USO E APLICAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA CONSTRUÇÃO CIVIL - ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

USE AND APPLICATION OF WATER TREATMENT PLANT SLUDGE IN CIVIL CONSTRUCTION – BIBLIOMETRIC ANALYSIS

Marcos David dos Santos[1]; Adolpho Guido de Araujo[2]; Igor Vieira Fernandes[3]; Arnaldo Manoel Pereira Carneiro[4].

[1]Mestre | marcos.david@ufpe.br | UFPE | Recife, Brasil; [2]Doutor | aguia@poli.br | UPE | Recife, Brasil; [3]Mestre | igor.vfernandes@ufpe.br | UFPE | Recife, Brasil; [4]Doutor | arnaldo.carneiro@ufpe.br | UFPE | Recife, Brasil.

Resumo:
O crescimento urbano intensificou a geração de lodo de estações de tratamento de água (LETA), cuja disposição enfrenta desafios técnicos, ambientais e econômicos. Diante da limitação de áreas para descarte e das exigências regulatórias, o reaproveitamento desse resíduo na construção surge como uma alternativa viável. O trabalho tem como objetivo realizar uma análise bibliométrica sobre o uso e aplicação do LETA na construção civil, de modo a identificar as principais áreas de emprego dos resíduos. A metodologia adotada combina abordagens quantitativa e qualitativa, com base na análise de documentos publicados de 1990 até setembro de 2023. Os resultados indicaram um aumento significativo das publicações a partir de 2015, refletindo o crescimento da preocupação ambiental e da regulação normativa. As áreas de ciência ambiental e engenharia concentram a maior parte das contribuições, evidenciando a natureza multidisciplinar do tema. A análise bibliométrica realizada com o *VOSviewer* identificou autores e palavras recorrentes, com ênfase em reaproveitamento sustentável e caracterização do resíduo. O LETA pode ser utilizado na fabricação de materiais cerâmicos, bem como em compostos cimentícios. O levantamento de tais informações auxiliam na consolidação do conhecimento e no direcionamento de pesquisas futuras.

Palavras-chave:
Revisão da literatura; Lodo; Estação de tratamento de água; Construção civil.

Abstract:
Urban growth has intensified the generation of sludge from water treatment plants (WTPS), whose disposal faces technical, environmental, and economic challenges. Given the limited availability of disposal areas and increasing regulatory requirements, the reuse of this waste in construction has emerged as a viable alternative. This study aims to conduct a bibliometric analysis on the use and application of WTPS in civil construction, in order to identify the main areas in which this waste is employed. The adopted methodology combines quantitative and qualitative approaches, based on the analysis of documents published from 1990 to September 2023. The results show a significant increase in publications starting in 2015, reflecting the growing environmental concern and regulatory enforcement. The fields of environmental science and engineering account for most of the contributions, highlighting the multidisciplinary nature of the subject. The bibliometric analysis performed using *VOSviewer* identified frequent authors and keywords, with emphasis on sustainable reuse and waste characterization. WTPS can be used in the production of ceramic materials as well as in cementitious compounds. The collection of such data contributes to the consolidation of knowledge and the direction of future research.

Keywords:
Literature review; Sludge; Water treatment plant; Civil construction.

1. INTRODUÇÃO

A crescente geração de lodo pelas estações de tratamento de água (ETA) ao redor do mundo representa um desafio relevante para a gestão de resíduos sólidos, especialmente no que se refere ao seu descarte e reaproveitamento (Ahmad *et al*., 2016; Gomes *et al*., 2019). No Brasil, as ETAs estão presentes em cerca de 85% dos municípios, e o aumento do volume de água tratada tem contribuído para a intensificação da produção desse resíduo (IBGE, 2010). A destinação tradicional do lodo em corpos hídricos ou aterros, muitas vezes sem tratamento adequado, levanta sérias preocupações ambientais, como a contaminação do solo, da água subterrânea e o acúmulo de metais pesados (Gomes *et al*., 2019).

