois concentrou-se em uma análise das patentes de processo retornadas na base de dados da Orbit, obtidas na Fase I. Inicialmente, realizou-se a categorização das patentes em três grupos, conforme o apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma metodológico das etapas realizadas na Fase II.



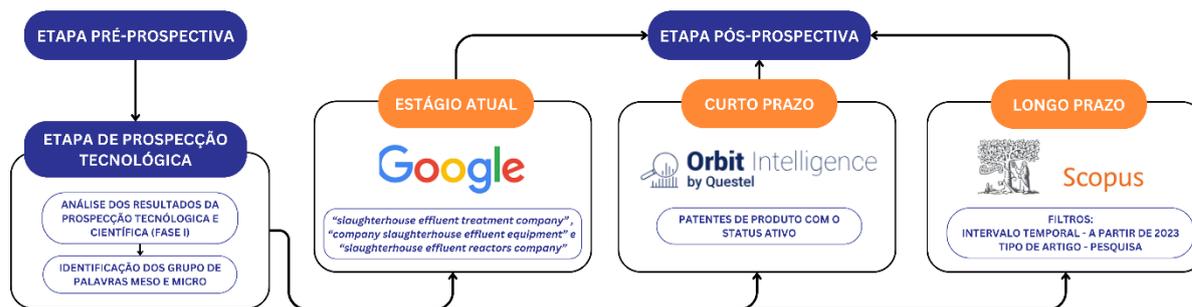
Fonte: Autor (2024)

Após a organização realizou-se o *download* dos dados em formato compatível com o software Microsoft Excel versão 2410. A posteriori, realizou-se a leitura das patentes de forma individual visando a identificação das unidades operacionais propostas em cada sistema de tratamento, sendo estes organizados e posteriormente contabilizados.

4.3. FASE III: ROADMAP TECNOLÓGICO

A fase III consistiu em uma análise focada nas patentes de produto, obtidas na etapa III da Fase I, através da construção de um *Roadmap* tecnológico. Esta fase consistiu de três etapas: a etapa pré-prospectiva, prospectiva e a etapa pós-prospectiva. A presente análise teve como base as metodologias propostas por Cardoso et al. (2017) e Tavares & Borschiver (2021), sendo fragmentada em três etapas (Figura 6).

Figura 6 - Fluxograma metodológico das etapas realizadas na Fase III.



Fonte: Autor (2024)

A etapa inicial é a denominada “pré-prospectiva”, que consiste em conhecer o estado da arte do tratamento de efluente de abatedouros, através de uma pesquisa preliminar na literatura e em mídias especializadas (TAVARES & BORSCHIVER, 2021). Seguidamente, realizou-se a etapa “Prospectiva”, conforme descrita na Fase I, o que permitiu identificar as taxonomias das análises Meso e Micro, conforme demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1. Taxonomias Meso e Micro do *Roadmap*.

MESO	MICRO
Pré-tratamento	Flotador por ar dissolvido (FAD)
	Peneiras
	Grade
	Caixa de gordura

Processo	Reatores
	Equipamentos e acessórios
	Catalisadores
Produto	Fertilizantes
	Biocombustíveis
	Outros

Fonte: Autor (2024)

Definidas as taxonomias, avançou-se para o levantamento e análises dos *players*, conforme o tipo de estágio temporal, fragmentado em “longo prazo”, “curto prazo” e “atual”. O estágio “atual” refere-se a produtos que estão sendo aplicados e comercializados, encontrados em mídias especializadas através de pesquisas no Google. Ademais o estágio denominado como “curto prazo”, compreendeu os resultados obtidos a partir de patentes concedidas e depositadas.

Enquanto para o “longo prazo” analisou-se os artigos científicos recentes, publicados desde o ano de 2023, contendo pesquisas ainda em fase inicial e realizando testes de bancada.

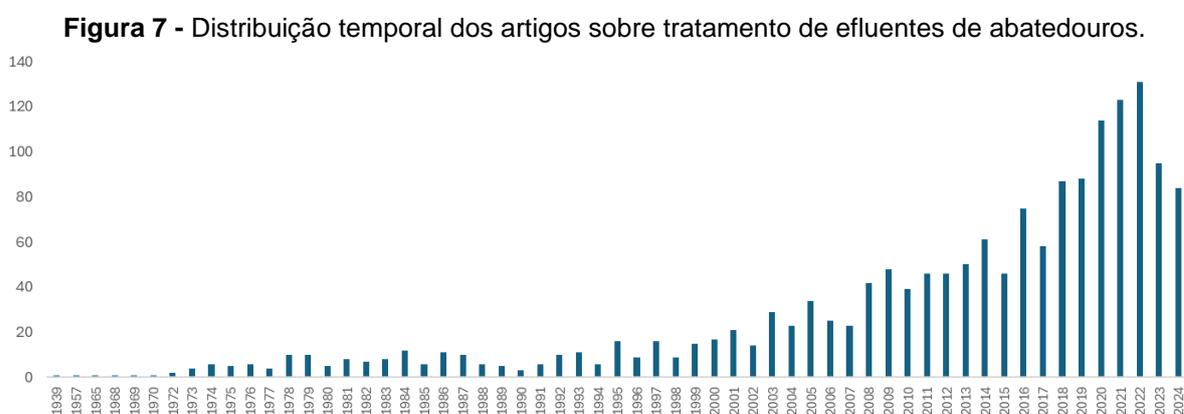
Por fim, tem-se a etapa “pós-prospectiva” onde é realizado a construção do *Roadmap* tecnológico com os *players* identificados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 FASE I: MAPEAMENTO DO CENÁRIO MUNDIAL DAS PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS

5.1.1 Publicações científicas

Ao analisar a distribuição temporal dos artigos, pode-se observar uma crescente ao longo dos anos no número de registros nas bases (Figura 7). Vale salientar que as publicações realizadas nos últimos cinco (2024-2020) e dez anos (2024-2014) representam respectivamente 33,1% e 58,3% das publicações totais retornadas nas bases.



Fonte: Autor (2024)

Destaca-se que a distribuição temporal observada, pode ter sido impulsionada pelas políticas mundiais ao longo da história, como a publicação da Clean Water Act (1972) e Effluent Guidelines (1974) nos EUA, bem como os esforços globais na promoção do controle da poluição e da gestão de águas residuais em níveis nacional e internacional através de diversas conferências, como a de Estocolmo (1972), Dublin (1992), Rio de Janeiro (1992) e Joanesburgo (2002), conforme destacado por Allaoui et al. (2015). O Quadro 2 apresenta os principais marcos legais mundiais, que englobam o setor de tratamento de efluentes.

Quadro 2. Principais políticas mundiais de proteção das águas.

