

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**GABRIELA ZAMBRZYCKI
GRACIELI ELAINE FURMAN**

**MÉTODOS DE TRATAMENTO E REAPROVEITAMENTO DO LODO GERADO
NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA: UMA REVISÃO**

**PONTA GROSSA
2024**

**GABRIELA ZAMBRZYCKI
GRACIELI ELAINE FURMAN**

**MÉTODOS DE TRATAMENTO E REAPROVEITAMENTO DO LODO GERADO
NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA: UMA REVISÃO**

**Methods for the treatment and reuse of sludge generated in water treatment
plants: a review**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Química da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Thiago Peixoto de Araujo.

Coorientadora: Juliana Martins Teixeira de Abreu
Pietrobelli.

**PONTA GROSSA
2024**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

GABRIELA ZAMBRZYCKI
GRACIELI ELAINE FURMAN

**MÉTODOS DE TRATAMENTO E REAPROVEITAMENTO DO LODO GERADO
NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA: UMA REVISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação/
Especialização apresentado como requisito para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Química da Universidade Tecnológica Federal do
Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 04/Abril/2024.

Thiago Peixoto de Araujo
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Luis Alberto Chavez Ayala
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Simone Delezuk Inglez
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PONTA GROSSA
2024

RESUMO

Com a necessidade de mais estações de tratamento de água (ETA) em funcionamento para atender às demandas crescentes, o problema da gestão adequada do lodo aumenta. Tendo em vista os impactos ambientais negativos associados ao descarte inadequado deste resíduo, bem como as exigências legais nacionais para a destinação correta, torna-se crucial buscar alternativas sustentáveis para sua destinação final. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo apresentar alternativas de tratamento e reutilização do lodo de ETA por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura, através da análise das propriedades físicas, químicas e biológicas desse resíduo, o estudo dos métodos de tratamento e o levantamento das possibilidades de reutilização do mesmo. Dessa forma, foi dividido o presente estudo em duas etapas alinhadas com os objetivos específicos e foi utilizada a metodologia roadmap para Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS), resultando na seleção de 32 artigos para a etapa 1 e 87 artigos para a etapa 2, em um recorte temporal de 2014 a 2023. Com o estudo minucioso dos artigos, juntamente com os dados levantados através da ferramenta Bibliometrix, constatou-se que existem mais pesquisas voltadas para a reutilização do que para o tratamento do lodo, visto a complexidade do processo. Na etapa 1 destacaram-se os métodos de secagem do lodo e acidificação, os quais tem a finalidade de diminuir o volume de lodo e recuperar o coagulante utilizado no processo, respectivamente. Em relação à etapa 2, relacionada às alternativas de reaproveitamento de lodo de ETA, destacaram-se a incorporação ao setor cimenteiro e o uso como material adsorvente. Entretanto, muitas das pesquisas limitaram-se à escala laboratorial, visto a alta suscetibilidade a variações de parâmetros, como pressão e temperatura. Sendo assim, o uso de lodo como fertilizante agrícola e como coagulante no tratamento de águas residuais, apesar de menos abordados na base de dados, apresentaram-se mais eficientes e ambientalmente corretos. Por fim, entende-se que ainda existe uma lacuna em pesquisas relacionadas ao tratamento e reutilização de lodo de ETA, visto que muito do que se abordou limita-se à escala laboratorial.

Palavras-chave: estação de tratamento de água; lodo; reutilização; tratamento; revisão sistemática da literatura.

ABSTRACT

With the need for more water treatment plants (WTP) in operation to meet growing demands, the problem of adequate sludge management increases. Considering the negative environmental impacts associated with the inadequate disposal of this waste, as well as the national legal requirements for correct disposal, it is crucial to seek sustainable alternatives for its final destination. In this context, the present work aimed to present alternatives for the treatment and reuse of ETA sludge through a Systematic Literature Review, through the analysis of the physical, chemical and biological properties of this waste, the study of treatment methods and the survey of its reuse possibilities. Thus, the present study was divided into two stages aligned with the specific objectives and the roadmap methodology for Systematic Bibliographic Review (RBS) was used, resulting in the selection of 32 articles for stage 1 and 87 articles for stage 2, in a time frame from 2014 to 2023. With the detailed study of the articles, together with the data collected through the Bibliometrix tool, it was found that there is more research focused on reuse than on sludge treatment, given the complexity of the process. In stage 1, the sludge drying and acidification methods stood out, which aim to reduce the sludge volume and recover the coagulant used in the process, respectively. In relation to stage 2, related to alternatives for reusing ETA sludge, the incorporation into the cement sector and its use as an adsorbent material stood out. However, much of the research was limited to the laboratory scale, given the high susceptibility to variations in parameters, such as pressure and temperature. Therefore, the use of sludge as an agricultural fertilizer and as a coagulant in wastewater treatment, despite being less discussed in the database, proved to be more efficient and environmentally correct. Finally, it is understood that there is still a gap in research related to the treatment and reuse of ETA sludge, since much of what has been addressed is limited to the laboratory scale.