Diante desses desafios, alternativas sustentáveis vêm sendo investigadas, com destaque para o aproveitamento do lodo de ETA na indústria da construção civil. Estudos indicam o potencial do resíduo como matéria-prima na produção de materiais cerâmicos, devido à sua composição química e mineralógica semelhante à da argila (Teixeira *et al*., 2004; Monteiro *et al*., 2008; Ramadan, 2008). Além disso, o LETA apresenta em sua composição óxidos como SiO_2, Al_2O_3 e Fe_2O_3, elementos comuns em materiais cimentícios, o que torna viável seu uso na produção de argamassas, concretos e como material cimentício suplementar (Benlalla *et al*., 2015; Tantawy, Mohamed, 2017; Tuner *et al*., 2019).

A viabilidade técnica do uso do LETA na construção civil tem sido comprovada por diversos estudos. Pham *et al*. (2021) demonstraram sua aplicação bem-sucedida em argamassas, enquanto Alqam, Jamrah e Daghlas (2011) verificaram seu desempenho como substituto parcial do cimento na produção de ladrilhos. Outros trabalhos avaliaram o uso do lodo em blocos cerâmicos sob diferentes proporções e temperaturas de queima, registrando bons resultados mecânicos com adições de até 30% do resíduo (Kizinievič *et al*., 2013; Hassan *et al*., 2022). No entanto, a variabilidade na composição do lodo, influenciada por fatores sazonais e geográficos, requer análises prévias rigorosas para garantir sua aplicação segura e eficaz em escala industrial.

Este artigo tem como objetivo realizar uma análise bibliométrica sobre o uso e a aplicação do lodo de ETA na construção civil, de modo a identificar as principais áreas de emprego dos resíduos. O estudo está organizado em quatro seções: (I) introdução, que apresenta o contexto e os estudos relacionados à aplicação do lodo na construção; (II) metodologia, com a descrição dos procedimentos adotados na análise bibliométrica; (III) resultados e discussões, com a análise das principais evidências extraídas da base de dados; e (IV) conclusão, que sintetiza as principais contribuições identificadas ao longo da pesquisa.

2. METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida em três etapas principais: (i) análise quantitativa dos dados; (ii) filtragem e agrupamento manual dos artigos em clusters para análise bibliométrica com o auxílio do software VOSviewer; e (iii) análise qualitativa, dividida em duas atividades complementares: a primeira voltada à leitura e interpretação dos documentos extraídos na base de dados da Scopus e a segunda dedicada à análise dos resultados gerados pelo *VOSviewer* (versão gratuita, disponível em: https://www.vosviewer.com).

A abordagem metodológica adotada foi de natureza mista, integrando procedimentos quantitativos e qualitativos. Essa escolha se justifica pela complexidade e transversalidade do tema, que envolve questões multidisciplinares e interdisciplinares relacionadas à sustentabilidade e às diversas áreas da construção civil. Dessa forma, a combinação metodológica foi fundamental para estabelecer um panorama abrangente do estado da arte sobre o uso e as aplicações do LETA na construção civil.

2.1. MÉTODO QUANTITATIVO

A pesquisa quantitativa consistiu na busca e seleção de artigos na base de dados da Scopus, realizando uma busca inicial com a palavra-chave "*water treatment sludge*". Utilizando os filtros *Article title, Abstract e Keywords* na mesma base de dados, foi possível refinar a busca e focar nos

campos das palavras-chave. Essa abordagem proporcionou a ampla seleção de estudos pertinentes à análise bibliométrica. Para garantir a aderência dos documentos ao escopo da pesquisa, foi aplicado o protocolo PRISMA (Moher *et al.*, 2010), com filtros sucessivos que permitiram a triagem sistemática dos estudos.

A Figura 1 apresenta as etapas e os critérios aplicados no processo de filtragem. Na etapa de Identificação foram obtidos 606 documentos. O primeiro critério foi relacionado à data de publicação, restringindo a pesquisa aos artigos publicados de 1990 a setembro de 2023, com a finalidade de reunir as publicações mais relevantes acerca do tema. O segundo foi relacionado ao tipo de documento, apenas artigos publicados em anais de congresso, periódicos e revisões. O terceiro critério diz respeito ao idioma (considerado apenas os artigos de língua inglesa) e ao estágio de publicação, no qual foram incluídos somente os artigos em estágio final, isto é, aqueles que foram efetivamente publicados, excluindo os artigos que foram aceitos, mas ainda estão pendentes de revisão.