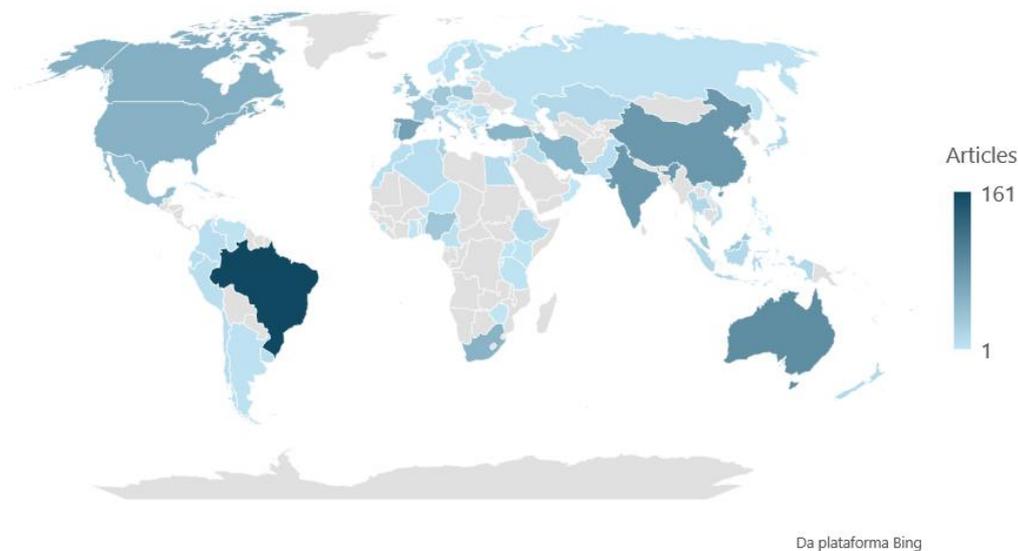
País	Ano	Evento
Alemanha	1957	Promulgação da Lei Federal de Águas, preparando o terreno para tecnologias avançadas de tratamento de águas residuais. (MÖLLER-GULLAND, 2015)
Japão	1970	Introdução da Lei de Controle da Poluição da Água em resposta a crises ambientais como a doença de Minamata. (FUNABASHI, 2006)
EUA	1972	Promulgação da Lei da Água Limpa, com foco em padrões tecnológicos para controle da poluição. (ALLAOUI et al., 2015)
Índia	1974	Estabelecimento da Lei da Água (Prevenção e Controle da Poluição), criando conselhos de controle de poluição em nível nacional e estadual. (ÍNDIA, 1974)
China	1984 e 2015	Emitiu a Lei sobre a Prevenção e Tratamento da Poluição da Água, em 1984, e introduziu o Plano de Ação para Prevenção e Controle da Poluição da Água, que se concentrou no tratamento de águas residuais industriais e urbanas, em 2015 (ZHANG, 2022).
Brasil	1997	Instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).
União Europeia	2000	Implementação da Diretiva-Quadro da Água, promovendo a gestão integrada dos recursos hídricos (SOBRAL et al., 2008).

Fonte: Autor (2024)

Vale salientar que a promulgação de tais políticas ambientais e o tamanho da produção nos países podem ter contribuído para o aumento das pesquisas científicas, tendo em vista a necessidade de soluções viáveis e sustentáveis para o tratamento e de atender às exigências legais definidas por cada país.

No panorama mundial de publicações (Figura 8), o Brasil (161) foi o país com o maior número de registros nas bases de dados, seguido da Austrália (90), China (79), Índia (78), Espanha (70) e Canadá (55).

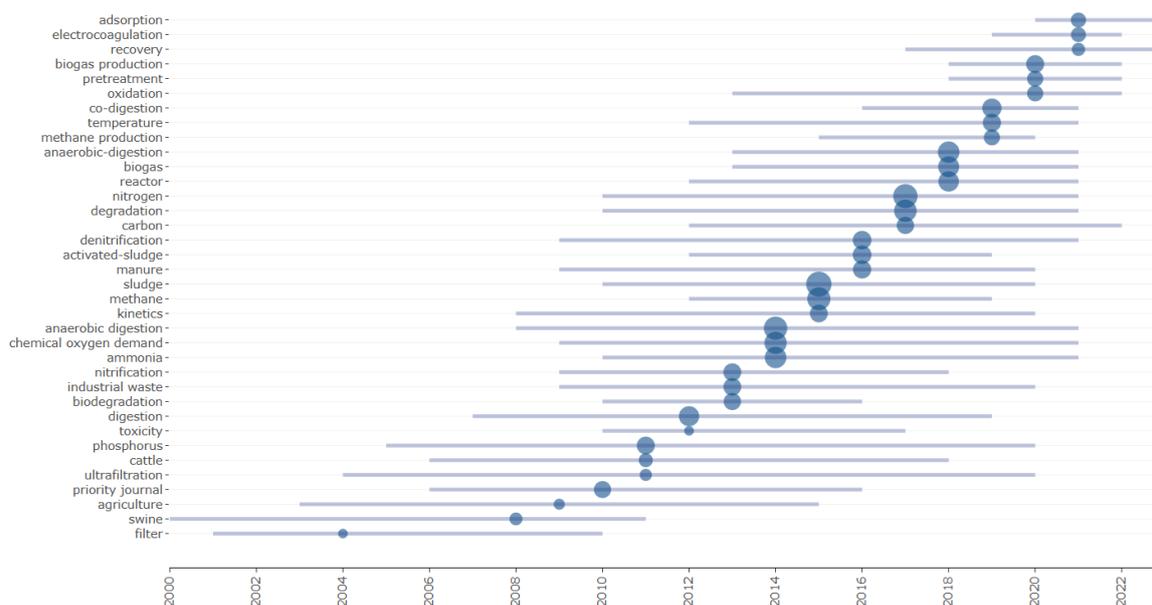
Figura 8 - Distribuição geográfica dos artigos em função dos autores de correspondência sobre tratamento de efluentes de abatedouros.



Fonte: Autor (2024)

Para a análise das tendências, foi realizada uma avaliação dos termos mais utilizados pelos autores em suas palavras-chave, excluindo-se aqueles que correspondiam aos termos de pesquisa previamente definidos. A partir da análise da Figura 9, observa-se que os termos “Adsorção” e “Eletrocoagulação”, que se referem a tecnologias de tratamento, estão entre as tendências nos últimos anos. No entanto, destaca-se que os termos associados aos processos de tratamento anaeróbio foram os mais recorrentes ao longo do período analisado.

Figura 9 - Tendências sobre tratamento de efluentes de abatedouros, a partir dos termos mais relevantes nas palavras-chave do autor.

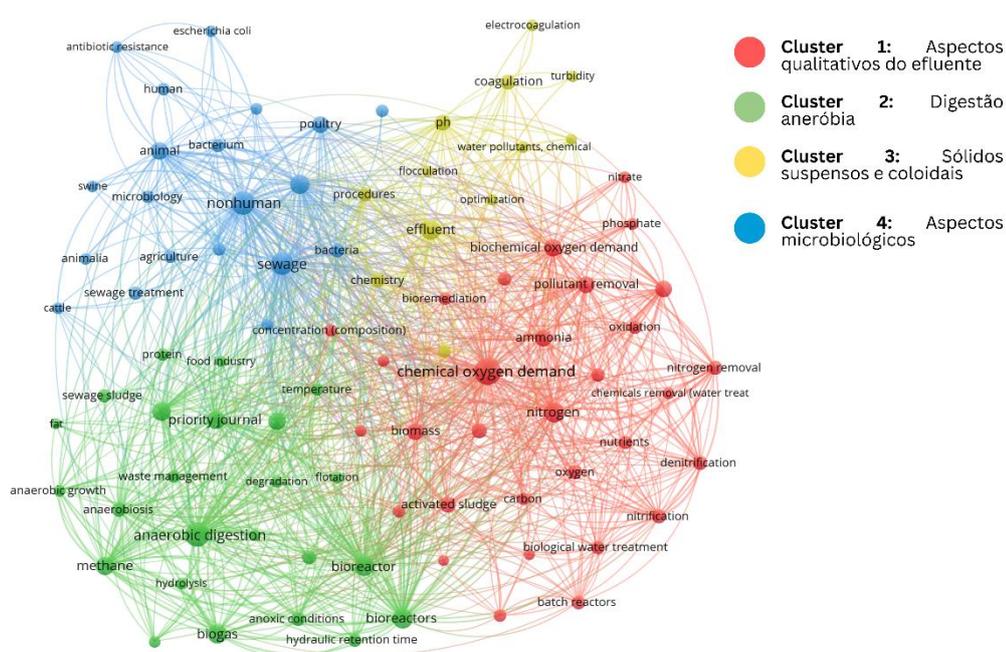


Fonte: Autor (2024)

Vale salientar, que outras tecnologias também se destacaram nas pesquisas sobre o tratamento de efluentes de abatedouros. A tecnologia de lodos ativados, por exemplo, foi mencionada 56 vezes no período de 2012 a 2019, enquanto a ultrafiltração apresentou uma frequência de 23 entre 2004 e 2020, e o uso de filtros foi referenciado em 20 publicações entre 2001 e 2010. Esses dados evidenciam tanto os avanços quanto a estagnação das tecnologias aplicadas às pesquisas científicas sobre efluentes de abatedouros, como o desuso das pesquisas com o termo “*filter*” e o aumento de artigos envolvendo a produção de biogás.