Keywords: water treatment plant; sludge; final destination; systematic literature review.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AbS	Lodo a base de alúmen
ANA	Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico
CAP	Policloreto de Alumínio
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
IAT	Instituto Água e Terra
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Norma Brasileira
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PAC	Policloreto de Alumínio
PAM	Poliacrilamida
PERS	Plano Estadual de Resíduos Sólidos
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PR	Paraná
RBS	Revisão Bibliográfica Sistemática
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SS	Aço Inoxidável
SUASA	Sistema Unificado de Atenção a Sanidade Agropecuária
UASB	Reator de manta de lodo anaeróbio de fluxo ascendente

LISTA DE SÍMBOLOS

Al	Alumínio
C	Carbono
Cd	Cádmio
CO ₂	Dióxido de Carbono
Fe	Ferro
P	Fósforo
Pb	Chumbo
Pt	Platina
ZRO ₂	Dióxido de Zircônio

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tratamento aplicado para consumo humano de acordo com a classificação dos corpos hídricos de água doce	16
Quadro 2 - Estado físico da água do lodo e sua definição	19
Quadro 3 - Principais fontes de produção do lodo em uma estação de tratamento de água.....	19
Quadro 4 - Principais parâmetros químicos para análise do lodo.....	21
Quadro 5 - Principais parâmetros biológicos para análise do lodo.	21
Quadro 6 - Principais parâmetros físicos para análise do lodo.	22
Quadro 7 - Uso do lodo de ETA de acordo com o estudo de Machado e Villanova (2022).....	28
Quadro 8 - Etapas da pesquisa, objetivo e o método aplicado de revisão aplicado.....	34
Quadro 9 - Etapa 1 com o objetivo, método, strings e critérios de qualificação	38
Quadro 10 - Etapa 2 com o objetivo, método, strings e critérios de qualificação	39
Quadro 11 - Método e filtros da etapa 1 pela plataforma Web of Science: “Analisar os métodos de tratamento do lodo e sua efetividade”	41
Quadro 12 - Método e filtros da etapa 2 pela plataforma Web of Science: “Identificar as opções de reutilização, reaproveitamento e reciclagem, bem como sua viabilidade” e “Apresentar as propriedades físicas químicas e biológicas do lodo”	41
Quadro 13 - Artigos selecionados para o estudo pelo Web of Science para etapa 1	44
Quadro 14 - Métodos de tratamento de lodo de ETA, vantagens e desvantagens	53
Quadro 15 - Artigos selecionados para estudo pelo Web of Science para a etapa 2	56
Quadro 16 - Relação entre as principais alternativas de reutilização, reciclagem e reaproveitamento do lodo e suas características físicas, químicas e biológicas	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aplicações do Iodo de ETA.....	27
Figura 2 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável no Brasil	29
Figura 3 - Ciclo da Economia Circular.....	32
Figura 4 - Etapas da Revisão Bibliográfica Sistemática da Literatura – RBS	35
Figura 5 - Estágios da análise dos resultados.....	36
Figura 6 - Operadores booleanos	37
Figura 7 - Estágios da fase de análise dos resultados	40
Figura 8 - Resultado da RBS em relação a de quantidade de artigos por ano ..	47
Figura 9 - Resultado da RBS em relação a localização das pesquisas	48
Figura 10 - Resultado da RBS em relação a linhas de pesquisas.....	49
Figura 11 - Nuvem de Palavras	50
Figura 12 - Mapa temático	51
Figura 13 - Veículos mais citados.....	52
Figura 14 - Citações principais	52
Figura 15 - Informações principais	53
Figura 16 - Resultado da RBS em relação a de quantidade de artigos por ano	65
Figura 17 - Resultado da RBS em relação a localização das pesquisas	66
Figura 18 - Resultado da RBS em relação a linhas de pesquisas.....	67
Figura 19 - Nuvem de palavras.....	68
Figura 20 - Mapa Temático	69
Figura 21 - Veículos mais citados.....	70
Figura 22 - Citações principais	71
Figura 23 - Panorama geral referente ao estudo	71