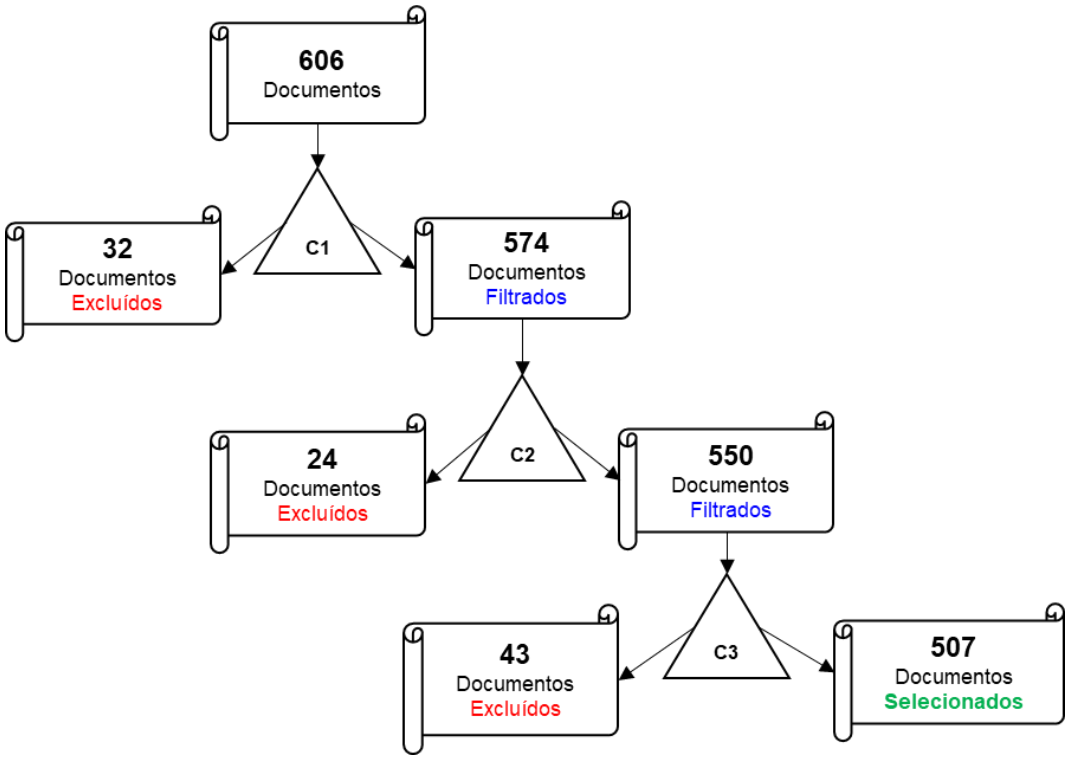

Figura 1: Filtros utilizados na metodologia PRISMA.
Fonte: Os autores (2025).

Onde:

C1= Ano de publicação (1990-2023): 574 documentos;

C2= Tipo de documento (Artigos publicados em anais de congresso, periódicos e revisões): 550 documentos;

C3= Estagio de publicação (Final) e idioma (Inglês): 507 documentos;

2.2. SELEÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS DOCUMENTOS

Os 507 documentos selecionados foram organizados em uma planilha contendo informações como número de ordem, autores, ano de publicação, país de origem, periódico e tipo de aplicação do LETA. A partir dessa base, os documentos foram agrupados em sete categorias temáticas, conforme sua aplicação na construção civil: agregados, ligantes, argamassas, concretos, cerâmicas, geopolímeros e geotecnia.

Em seguida, os documentos foram submetidos à análise de redes no software VOSviewer, utilizado para a construção de mapas baseados em dados de coautoria e coocorrência. O tamanho dos círculos no mapa gerado reflete o peso de cada item, sendo que itens com maior peso são representados por círculos e fontes proporcionalmente maiores (Eck, Waltman, 2018).

2.3. MÉTODO QUALITATIVO

Conforme discutido por Pluye e Hong (2014), os métodos qualitativos permitem explorar empiricamente e teoricamente os conteúdos desenvolvidos nas pesquisas, oferecendo interpretações mais aprofundadas das contribuições dos estudos. Com base nessa perspectiva, foi realizada uma análise qualitativa dos documentos, com foco nas áreas da construção civil em que o lodo de ETA tem sido aplicado como insumo. Essa abordagem permitiu identificar os principais campos de conhecimento envolvidos, além de elucidar as tendências, potencialidades e limitações associadas ao uso do resíduo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. PADROES GERAIS OBTIDOS NA BASE DE DADOS

3.1.1. DOCUMENTOS POR ANO

O dado “documentos por ano”, ilustrado na Figura 2, representa a quantidade de trabalhos publicados entre 1990 até setembro de 2023, totalizando 507 documentos.