Para aprimorar a compreensão dos resultados, a Figura 10 ilustra a interconexão entre as palavras-chave, onde o tamanho dos círculos é proporcional à frequência de ocorrência, e os núcleos destacam as associações mais relevantes. O *cluster* vermelho evidencia os aspectos qualitativos do efluente, refletindo a relação entre os principais parâmetros a serem monitorados no tratamento. Termos como matéria orgânica, nitrogênio e fósforo ganham destaque nesse agrupamento. Além disso, o termo "lodo ativado" também integra o *cluster*, devido ao seu uso frequente no processo de remoção de nutrientes e alguns contaminantes dos efluentes (STACHURSKI et al., 2024; ZOU et al., 2022).

Figura 10 - Mapa de visualização de rede de palavras-chave com pelo menos 30 ocorrências.



*Salienta-se que a legenda dos cluster não representa em sua totalidade os termos chaves que o compõe, sendo apenas a representação geral dos termos de maior destaque em cada cluster.

Fonte: Autor (2024)

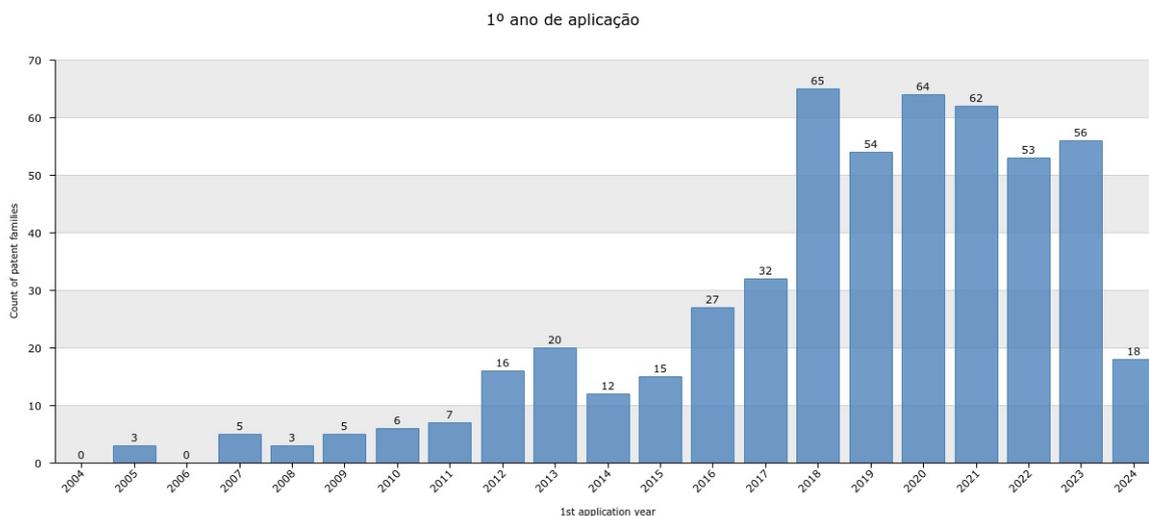
O *cluster* verde abrange termos que possuem relação com tratamentos anaeróbios, o termo “digestão anaeróbia” foi de maior destaque, sendo evidente que os demais termos estão diretamente associados a esse processo, seja como produtos, partes ou etapas envolvidas. Dentre eles, destacam-se as palavras que remetem à “proteína” e a “hidrólise”. A primeira refere-se à composição bioquímica do efluente, descrita por elevados teores de proteína devido à sua origem (PEREIRA et al., 2024; ZANOL et al., 2024), enquanto a segunda é relacionada a uma das fases do processo anaeróbio, considerada a principal etapa limitante (KUNZ et al., 2019).

O *cluster* amarelo contém termos associados à remoção de sólidos suspensos e coloidais por meio de processos físico-químicos, como a coagulação, e eletroquímicos, como a eletrocoagulação. Por sua vez, o *cluster* azul foca nos aspectos microbiológicos dos efluentes de abatedouros, sendo importante destacar termos como “agricultura” e “resistência a antibióticos”, que estão relacionados às preocupações sobre a reutilização de efluentes e seus impactos ambientais e de saúde pública (DIALLO et al., 2024). Conforme destacado por Philipp et al. (2021), as soluções que possibilitam o reúso seguro dos efluentes tratados são uma tendência emergente, com foco no atendimento às regulamentações ambientais e no aproveitamento sustentável dos recursos hídricos.

É importante destacar, que no Brasil o reúso de efluente tratado de frigoríficos assim como de outras atividades para sistemas de fertirrigação é regulamentado, devendo seguir os critérios definidos na resolução CONAMA nº 503/2021.

5.1.2 Publicações tecnológicas

Os termos de busca empregados, retornaram um total de 566 patentes, onde 44,52% destas encontram-se classificadas como interrompidas, indicando que o pedido foi descontinuado, retirado ou rejeitado antes da concessão. Ao analisar a tendência no número de patentes registradas nos últimos 20 anos pode-se observar uma crescente no quantitativo de registros (Figura 11).

Figura 11 - Tendência de investimento em tecnologia nos últimos 20 anos.

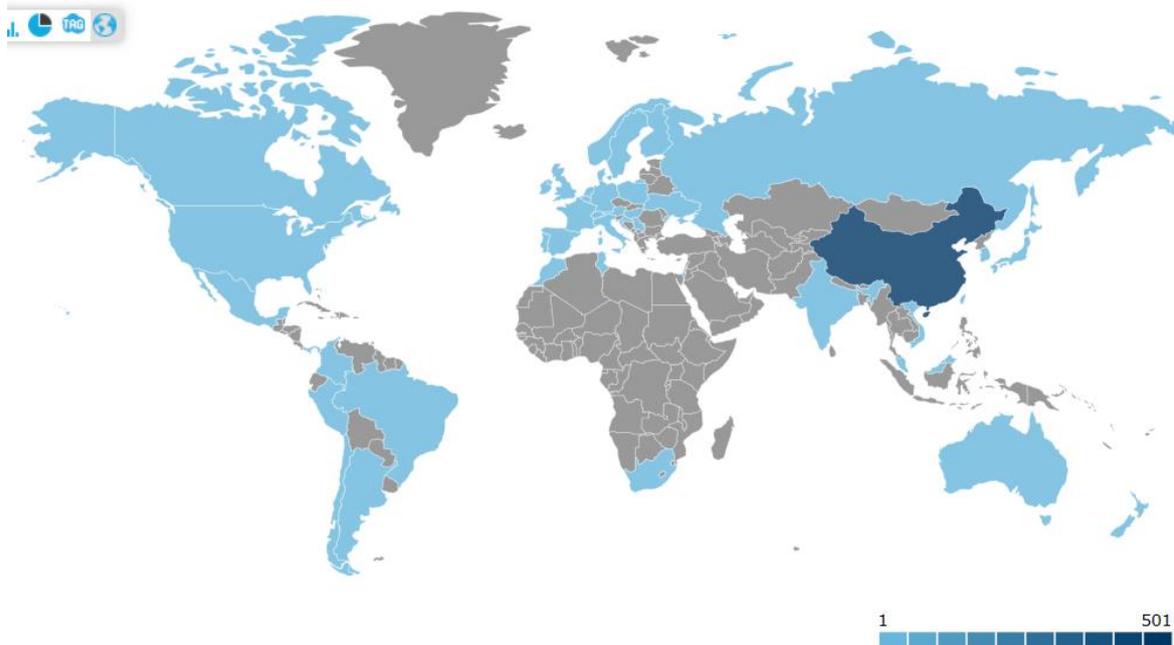
© Questel 2024

Fonte: Autor (2024)

Um aspecto importante é a forte associação existente entre o desenvolvimento e implementação de políticas públicas e a estruturação e avanços no setor de tratamento de efluentes em diversos países do mundo, conforme analisado no artigo de Mao et al. (2022). Sathya et al. (2022) explicam que o aumento significativo de investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) tem contribuído para melhorias tecnológicas no tratamento de efluentes, especialmente em indústrias que buscam atender às regulamentações ambientais de forma mais eficiente e sustentável.