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo Geral	14
1.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 Justificativa	15
2 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 Estação de Tratamento de Água no Brasil e seu funcionamento	16
2.2 Lodo gerado na ETA: características gerais e propriedades	18
2.3 Impactos Ambientais e Toxicidade do Lodo.....	23
2.4 Métodos de Tratamento do Lodo, transporte e disposição final.....	23
2.5 Destinação o lodo de ETA	25
2.6 Legislação Mundial Brasileira referente a destinação do lodo	28
2.7 Economia Circular e o Lodo	32
3 METODOLOGIA	34
3.1 Etapas da Pesquisa	34
3.2 Revisão Bibliográfica Sistemática	34
3.2.1 FASE 1: entrada.....	36
3.2.2 FASE 2: processamento	39
3.2.3 FASE 3: saída	41
3.3 Cienciometria	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1 Resultados da Revisão Bibliográfica Sistemática para a etapa 1	44
4.2 Resultados da Revisão Bibliográfica Sistemática para a etapa 2	56
4.3 Análise e comparação dos resultados obtidos nas etapas 1 e 2	75
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
REFERÊNCIAS.....	79

1 INTRODUÇÃO

As estações de tratamento de água (ETA) são responsáveis pela captação, tratamento e purificação da água para destinação da mesma para a população. O tratamento da água e seus padrões de qualidade devem atender às regulamentações dos órgãos vigentes, para que a água possa ser distribuída e consumida. No tratamento convencional, a matéria orgânica e microrganismos patogênicos proveniente da água bruta são eliminados a partir de mecanismos como filtração, coagulação, floculação, sedimentação, decantação e desinfecção de poluentes. Após todos esses tratamentos, há a geração de um resíduo sólido, conhecido como lodo de ETA (Seckler, 2017).

Segundo a ABNT 10.004, o lodo proveniente da ETA é definido como resíduo sólido, classificado como Classe II A (ABNT, 2004). É composto por materiais orgânicos e inorgânicos como: argilas, areia, microrganismos patogênicos e dependendo de fatores como composição da ETA, encontram-se frações de metais pesados, como alumínio e ferro. De acordo com Oliveira (2011), um dos principais desafios no gerenciamento do lodo é a presença dos metais pesados. Esses metais são provenientes de várias fontes, como a própria água bruta captada, produtos químicos utilizados no processo de tratamento e até mesmo de desgaste presente nas tubulações. Segundo Lima et al. (2015) a presença desses elementos pode ter um impacto significativo no meio ambiente, uma vez que os metais pesados podem se infiltrar no solo e assim contaminar as águas subterrâneas, afetando a saúde humana e animal.

No Brasil são produzidas cerca de 10.000 toneladas de lodo proveniente das ETAs (Iwaki, 2018), e a maior parte delas não possui históricos de acompanhamento das propriedades físico-químicas do resíduo que geram. Assim, não é possível quantificar e qualificar as substâncias nocivas descartadas junto ao resíduo, seja nos rios ou nos aterros. Atrelado a isto, constata-se que maioria das ETAs não fazem tratamento prévio do resíduo. Parte das ETAs que utilizam um rio provedor de água para a população também realiza o descarte do lodo no mesmo canal, contaminando a água bruta, o que se transforma em um ciclo no qual quanto mais poluída a água bruta, maior a quantidade de substâncias usadas para o tratamento da água para consumo humano e maior a porcentagem de materiais contidos no lodo (Oliveira, 2016). Recentemente, alguns estados proibiram o descarte inadequado do lodo de

ETA, como é o caso do Paraná (portaria IAP Nº 212 DE 12/09/2019), porém ainda é muito comum ver a destinação incorreta em rios e demais corpos d'água (IAT, 2023).

De acordo com Dahhou, El Hamidi e El Moussaouiti (2023) os principais meios de descarte do lodo são os aterros sanitários, destinação agrícola e leitos de rios, sendo o último realizado com frequência e de modo ilegal. Segundo Januário e Filho (2007) o processo de descarte do lodo tem um elevado gasto em transportes e disposição, juntamente com a dificuldade de encontrar áreas adequadas para o desaguamento do resíduo, devido a necessidade de um local amplo e que não tenha nenhum impacto às comunidades vizinhas.