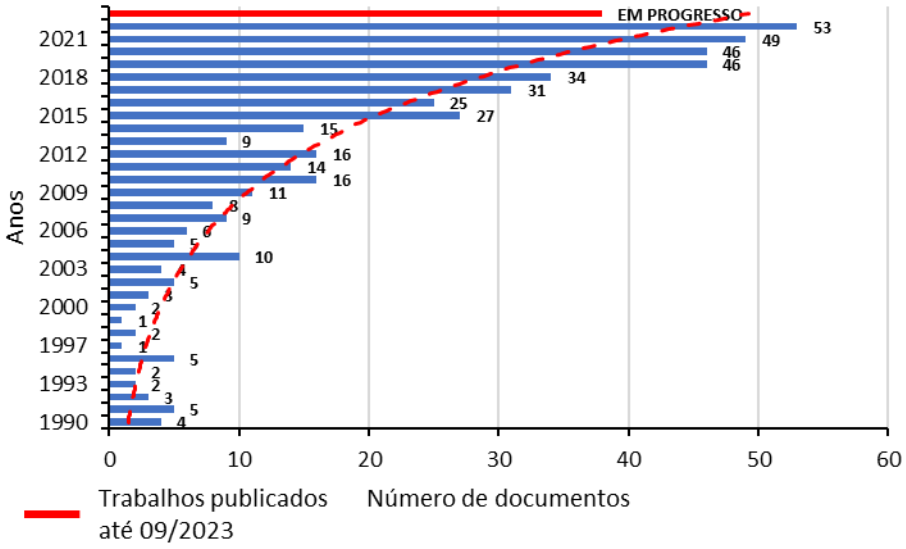

Figura 2: Quantidade de documentos publicados por ano.
Fonte: Os autores (2025).

Observam-se três intervalos de concentração de trabalhos publicados, cada um caracterizado por acontecimentos e desenvolvimentos específicos:

No primeiro intervalo, abrangendo os anos de 1990 a 2003, foram publicados 39 documentos (média de 3 artigos por ano). Destaca-se que, em 1996, a *American Society of Civil Engineers* (ASCE), juntamente com a *American Water Works Association* (AWWA), lançou a publicação *"Technology Transfer Handbook: Management of Water Treatment Plant Residuals"*. Este trabalho propôs estratégias para o reaproveitamento do lodo de ETA, considerando sua aplicação inovadora em diversas áreas.

O período de 2004 a 2014 apresentou um crescimento notável no número de publicações, totalizando 119 documentos, o que corresponde a aproximadamente 23,46% do total das 507

publicações analisadas. Embora esse aumento possa ser parcialmente associado à publicação da ABNT NBR 10004 (ABNT, 2004), que classificou o lodo de ETA como resíduo sólido classe II A (não inerte), e à promulgação de importantes resoluções do CONAMA (nº 357/2005 e nº 430/2011), apenas 11 desses estudos foram realizados no Brasil. O que sugere que, apesar da relevância normativa nacional, a legislação interna pode não ter sido o principal catalisador para o crescimento global das publicações no período. Assim, é plausível considerar também a crescente preocupação mundial com práticas de gestão de resíduos sustentáveis e a busca por soluções para a disposição de resíduos gerados pelas ETAs, especialmente em países com políticas ambientais consolidadas e maior investimento em pesquisa aplicada.

Adicionalmente, deve-se reconhecer que o crescimento mais expressivo ocorre a partir de 2015, com 349 publicações (cerca de 68,84% do total), indicando uma mudança de escala na produção científica. Esse avanço está provavelmente associado à intensificação de agendas internacionais voltadas à sustentabilidade, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e o amadurecimento de tecnologias de reaproveitamento de resíduos na indústria da construção. Dessa forma, embora a legislação brasileira tenha estabelecido importantes marcos regulatórios, o impacto mais visível na literatura científica internacional parece estar ligado à convergência entre regulamentações ambientais, avanços tecnológicos e o fortalecimento da economia circular como paradigma global de desenvolvimento.