A análise da distribuição espacial das patentes (Figura 12) revela que a China (501) lidera em número de registros. Esse resultado está alinhado com as políticas de incentivo à ciência e tecnologia adotadas pelo país ao longo dos anos. Segundo Cassiolato (2013) um ponto de destaque nesse contexto foi a Conferência Nacional de Ciência e Tecnologia em 2006, que resultou na formulação de um plano nacional de médio e longo prazo para o desenvolvimento científico e tecnológico, o que enfatizou a promoção de inovações.

Figura 12 - Distribuição geográfica das patentes por país de proteção.

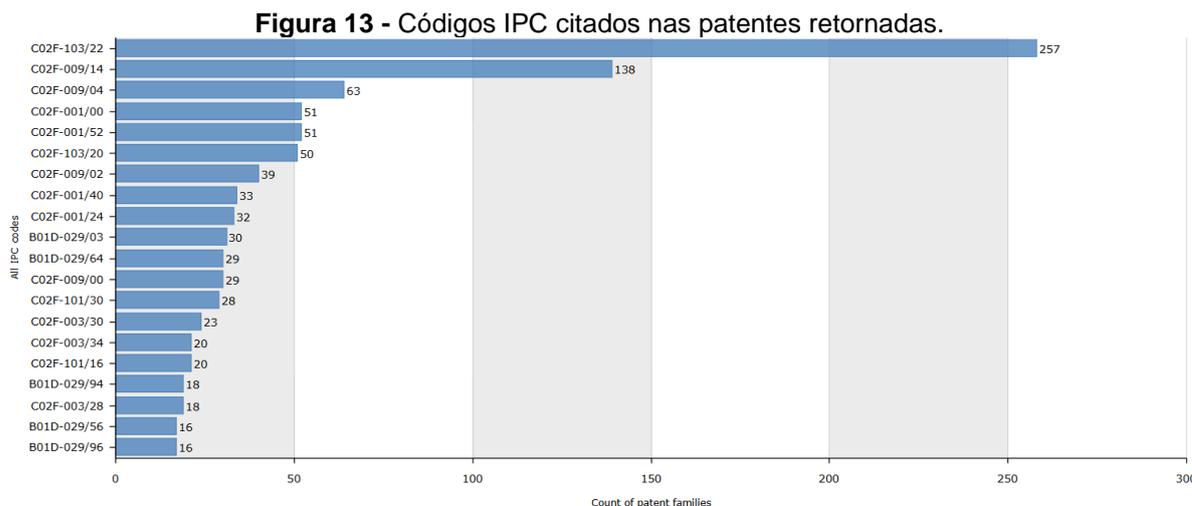


Fonte: Autor (2024)

Além da China, os maiores depositantes foram a Coreia do Sul (22), Alemanha (16) e Reino Unido (15). Contudo, com exceção da China, nenhum dos países com maior produção científica estão no ranking dos maiores depositantes, o que pode indicar uma lacuna na transformação de conhecimento acadêmico em inovações tecnológicas aplicadas.

Vale salientar que embora o Brasil tenha sido o país com maior número de publicações científicas na área de tratamento de efluentes de abatedouros, este ocupa a 11ª posição no ranking global de patentes, com sete publicações, o que pode refletir uma dificuldade em converter a pesquisa científica em soluções patenteáveis.

Ao analisar os principais códigos IPC retornados na prospecção tecnológica (Figura 13), constata-se o C02F-103/22 (Tratamento de águas residuais, lamas ou materiais de esgoto utilizando processos biológicos) e C02F-009/14 (Tratamento biológico de águas, águas residuais ou esgoto, sistemas aeróbicos) como os de maior destaque, o que válida a eficácia dos termos de busca empregados na análise.



Fonte: Autor (2024)

Outro código de destaque é o C02F-009/14, com 138 famílias de patentes, que se refere a processos biológicos para a manipulação de compostos orgânicos e a remoção de toxinas através de microrganismos. Essa abordagem é amplamente utilizada em sistemas de tratamento biológico, como lagoas de estabilização e reatores anaeróbios, para reduzir a carga orgânica dos efluentes.

Em seguida, o código C02F-001/00, que aparece com 51 famílias de patentes, corresponde a tecnologias gerais de tratamento de águas e efluentes. Esse código abrange soluções diversas, que incluem processos de purificação, separação de fases e remoção de impurezas. Vale destacar também, o C02F-003/30, com 23 famílias de patentes, refere-se a processos de floculação e sedimentação, tecnologias comumente empregadas na remoção de sólidos suspensos presentes na água.

Além disso, o quantitativo representativo de patentes nos códigos B01D-029/03 e B01D-029/64, que somam 30 e 29 famílias de patentes, respectivamente, demonstra a relevância de tecnologias de membranas e separação para a purificação de efluentes.

5.2. TENDÊNCIAS E OPORTUNIDADES PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES EM ABATEDOUROS

5.2.1 Sistemas de tratamento de efluentes

A partir da análise das patentes retornadas encontrou-se 153 famílias de patentes que tratam sobre sistemas de tratamento de efluentes, onde destas 49% encontram-se garantidas ou pendentes. Vale destacar, que dos resultados retornados,

72 famílias concentram-se na China, o país com maioria absoluta de registros, o que demonstra sua relevância na área.

Ao analisar o grupo de conceito relacionados aos sistemas de tratamento registrados (Figura 14) pode-se observar um destaque para termos relacionados a remoção de nitrogênio, evidenciado pelos grupos *denitrification*, *anoxic tank* e *ammonia nitrogen*. O que se relaciona diretamente a composição do efluente de abatedouros, pois são caracterizados como uma água residual de alta resistência contendo alta demanda química de oxigênio (DQO) e nitrogênio total (NT) (TONG et al., 2023; ZANOL et al., 2024).

Figura 14 - Grupo de conceito relacionados aos sistemas de tratamento de efluentes.



Fonte: Orbit (2024)

Associado a isso ainda se percebe uma preocupação crescente de muitos países em diminuir cada vez mais o impacto ambiental causado pelo lançamento de efluente em corpos hídricos, através de padrões de lançamentos mais rigorosos para parâmetros como NT, como acontece na China ($NT \leq 10,0$ mg/L), bacias hidrográficas sensíveis na Europa ($NT \leq 10,0$ mg/L) e Baía de Chesapeake nos EUA ($NT \leq 3,0$ mg/L) (MA et al., 2025).

Vale salientar, que além dos aspectos legais existem os requisitos operacionais, pois o teor de nitrogênio característico destes efluentes também resulta

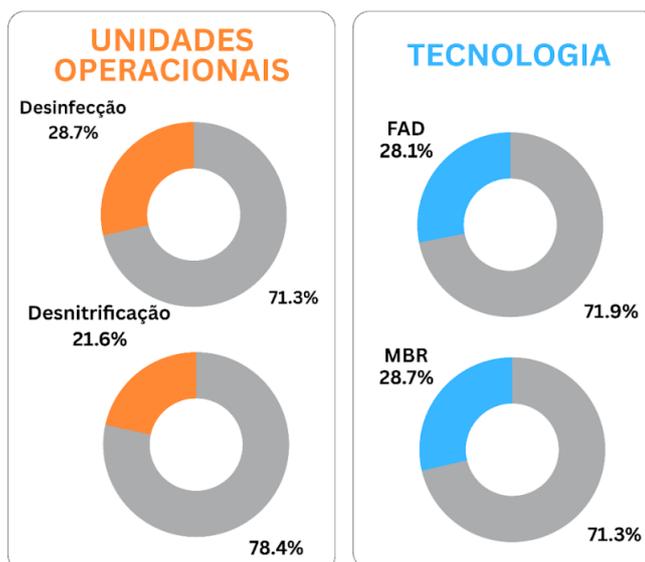
em impactos em algumas unidades operacionais do sistema de tratamento, como é o caso dos reatores anaeróbios. Pois segundo Kunz et al. (2019), a amônia (NH_3) é um nutriente essencial para o crescimento dos microrganismos anaeróbios, mas também é tóxica em concentrações elevadas.