Segundo o IBGE (2022), cerca de 4.907 ETAs existem no Brasil, sendo que apenas 2.971 delas estão em funcionamento. Isto representa mais da metade das ETAs não operacionais, resultando em aproximadamente 35 milhões de brasileiros sem o acesso ao sistema de tratamento de água. Globalmente, de acordo com a ONU (2022), 25% da população mundial não possui acesso à água potável. Com a necessidade de mais ETAs em funcionamento, o problema dos resíduos aumenta. Um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, a chamada ODS 6, é garantir água e saneamento para todos, incluindo melhorias na qualidade da água, redução da poluição e proteção de ecossistemas até 2030. Tendo como base todo o exposto, busca-se outras alternativas de gerenciamento do lodo das ETAs, desde seu tratamento ao seu descarte, buscando alternativas de tratamento e reutilização que atendam a legislação vigente e sejam uma melhor opção ao meio ambiente.

1.1 Objetivo Geral

Analisar alternativas de tratamento para o lodo de ETA e de reutilização de tal resíduo em outros processos produtivos através de uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) apoiada pelo método roadmap.

1.2 Objetivos específicos

- Levantar as propriedades físicas, químicas e biológicas do lodo.
- Identificar os métodos de tratamento do lodo e sua efetividade.
- Levantar as possibilidades de reutilização, reaproveitamento e reciclagem, bem como sua viabilidade.

1.3 Justificativa

A gestão de resíduos e os impactos da má disposição dos mesmos são um dos assuntos mais discutidos atualmente. Tendo como referência os ODS, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, estabelecidos pelas Nações Unidas, a presente pesquisa propõe alternativas que visam a redução do impacto ambiental negativo pela ineficiência da gestão de resíduos; alternativas que reduzem a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso e, por fim, métodos de conservação e que promovem o uso sustentável dos oceanos, mares e recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.

Devido a problemática relacionada à destinação do lodo proveniente das estações de tratamento de água e o descarte inapropriado dos mesmos, buscou-se encontrar melhores alternativas de gestão desse resíduo, prezando a minimização de potenciais impactos ambientais, caracterizando-se uma justificativa plausível ao abordar essa temática, visando contribuir para a identificação de alternativas mais sustentáveis e ambientalmente conscientes.

2 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estação de Tratamento de Água no Brasil e seu funcionamento

A lei 11.445, de 05 de janeiro de 2007, estabelece diretrizes do saneamento básico em relação ao abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, drenagem e manejo de águas pluviais urbanas e limpeza e manejo de resíduos sólidos (Brasil, 2007). Entretanto, a mesma sofreu alterações através da lei 14.026, de 15 de julho de 2020, a qual atualiza o marco legal do saneamento básico no Brasil (Brasil, 2020).

As estações de tratamento de água são responsáveis pela captação e tratamento das águas bruta de mananciais, que podem ser superficiais (rios, lagos e barragens) ou subterrâneos (poços artesanais e lençóis freáticos). Segundo a ANA (2020), Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico, a captação é feita 43% pelas águas superficiais, 17% misto e 40% subterrâneo. As águas superficiais caracterizam-se como as mais vulneráveis devido à fácil acessibilidade para descarte de efluentes, sejam eles domésticos ou industriais e quase sempre bem próximos aos centros urbanos, contribuindo para a poluição e escassez da mesma (Prosab, 2001).

A água captada nos mananciais passa por processos e etapas diversas para assegurar a potabilidade, estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888 de maio de 2021 (Brasil, 2021). Os padrões de qualidade são definidos de acordo com a resolução do CONAMA nº 357, a qual divide a água em classes de acordo com o tratamento necessário (Quadro 1). Para cada classe recomenda-se um tipo de tratamento e é averiguado a possibilidade de destinação para consumo humano, visto que quanto mais inferior a qualidade da água bruta, maior é a complexibilidade do tratamento que deve ser aplicado (Fernandes, 2020).

Quadro 1 – Tratamento aplicado para consumo humano de acordo com a classificação dos corpos hídricos de água doce

Classe de corpo hídrico	Tratamento
1. Especial	Simples desinfecção
2. Classe I	Simplificado
3. Classe II	Convencional
4. Classe III	Convencional ou Avançado

5. Classe IV	Impróprio
--------------	-----------

Fonte: Adaptado de Fernandes (2020)

Existem diversos tipos de tratamento de água, cada uma com processos e tecnologias específicas. Dos principais tipos estão a estação de tratamento de água convencional e a desinfecção avançada (Pereira, 2011). A desinfecção, aplicada na Classe Especial, consiste na adição de cloro na água e é realizada em muitas cidades (Fernandes, 2020). Quanto aos processos simplificados, relacionados a Classe I, utilizam-se alternativas de baixo custo, com facilidade operacional e empregam-se coagulantes e floculantes de origem natural. Já o tratamento de água pelo método convencional, utilizado nas Classes II e III, é o mais usado no Brasil e inclui processos utilizados no tratamento para remoção de cor e turbidez. Das operações unitárias presentes no tratamento podem-se citar: coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção (Pereira, 2011). Em relação aos sistemas de tratamento avançado, expressos na Classe III, destacam-se os processos oxidativos avançados e as membranas de filtração (Lima; Rollemberg, 2020).