3.1.2. DOCUMENTOS POR ÁREA TEMÁTICA

O dado “documentos por área temática” (Figura 3) refere-se à classificação fornecida pela base de dados da Scopus, que atribui cada publicação a uma ou mais áreas do conhecimento com base em critérios editoriais e de indexação da revista. Para fins de clareza gráfica e concisão, as áreas com menor representatividade foram agrupadas sob a categoria “Outros”, a qual inclui campos como gestão e contabilidade (21), ciências sociais (19), medicina (16), ciência da computação (11), entre outras.

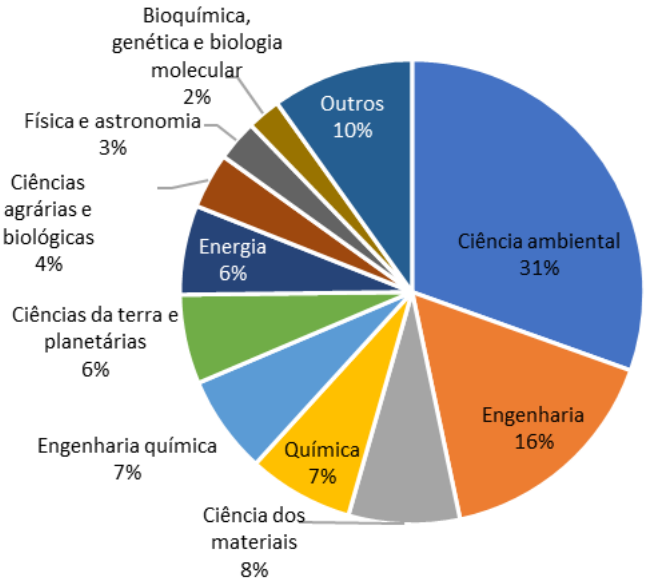

Figura 3: Quantidade de documentos publicados por área temática.
Fonte: Os autores (2025).

Entre as áreas temáticas identificadas, destaca-se a ciência ambiental como a mais representativa, com 299 publicações (30,48%), o que evidencia o foco predominante nas implicações ecológicas e na sustentabilidade do reaproveitamento do lodo de ETA. Essa concentração reflete o esforço global em mitigar os impactos ambientais do descarte inadequado de resíduos e buscar soluções alinhadas à economia circular e à proteção dos recursos naturais.

A área da engenharia aparece com 159 documentos (16,21%), abrangendo aplicações tecnológicas do LETA, como sua incorporação em materiais de construção, técnicas de estabilização, e

desenvolvimento de processos produtivos eficientes. Ciência dos materiais (7,75%), química (7,34%) e engenharia química (6,83%) também se destacam, sinalizando a relevância do entendimento microestrutural, das reações termoquímicas e das interações físico-químicas envolvidas no uso do lodo em composições cerâmicas e cimentícias.

Outras áreas como ciências da terra e planetárias, energia, ciências agrárias e biológicas, e física e astronomia contribuem de maneira interdisciplinar para o tema. Por exemplo, estudos em ciências da terra avaliam a geotecnologia aplicada à disposição do lodo, enquanto pesquisas na área de energia exploram a eficiência térmica de materiais que incorporam o resíduo. As contribuições de bioquímica, genética e biologia molecular, embora menos expressivas numericamente (2,34%), têm relevância pontual em avaliações toxicológicas e de segurança ambiental.

A expressiva diversidade de áreas envolvidas revela a natureza multidisciplinar da temática, exigindo colaboração entre especialistas em meio ambiente, engenharia, química, materiais, biologia e ciências sociais. Essa integração de saberes é fundamental para o avanço técnico-científico das aplicações do LETA, garantindo segurança, viabilidade econômica e alinhamento com marcos regulatórios e metas de desenvolvimento sustentável.

3.2. DADOS DAS UNIDADES DE ANÁLISES

3.2.1. COCITAÇÃO DE AUTORES

Na Figura 4, cada círculo representa um pesquisador e o tamanho de cada círculo está relacionado ao número de citações recebidas por esse autor.