Além dos termos relacionados a remoção de nitrogênio a Figura 14 apresenta outros grupos como *aerobic tank*, *aeration*, *sewage treatment* e *slaughter wastewater*, que estão associados principalmente às unidades operacionais de remoção de matéria orgânica e desinfecção.

Ao analisar os sistemas de tratamento registrados nas patentes de forma individualizada, foi possível identificar as unidades operacionais mais comuns. Contudo, considerando a diversidade e a ausência de informações dos registros, optou-se por contabilizar as unidades e processos de tratamento voltadas para remoção de nitrogênio, sólidos grosseiros e microrganismos, estes problemas relatados comumente por autores em seus trabalhos (SATHYA et al., 2022; PEREIRA et al., 2024; MA et al., 2025).

Ao analisar a Figura 15a pode-se observar que 28,7% dos sistemas propostos pelas patentes contemplam unidades de desinfecção do efluente, variando entre lagoas facultativas, tanques de contato e radiação ultravioleta. As unidades operacionais de desnitrificação, foram registradas em 21,6% do total de patentes. Entretanto, salienta-se que nem todas as patentes apresentam o sistema completo de tratamento, considerando os níveis de tratamento segundo Von Sperling (2005), existindo alguns casos em que apenas parte do sistema é apresentado.

Figura 15 – (a) Unidades Operacionais e (b) Tecnologias de destaque nos sistemas de tratamento de efluentes de abatedouros.



Fonte: Autor (2024)

Ao analisar as principais tecnologias apresentadas nos sistemas de tratamento proposto (Figura 15b), observa-se que 28,1% das patentes empregam a tecnologia de flotação por ar dissolvido (FAD). Segundo Piaggio et al. (2024), o FAD é um processo de separação que utiliza microbolhas para remover sólidos suspensos de líquidos, onde a eficiência do sistema está relacionada à formação de aglomerados partícula-bolha, que flutuam ou sedimentam dependendo de sua densidade e características físicas, envolvendo etapas de coagulação e floculação. Segundo Shende et al. (2023) a FAD vem ganhando cada vez mais aplicação nos diversos efluentes industriais, incluindo abatedouros, devido a sua eficiência na remoção de gorduras, óleo e graxa, sólidos suspensos e demanda bioquímica de oxigênio.

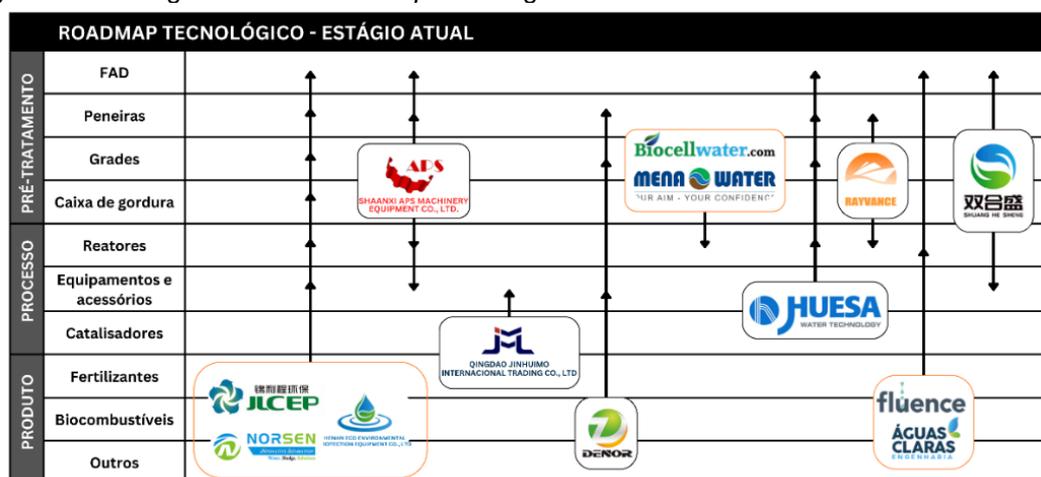
Outra tecnologia de destaque são os biorreatores de membrana (MBR), que foram contabilizados em 28,7% dos sistemas, tecnologia esta que vem ganhando espaço devido aos resultados promissores que a mesma apresenta (RADMAN et al., 2023; VIET et al., 2023). Tais resultados demonstram a robustez que os sistemas de tratamento para abatedouro estão adquirindo.

5.2.2 Roadmap tecnológico

Visando representar de forma sistemática as relações existentes entre o mercado atual, as patentes e as publicações científicas, elaborou-se um *roadmap* tecnológico, a fim de poder elucidar as tendências e oportunidades na área.

Na Figura 16, pode-se observar o recorte do estágio atual do *Roadmap*, apresentando os principais *players* que estão posicionados no mercado de produtos para o tratamento de efluente de abatedouros.

Figura 16 – Estágio atual do *Roadmap* tecnológico do tratamento de efluentes de abatedouros.



*Os círculos em laranja indicam empresas com produtos e perfis similares.

Fonte: Autor (2024)

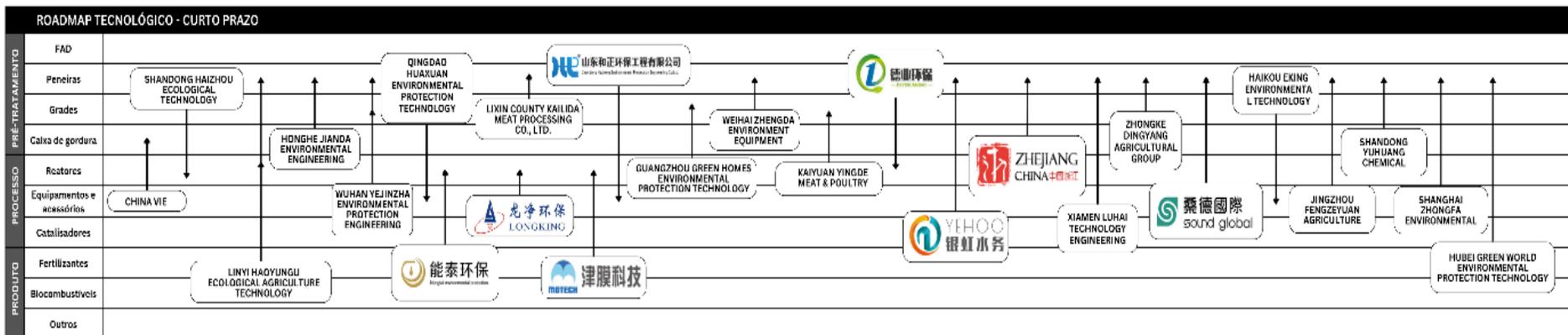
Vale destacar que muitas empresas produzem e comercializam os mais diversos produtos levantados, sinalizado pela junção de várias setas, desde insumos até unidades operacionais de tratamento. Contudo, ao analisar o perfil dos *players* encontrados percebe-se que eles atuam, em sua maioria, apenas com tratamento de efluentes. Entre os identificados, um quantitativo representativo possui suas sedes no território da China, porém comercializam seus produtos para todo o globo. Os principais destaques encontrados foram a Norsen Co. LTD, Henan Eco Environmental Protection Equipment Co. LTD e Jinicheng Environmental Technology Co. LTD, empresas com os mais diversos tipos de soluções.

Entre as soluções observadas no *Roadmap*, destacam-se os sistemas de tratamento em contêineres automatizados, que possibilitam a instalação e desinstalação da estação com maior agilidade. Os *players* mapeados que oferecem este tipo de solução são a Biocell Water International Ltd. e Mena Water FZC.