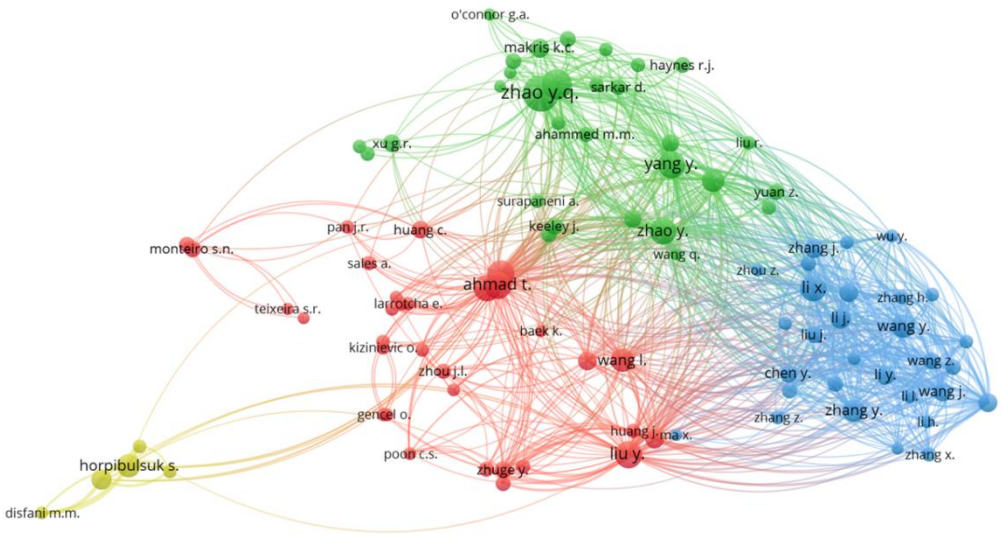

Figura 4: Visualização do *VOSviewer* de uma rede de cocitação de autores.
Fonte: Os autores (2025).

Na visualização, pesquisadores próximos uns dos outros tendem a ter uma relação mais forte do que aqueles que estão distantes. Observa-se 4 grupos de autores com base no critério do autor ter pelo menos 40 citações, totalizando 97 autores.

Os destaques da rede de cocitação de autores incluem Zhao, Y.Q., com 12 documentos publicados, sendo o mais citado com 277 citações e Babatunde, A.O., que, apesar de ter apenas 4 trabalhos publicados, recebeu 199 citações. O terceiro autor mais citado, com cerca de 171 citações, é Yang, Y., que tem um total de 9 publicações. Todos esses autores pertencem ao grupo verde.

O grupo vermelho, composto por 32 autores, inclui o quarto e quinto autores mais citados. O autor Ahmad, T., com 169 citações em 5 artigos publicados e o autor Liu, Y., com 164 citações em 8 trabalhos publicados. Tanto o grupo verde quanto o grupo azul abrangem um total de 30 autores. O grupo amarelo, por sua vez, é formado por 5 autores.

3.2.2. COOCORRÊNCIA DE TERMOS

A Figura 5 mostra uma representação visual de uma rede de coocorrência de termos. Nesta visualização, cada círculo representa um termo e o tamanho de cada círculo reflete o número de publicações que incluem o termo correspondente em seus títulos, resumos ou palavras-chave. Termos que coocorrem com frequência tendem a estar próximos uns dos outros na visualização. Utilizando o software VOSviewer, os termos foram agrupados em 7 grupos, com um critério mínimo de 5 coocorrências, totalizando 417 itens.

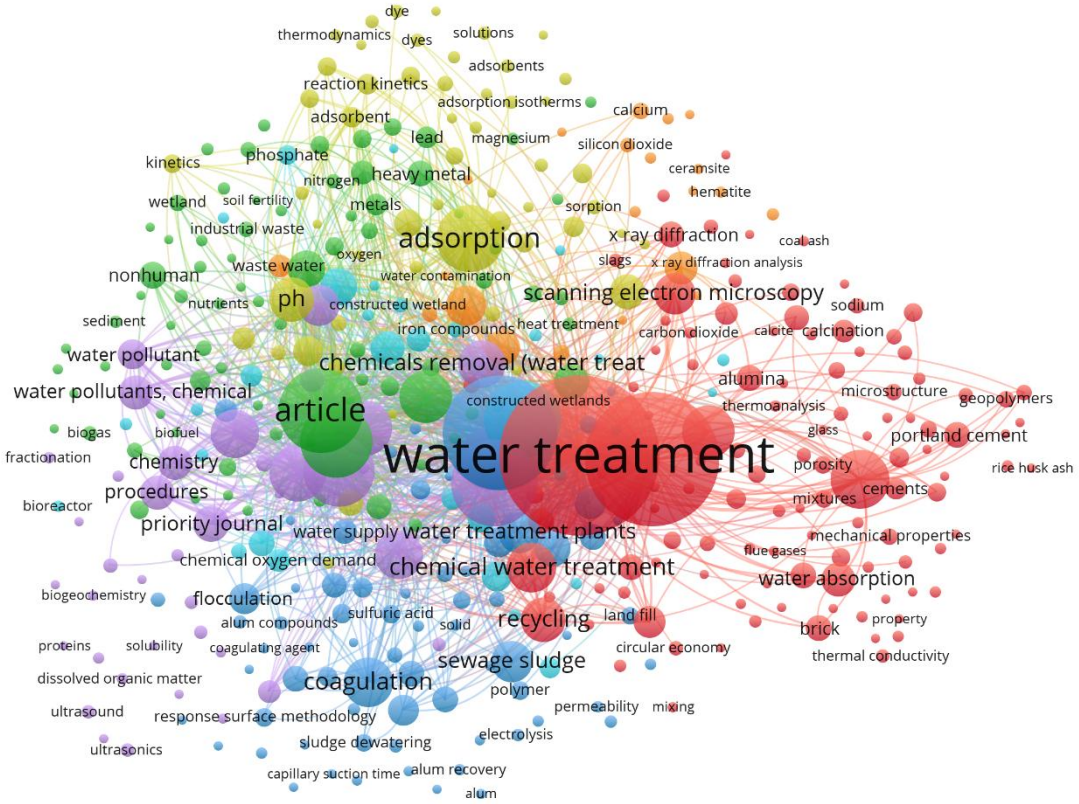

Figura 5: Visualização do *VOSviewer* de uma rede de coocorrência de termos.
Fonte: Os autores (2025).

O grupo vermelho, o maior em número de itens com um total de 116, engloba os termos com as duas maiores coocorrências nos trabalhos analisados, "*water treatment*" (283) e "*water treatment sludge*" (222), refletido predominantemente nas áreas das engenharias e das ciências ambientais.

O grupo azul escuro, composto por 73 itens, inclui o terceiro termo mais frequente, "*sludge*" (177), que está associado às áreas de ciência dos materiais, química e engenharia química.

O grupo verde, com 80 itens, concentra termos relacionados às ciências da terra e planetárias, bem como às ciências agrárias e biológicas.

Os grupos amarelo, roxo, azul claro e laranja, compostos por 54, 40, 33 e 21 itens, respectivamente, abrangem os termos que se relacionam com as demais áreas do conhecimento.

4. CONCLUSÃO

Observa-se uma evolução significativa no volume de publicações relacionadas ao uso do lodo de ETA, refletindo mudanças regulatórias, avanços científicos e maior conscientização ambiental. A análise dos documentos por ano revelou três fases distintas: uma inicial com baixo número de publicações, seguida por um período de crescimento moderado, e, por fim, uma fase recente marcada por um aumento exponencial na produção científica. Este crescimento pode estar diretamente relacionado ao enrijecimento das normas ambientais e à necessidade de soluções sustentáveis para a gestão de resíduos, destacando o crescente interesse da comunidade científica no tema.

No que se refere à distribuição por áreas temáticas, a predominância da ciência ambiental demonstra a centralidade da preocupação com os impactos ecológicos e com o reaproveitamento adequado do resíduo. No entanto, o envolvimento de outras áreas como engenharia, química, ciências agrárias e ciências da terra reforça o caráter multidisciplinar do tema, evidenciando que seu estudo exige abordagens integradas que combinem aspectos técnicos, ambientais e químicos. Essa diversidade temática é fundamental para ampliar as possibilidades de reaproveitamento e desenvolver tecnologias mais eficazes e ambientalmente seguras.

A análise das redes de cocitação de autores evidenciou a consolidação de núcleos de pesquisadores influentes na área, como Zhao, Babatunde, Ahmad, Liu e Yang. A forte presença desses autores em grupos distintos e o elevado número de citações indicam que há uma base sólida de conhecimento sendo construída, com pesquisadores que atuam como referências em estudos voltados à caracterização, tratamento e reaproveitamento do lodo de ETA. A articulação desses autores também sugere a existência de colaborações internacionais relevantes para o avanço do campo.