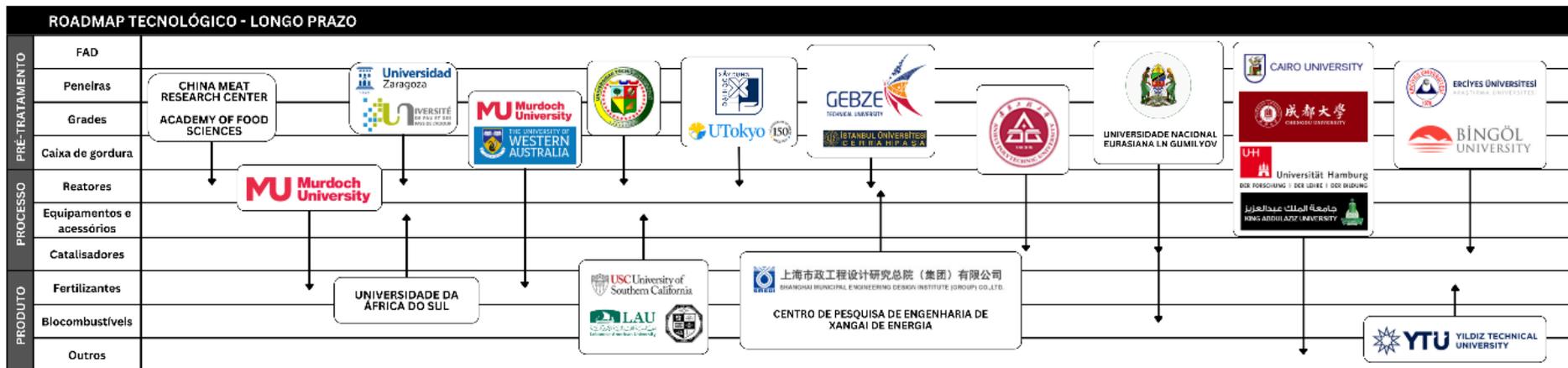
A Figura 17a apresenta um recorte de curto prazo, obtido a partir das patentes prospectadas e categorizadas no software Orbit. Pode-se observar que grande parte das patentes identificadas propõem uma unidade de pré-tratamento com o uso de peneiras, visando principalmente a remoção de sólidos grosseiros, característica comum deste tipo de efluente.

Figura 17- Estágio de (a) curto e (b) longo prazo do Roadmap do tratamento de efluentes de abatedouros.

(A)



(B)



Fonte: Autor (2024)

Entre os players identificados estão algumas empresas especializadas na fabricação de tecnologia e equipamentos avançados, como a Nengtai High-tech Environmental Protection Technology Co., Ltd., uma empresa subsidiária da Beijing Nengtai Environmental Protection Industry, grupo empresarial com foco em proteção ambiental. A patente identificada trata de uma unidade operacional que objetiva a remoção de sólidos grosseiros (CN-U686259, 02 de abril de 2021), contudo a empresa conta com um total de 29 invenções patenteadas.

Outra empresa de destaque no setor é a Fujian Longking Co., Ltd., empresa chinesa com mais de 50 anos no mercado, a mesma atua nos mais diversos segmentos de proteção ambiental, durante o levantamento identificou-se uma patente de um dispositivo de tratamento (CN-U769864, 23 de maio de 2018).

Especializada em membranas a Tianjin Motian Membrane Technology Co. Ltd., empresa chinesa fundada em 1974, também possui produtos voltados para tratamento de efluentes de abatedouros, sendo detentora de um equipamento de tratamento de dosagem e retenção de sólidos (CN-U247229, 30 de janeiro de 2020).

Isso é observado entre as patentes, uma tendência por máquinas que possibilitem a remoção de parâmetros específicos, como é o caso de sólidos grosseiros. Além disso, que minimizem principalmente o número de ações para limpeza ou retirada dos sólidos da unidade, possuindo algum mecanismo mecânico específico ou com o funcionamento a base de energia elétrica.

Por fim, a Figura 17b apresenta o ponto zero da busca, o que possibilita entender as possíveis tendências do mercado futuro. Pode-se observar presença de universidades de diversos países, dada a análise de artigos científicos, bem como de parcerias internacionais.

A parceria entre a *University of Zaragoza* e *Universite de Pau et des Pays de l'Adour*, combinando fotocatalise e adsorção (MOLES et al., 2024), o trabalho com sistemas híbridos de membranas da *Hanoi University of Civil Engineering* e a *University of Tokyo* (TRAN et al., 2023), e a aplicação de materiais de última geração, como óxido de grafeno, pesquisa da *University of South Africa* (RASEALA et al., 2024), demonstram esforços a longo prazo visando aumentar a eficiência de remoção de contaminantes específicos, como antibióticos e compostos orgânicos complexos.

Outro aspecto relevante constatado na análise foi o desenvolvimento de biotecnologias, para auxiliar no tratamento de efluentes e recuperação de recursos,

com o uso de sistemas fungo-alga, da *Anhui Polytechnic University* (SHI et al., 2023), e bacteriófagos proposto pela *The University of Dodoma*, *L.N. Gumilyov Eurasian National University* e *S. Amanzholov National East* (MKILIMA et al., 2024).

A valorização dos resíduos também foi observada como uma tendência neste estágio, como a parceria entre a *Chengdu University*, *University of Hamburg* e *King Abdulaziz University* visando a fitorremediação para produção aprimorada de biomassa e biodiesel (ELSAYED et al., 2024) e a recuperação de nutrientes a partir do digestato, resultado da parceria entre *Murdoch University*, *University of Western Australia* e *University of Southern Queensland* (SHAYESTEHE et al., 2023).

Portanto, considerando o cenário de “Longo Prazo” observa-se uma convergência tecnológica voltada para o desenvolvimento de soluções específicas e de alta eficiência no tratamento de efluentes de abatedouros, que não visam apenas propor novos tipos de sistemas e unidades operacionais, mas soluções para a valorização dos resíduos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do mapeamento e análise do cenário das publicações, científicas e tecnológicas, constata-se que a China é o país de maior relevância no segmento de tratamento de efluentes de abatedouros, tendo em vista o maior quantitativo de artigos e patentes registradas em seu território.

Considerando as tendências globais observadas, a partir dos resultados das prospecções e análise de patentes, é observado uma tendência no desenvolvimento de pesquisas e tecnologias, que visam não apenas a remoção de matéria orgânica, mas também passam a remover outros poluentes, principalmente o nitrogênio.

A partir da análise estratégica dos *Roadmaps* Tecnológicos em uma perspectiva de Estágio Atual, Curto Prazo e Longo Prazo, visualizam-se diversas tendências tecnológicas no desenvolvimento de unidades operacionais e equipamentos auxiliares, principalmente no que tange a remoção de sólidos grosseiros, tanto no estágio atual quanto de longo prazo. Observa-se ainda que o desenvolvimento de produtos a partir desses resíduos se mostrou pouco explorado, o que pode sinalizar uma janela de oportunidade para novos *players*.

Tomando por base o cenário descrito neste estudo, pode-se concluir que o tema é inovador e promissor, podendo auxiliar os tomadores de decisão a ingressarem no segmento, ou realizar futuros investimentos e parcerias, visualizar concorrentes e aplicações relacionados ao tratamento de efluente de abatedouros.

REFERÊNCIAS

ALLAOUI, M.; SCHMITZ, T.; CAMPBELL, D.; DE LA PORTE, C. A. United Nations Environment Programme. Good Practices for Regulating Wastewater Treatment: Legislation, Policies and Standards. **United Nations Environment Programme**, 2015, p. 122. ISBN: 978-92-807-3474-4. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/report/good-practices-regulating-wastewater-treatment-legislations-policies-and-standards>.

ALOFAYSAN, H.; RADULESCU, M.; SI MOHAMMED, K. The effect of digitalization and green technology innovation on energy efficiency in the European Union. **Energy Exploration & Exploitation**, v. 42, n. 5, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1177/01445987241253621>. Acesso em: 26 nov. 2024.

AZAM, R.; BHARTI, A.; GORIA, K.; ALLEN, T.; ASHOKKUMAR, V.; KOTHARI, R.; PATHANIA, D.; SINGH, R. P.; TYAGI, V. V. Biobased treatment and resource recovery from slaughterhouse wastewater via reutilization and recycling for sustainable waste approach. **Journal of Water Process Engineering**, v. 58, p. 104712, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104712>.

AZIZ, A.; BASHEER, F.; SENGAR, A.; IRFANULLAH, B.; KHAN, S. U.; FAROOQI, I. H. Biological wastewater treatment (anaerobic-aerobic) technologies for safe discharge of treated slaughterhouse and meat processing wastewater. **Science of The Total Environment**, v. 686, p. 681-708, 10, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.295>.

AZIZ, A.; RAMEEZ, H.; SENGAR, A.; SHARMA, D.; FAROOQI, I. H.; BASHEER, F. Biogas production and nutrients removal from slaughterhouse wastewater using integrated anaerobic and aerobic granular intermittent SBRs – Bioreactors stability and microbial dynamics. **Science of The Total Environment**, v. 848, p. 157575, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157575>.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jan. 1997.

BORSCHIVER, S.; SILVA, A. **TECHNOLOGY ROADMAP - Planejamento Estratégico para alinhar Mercado-Produto-Tecnologia**. Ed. Interciência, 2016.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução n.º 503, de 19 de novembro de 2020**. Dispõe sobre o conteúdo mínimo do plano de desativação de empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 01 dez. 2020.

CARDOSO, F. S. **Elaboração de Roadmaps Tecnológicos da Produção de Biogás a partir de Palha e Vinhaça**. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Rio de Janeiro, 2017.

CAMPOS, F.; NOLASCO, M. A. Prospecção Científica e Tecnológica Aplicada ao Conceito de Estações de Tratamento de Esgoto Sustentáveis. **Cadernos de Prospecção**, [S. l.], v. 14, n. 3, p. 964, 2021. DOI: <https://doi.org/10.9771/cp.v14i3.37258>.

COELHO, J. A. F.; BOTELHO JUNIOR, S.; TAHIM, E. F. Roadmap tecnológico: um estudo preliminar. **Revista Eletrônica de Ciência Administrativa**, v. 11, n. 2, p. 168-177, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5329/RECADM.20121102001>.

DAIM, T. U.; YOON, B.-S.; LINDENBERG, J.; GRIZZI, R.; ESTEP, J.; OLIVER, T. Strategic roadmapping of robotics technologies for the power industry: A multicriteria technology assessment. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 131, p. 49–66, jun. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.01.014>

DIALLO, H. M.; AYYOUB, H.; ELAZHAR, F.; TAHAIKT, M.; ELMIDAOU, A.; TAKY, M. Evaluation of the potential ultrafiltration to improve the quality of secondary effluents in tertiary treatment and reuse. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 135, p. 103672, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2024.103672>.

ELSAYED, M.; MOSTAFA, E.; ALMUTAIRI, AW; ABBAS, DG; IBRAHIM, MM; HANELT, D.; ABOMOHR, A. Valorization of matattoir water discard through phycoremediation for enhanced biomass and biodiesel production. **Biomass and Bioenergy**, v. 191, p. 107448, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2024.107448>

EMERICK, T.; VIEIRA, J. L.; SILVEIRA, M. H. L.; JOÃO, J. J. Ultrasound-assisted electrocoagulation process applied to the treatment and reuse of swine slaughterhouse wastewater. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 8, n. 6, p. 104308, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104308>

FERRER, S. J. C.; POLO, N. V. D.; MONTIEL, A. R. D.; ANDRADE, G. J. C. Aclimação de biomassa microbiana a efluentes de abatedouro de suínos em reatores batch. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, São Paulo, v. 11, p. e09782, 2024. DOI: [10.24857/rgsa.v18n11-121](https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n11-121).

FUNABASHI, H. Minamata disease and environmental governance. **Asian Journal of Social Science**, v. 34, n. 2, p. 299-317, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-6781.2006.00082.x>.

GIL, M. I., & ALLENDE, A. **Water and wastewater use in the fresh produce industry: food safety and environmental implications**. In *Quantitative Methods for Food Safety and Quality in the Vegetable Industry*. Springer, p. 59-76, 2018.

HILARES, R. T.; ATOCHE-GARAY, D. F.; PINTO PAGAZA, D. A.; AHMED, M. A.; COLINA ANDRADE, G. J.; SANTOS, J. C. Promising physicochemical technologies for poultry slaughterhouse wastewater treatment: A critical review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 2, p. 105174, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105174>.

ÍNDIA. **Water (Prevention and Control of Pollution) Act, 1974**. Disponível em: <https://www.indiacode.nic.in/handle/123456789/1612>. Acesso em: 5 dez. 2024.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R.L.R.; AMARAL, A.C.D. **Fundamentos da Digestão Anaeróbia, Purificação do Biogás, Uso e Tratamento do Digestato**. Embrapa Suínos e Aves: Concórdia, Brazil, 2019; 209p, ISBN 978-85-93823-01-5. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1108617>.

KOTHARI, R.; AZAM, R.; BHARTI, A.; GORIA, K.; ALLEN, T.; ASHOKKUMAR, V.; PATHANIA, D.; SINGH, R. P.; TYAGI, V. V. Biobased treatment and resource recovery from slaughterhouse wastewater via reutilization and recycling for sustainable waste approach. **Journal of Water Process Engineering**, v. 58, p. 104712, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104712>.

LEE, S.; PARK, Y. Customization of technology roadmaps according to roadmapping purposes: Overall process and detailed modules. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 72, n. 5, p. 567-583, jun. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2004.10.005>.

MA, Z.; TANG, R.; LIN, L.; ZHANG, Z.; PENG, P.; LIAN, M.; PENG, H.; LIU, B.; LI, Z.; AN, Y.; ZHOU, Z. Enhancing biological nitrogen removal of slaughterhouse and meat processing wastewater in three-stage AO process by influent allocation: From lab-scale to full-scale investigation. **Separation and Purification Technology**, v. 354, p. 129159, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.129159>.

MAO, G.; HAN, Y.; LIU, X.; CRITTENDEN, J.; HUANG, N.; AHMAD, U. M. Technology status and trends of industrial wastewater treatment: A patent analysis. **Chemosphere**, v. 288, p. 132483, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132483>.

MKILIMA, T.; SASPUGAYEVA, G.; DAKIEVA, K.; TUSSUPOVA, Z.; ZHAKEN, A.; KUMARBKULY, S.; DARIBAY, A.; KHUSSAINOV, M. Enhancing slaughterhouse wastewater treatment through the integration of microbial fuel cell and Electro-Fenton systems: A comprehensive comparative analysis. **Journal of Water Process Engineering**, v. 57, p. 104743, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104743>.

MÖLLER-GULLAND, J.; LAGO, M.; McGLADE, K.; ANZALDUA, G. Effluent tax in Germany. In: LAGO, M.; MYSIAK, J.; GÓMEZ, C.; DELACÁMARA, G.; MAZIOTIS, A. (Eds.). Use of economic instruments in water policy. **Global Issues in Water Policy**, vol. 14, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-18287-2_3.

MOLES, S.; ORMAD, M. P.; GOMEZ, J.; SZPUNAR, J.; BOLEA, E.; MOSTEO, R. Pilot plant approach combining photocatalysis and adsorption for antibiotics removal from slaughterhouse and urban wastewater treatment plant effluents. **Environmental Technology & Innovation**, v. 34, 103586, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103586>.

NG, M.; Dalhatou, S.; Wilson, J.; Kamdem, B.P.; Temitope, M.B.; Paumo, H.K.; Djelal, H.; Assadi, A.A.; Nguyen-Tri, P.; Kane, A. Characterization of Slaughterhouse Wastewater and Development of Treatment Techniques: A Review. **Processes**, 10, 1300, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr10071300>.

NOH, H.; KIM, K.; SONG, Y.-K.; LEE, S. Opportunity-driven technology roadmapping: The case of 5G mobile services. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 163, 120452, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120452>.

OULEBSIR, R.; LEFKIR, A.; SAFRI, A.; BERMAD, A. Optimization of the energy consumption in activated sludge process using deep learning selective modeling. **Biomass and Bioenergy**, v. 132, p. 105420, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105420>.

PARK, H.; PHAAL, R.; HO, J.-Y.; O'SULLIVAN, E. Twenty years of technology and strategic roadmapping research: A school of thought perspective. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 154, p. 119965, 2020. DOI: 10.1016/j.techfore.2020.119965.

PEREIRA, A. K. dos S.; TEIXEIRA, K. C.; PEREIRA, D. H.; CAVALLINI, G. S. A critical review on slaughterhouse wastewater: Treatment methods and reuse possibilities. **Journal of Water Process Engineering**, v. 58, p. 104819, fev. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.104819>.