Por fim, a coocorrência de termos reforça a centralidade de expressões como "*water treatment*", "*water treatment sludge*" e "*sludge*", que são recorrentes em diversos contextos e áreas científicas. A organização dos termos em sete grupos distintos demonstra a amplitude das abordagens possíveis, variando desde estudos mais voltados à caracterização química até pesquisas sobre aplicações agrícolas ou em materiais de construção. Esses dados corroboram a ideia de que o LETA vem sendo amplamente estudado sob diferentes perspectivas, o que contribui para o desenvolvimento de soluções mais abrangentes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM, M. Sustainable management of water treatment sludge through 3'R' concept. **Journal of Cleaner Production**, v. 124, p. 1–13, 2016.

ALQAM, M.; JAMRAH, A.; DAGHLAS, H. Utilization of cement incorporated with water treatment sludge. **Jordan Journal of Civil Engineering**, v. 5, n. 2, p. 268–277, 2011.

BENLALLA, A.; ELMOUSSAOUITI, M.; DAHHOU M.; ASSAFI, M. Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics bricks. **Applied Clay Science,** v. 118, p. 171–177, 2015.

ECK, N. J. V.; WALTMAN, L. **VOSviewer Manual.** Universiteit Leiden, 2018.

GOMES, S.; ZHOU, J.L.; LI, W.; LONG, G. Progress in manufacture and properties of construction materials incorporating water treatment sludge: A review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 145, p. 148–159, 2019.

HASSAN, A. M. S.; ABDEEN, A.; MOHAMED, A. S.; ELBOSHY, B. Thermal performance analysis of clay brick mixed with sludge and agriculture waste. **Construction and Building Materials**, v. 344, p. 128267, 2022.

IBGE, 2010. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Relatório, Brasília, Brasil. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pnsb/default.asp?o= 23&i=P>.

KIZINIEVIČ, O.; ŽURAUSKIENE, R.; KIZINIEVIČ, V.; ŽURAUSKAS, R. Utilisation of sludge waste from water treatment for ceramic products. **Construction and Building Materials**, v. 41, p. 464–473, 2013.

MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. G.; PRISMA GROUP. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA Statement. **International Journal of Surgery**, v. 8, p. 336–341, 2010.

MONTEIRO, S. N.; ALEXANDRE, J.; MARGEM, J. I; SÁNCHEZ, R.; VIEIRA, C. M. F. Incorporation of sludge waste from water treatment plant into red ceramic. **Construction and Building Materials,** v. 22, n. 6, p. 1281–1287, 2008.

PHAM, P.N.; DUAN, W.; ZHUGE, Y.; LIU, Y.; TORMO, I.E.S. Properties of mortar incorporating untreated and treated drinking water treatment sludge. **Construction and Building Materials**, v. 280, p. 122558, 2021.

PLUYE, P.; HONG, Q. N. Combining the Power of Stories and the Power of Numbers: Mixed Methods Research and Mixed Studies Reviews. **Annual review of public health**, v. 35, n. 1, p. 29–45, 2013.

RAMADAN. M.O.; FOUAD, H.A.; HASSANAIN A.M., Reuse of water treatment plant sludge in brick manufacturing. **Journal of Applied Sciences Research**, v. 4, n. 10, p. 1223–1229, 2008.

SANTOS, M. D. **Revisão sistemática da literatura com meta-análise sobre o lodo de estações de tratamento de água com avaliação do ciclo de vida em blocos cerâmicos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2024.

TANTAWY, M. A.; MOHAMED, R. S. Middle Eocene clay from goset Abu Khashier: geological assessment and utilization with drinking water treatment sludge in brick manufacture. **Applied Clay Science**, v. 138, p. 114-124, 2017.

TEIXEIRA, S. R.; ALÉSSIO, P.; SANTOS, G. T. A.; DIAS, F. C. Influência da data da coleta do lodo de ETA incorporado em massas cerâmicas, nas suas propriedades tecnológicas. *In:* **48th Annual Meeting of the Brazilian Ceramic Society**. Curitiba, p. 1-12, 2004.

TURNER, T.; WHEELER, R.; STONE, A.; OLIVER, I. Potential alternative reuse pathways for water treatment residuals: Remaining barriers and questions - A review. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 230, n. 9, p. 227, 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco (PPGEC), a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) e a Companha Pernambucana de Saneamento (COMPESA).