PEREIRA, M. A. B.; PEREIRA, A. K. dos S.; CARLOS, T. D.; DORNELAS, A. S. P.; SARMENTO, R. A.; CAVALLINI, G. S.; SOARES, A. M. V. M. Ecotoxicological evaluation of effluent from bovine slaughterhouses disinfected by peracetic acid (PAA) using the bioindicator *Girardia tigrina*. **Environmental Research**, v. 252, parte 1, p. 118756, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118756>.

PIAGGIO, A. L.; SMITH, G.; DE KREUK, M. K.; LINDEBOOM, R. E. F. Application of a simplified model for assessing particle removal in dissolved air flotation (DAF) systems: Experimental verification at laboratory and full-scale level. **Separation and Purification Technology**, v. 340, p. 126801, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.126801>.

PHILIPP, M.; MASMOUDI JABRI, K.; WELLMANN, J.; AKROUT, H.; BOUSSELMI, L.; GEISSEN, S.-U. Tratamento de águas residuais de abatedouros: uma revisão sobre possibilidades de reciclagem e reutilização. **Water**, 2021, 13, 3175. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13223175>.

PHAAL, R., FARRUKH, C. J. P., & PROBERT, D. R. Technology roadmapping—a planning framework for evolution and revolution. **Technological Forecasting and Social Change**, 71(1–2), 5-26, 2004. DOI:10.1016/S0040-1625(03)00072-6.

PIRES, E. A.; RIBEIRO, N. M. & QUINTELLA, C. M. Sistemas de Busca de Patentes: análise comparativa entre Espacenet, Patentscope, Google Patents, Lens, Derwent Innovation Index e Orbit Intelligence. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 13, n. 1, p. 13-29, 2020. DOI: <https://doi.org/10.9771/cp.v13i1.35147>.

POST, C.; SARALA, R.; GATRELL, C.; PRESCOTT, J. E. Advancing theory with review articles. **Journal of Management Studies**, v. 57, n. 2, p. 351-376, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/joms.12549>.

RAMADAN, L.; DEEB, R.; SAWAYA, C.; EL KHOURY, C.; WAZNE, M.; HARB, M. Anaerobic membrane bioreactor-based treatment of poultry slaughterhouse wastewater: Microbial community adaptation and antibiotic resistance gene profiles. **Biochemical Engineering Journal**, v. 192, p. 108847, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2023.108847>.

RASEALA, M. J.; MOTSA, M. M.; SIGWADI, R. A.; MOUTLOALI, R. M. Incorporation of graphene oxide into zwitterion containing polyethersulfone membranes to minimize fouling during the remediation of abattoir wastewater. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, In Press, Corrected Proof, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2024.10.014>.

REIS, D. R. dos; VINCENZI, T. B. de; PUPO, F. P. Técnicas de prospecção: um estudo comparativo. **Revista de Administração Contemporânea**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 2, art. 1, p. 135-153, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1982-7849rac2016140016>.

SÁNCHEZ, Z.; MARTÍ-HERRERO, J.; ESCALANTE, H.; CASTRO, L. Integration of mesophilic biogas plant in the animal slaughter process under real limitations: Techno-economic evaluation of a colombian bovine slaughterhouse. **Waste Management**, v. 160, p. 112–122, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.02.013>.

SÁNCHEZ-PÉREZ, M.; MARÍN-CARRILLO, M. B.; SEGOVIA-LÓPEZ, C.; TERÁN-YÉPEZ, E. Bibliometric articles in business and management: Factors affecting production and scholarly impact. **Journal of Business Research**, v. 186, p. 114950, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.114950>.

SANTOS, A.C. dos, & OLIVEIRA, M.A.J. de. Consumo de água na indústria de abate de bovinos do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB)**, (42), p. 26–36, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820160035>.

SINFIELD, J. V.; AJMANI, A.; McSHANE, W. Strategic roadmapping to accelerate and risk-mitigate enabling innovations: A generalizable method and a case illustration for marine renewable energy. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 209, p. 123761, dez. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123761>.

SHENDE, A. D.; RAO, N. N.; POPHALI, G. R. Development of an improved solids-liquid separation reactor for floatable & settleable solids in DAF slurry of a slaughterhouse. **Journal of Water Process Engineering**, v. 51, p. 103431, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103431>.

SOBRAL, M. do C. M.; GUNKEL, G.; BARROS, A. M. L. de; PAES, R.; FIGUEIREDO, R. de C. CLASSIFICAÇÃO DE CORPOS D'ÁGUA SEGUNDO A DIRETIVA-QUADRO DA ÁGUA DA UNIÃO EUROPÉIA – 2000/60/CE. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Rio de Janeiro, n. 11, p. 30–39, 2008. Disponível em: https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/416.

SOUZA, A.C.& ORRICO, S.R.M. Consumo de água na indústria de abate de bovinos do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 3, pág. 191-201, 2016. DOI: [10.5327/Z2176-947820160035](https://doi.org/10.5327/Z2176-947820160035).

STACHURSKI, A.; DELGORGE, F.; MUSZYŃSKI, A. Water reuse from wastewater: Experiences and challenges of implementing a full-scale water reuse system in a food industry plant. **Journal of Water Process Engineering**, v. 59, p. 104994, mar. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.104994>.

SHAYESTEH, H.; JENKINS, S. N.; MOHEIMANI, N. R.; BOLAN, N.; BÜHLMANN, C. H.; GURUNG, S. K.; VADIVELOO, A.; BAHRI, P. A.; MICKAN, B. S. Nitrogen dynamics and biological processes in soil amended with microalgae grown in abattoir digestate to recover nutrients. **Journal of Environmental Management**, v. 344, p. 118467, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.j.20>.

TAVARES, A. S.; BORSCHIVER, S. Elaboração de Roadmap Tecnológico e de Modelo de Negócios de Economia Circular. **Cadernos de Prospecção**, [S. l.], v. 14, n. 3, p. 810, 2021. DOI: <https://doi.org/10.9771/cp.v14i3.39052>.

TRAN, N. T. V.; VU, D. C.; DUONG, T. H. Effect of hydraulic retention time on performance of anaerobic membrane bioreactor treating slaughterhouse wastewater. **Environmental Research**, v. 233, 116522, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116522>.

VIET, N. T. T.; VU, D. C.; DUONG, T. H. Effect of hydraulic retention time on performance of anaerobic membrane bioreactor treating slaughterhouse wastewater. **Environmental Research**, v. 233, p. 116522, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116522>.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, v. 01. Minas Gerais: ABES, 2005.

WILLYARD, C. H., & MCCLEES, C. W. Motorola's technology roadmap process. **Research Management**, 30(5), 13-19, 1987. DOI: <https://doi.org/10.1080/00345334.1987.11757057>.

XIONG, S.; MAO, J.; LIU, M.; ZHOU, X.; XU, X.; QIN, X.; GE, L.; WANG, L.; CHEN, B.; LI, T.; LUO, Y. Research on the development strategy of China's engineering science and technology of the next 20 years: Development strategy of airborne geophysical exploration technology. **Strategic Study of CAE**, v. 26, n. 5, p. 104–116, 2024. DOI: 10.15302/J-SSCAE-2024.05.011.

ZANOL, M. B.; LIMA, J. P. P.; ASSEMANY, P.; AGUIAR, A. Assessment of characteristics and treatment processes of wastewater from slaughterhouses in the state of Minas Gerais, Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 358, p. 120862, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120862>.

ZHANG, Z. **Policy proposal to reduce water pollution in China**. 2022. Capstone project (Master of Arts in Public Management) – Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland, 2022. Disponível em: <https://jscholarship.library.jhu.edu/server/api/core/bitstreams/0a5f94a5-5c2e-41b2-8ff9-cf9cbf0e289e/content>

ZOU, M.; TIAN, W.; ZHAO, J.; CHU, M.; SONG, T. Quinolone antibiotics in sewage treatment plants with activated sludge treatment processes: A review on source, concentration and removal. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 160, p. 116-129, abr. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.02.013>.