Em uma Estação de Tratamento de Água Convencional, a água captada nos mananciais passa por um sistema de grades que retira elementos mais grosseiros como folhas, pedras e algumas impurezas. Após isso, inicia-se a coagulação, processo no qual, segundo Braga (2014), consiste na desestabilização de partículas suspensas através de fenômenos físico-químicos e utilizam-se coagulantes como sulfato de alumínio e alcalinizantes como a cal. Outros produtos empregados na etapa de coagulação são sais de ferro e polímeros (Seckler, 2017).

Em seguida, ocorre a etapa da floculação. Segundo Seckler (2017), é uma das etapas mais importantes no processo de tratamento de água, pois consiste na agregação de partículas e facilita o processo de remoção da fase líquida resultante. A floculação ocorre após a coagulação das partículas, onde ocorre a formação dos flocos que são removidos pelo processo seguinte, a decantação (Fernandes, 2020). Esta, ocorre com a sedimentação das partículas mais pesadas, na qual as fases sólidas são depositadas no fundo do tanque através da força gravidade e consequentemente forma-se o lodo (Seckler, 2017).

Todas as partículas que não foram removidas nas etapas anteriores devem ser removidas na etapa de filtração, processo necessário e fundamental para a

produção da água com qualidade e em conformidade com os padrões de potabilidade estabelecidos pela Legislação. As impurezas que ficam retidas precisam ser retiradas a partir de lavagens após um certo período de tempo. E a água utilizada neste processo é descartada nos cursos de água, mas pode também retornar ao início do processo de tratamento (Pereira, 2011).

Após a etapa de filtração, adiciona-se à água, substâncias desinfectantes e que devem eliminar quaisquer microrganismos que possam ainda existir e que são capazes de transmitir doenças. Os agentes desinfectantes podem ser físicos e químicos. Como reagentes químicos usam-se oxidantes de cloro, bromo, iodo, ozônio, permanganato de potássio, peróxido de hidrogênio e íons metálicos de prata e cobre. Já agentes físicos utilizam da aplicação de calor, irradiação e luz ultravioleta (Seckler, 2017). Realizada as análises necessárias para atender aos padrões de potabilidade, a água é encaminhada para centros de distribuição para a população.

2.2 Lodo gerado na ETA: características gerais e propriedades

O lodo consiste em uma fase líquida e sólida somada a produtos que foram aplicados no processo de tratamento de água (Souza et al., 1998). O mesmo pode ser classificado de diversas maneiras. No Quadro 2 estão especificados de acordo com o estado físico da água presente no lodo, enquanto no Quadro 3 estão elencadas as principais fontes de produção do lodo, descrevendo suas principais características. É de suma importância compreender as propriedades físico-químicas e as características do lodo, a fim de se obter informações essenciais sobre sua origem, composição, tamanho das partículas, resistências, densidade e compressibilidade. Esses conhecimentos desempenham um papel fundamental na escolha do método mais adequado para o tratamento, descarte e disposição final do lodo.

O lodo mais comum na estação de tratamento de água é originado do produto de coagulação da água bruta, composto principalmente por PAC (policloreto de alumínio), hidróxidos de alumínio e ferro. Também pode ser proveniente da água de lavagem dos filtros, dos decantadores e rejeitos de limpeza dos tanques de produtos químicos (Richter, 2001). Nos decantadores as partículas são acumuladas e formadas pela reação de produtos químicos usados para aglutinar as partículas em suspensão e formar flocos maiores. Esses flocos, junto com as impurezas e contaminantes, sedimentam-se no fundo dos tanques, formando o lodo (Souza et al., 1998). A quantidade de lodo produzido depende de onde ele é originado, seja nos

decantadores, filtradores e também da técnica e método adotado para sua remoção (Pereira, 2011). Ainda, de acordo com Howe et al. (2016) a sua produção se encontra em 3% a 5% do volume de água tratada pela ETA. A maior parte desse volume provém da etapa de filtração na lavagem de resíduos do filtro, contendo em torno de 10% de sólidos removidos.

Quadro 2 - Estado físico da água do lodo e sua definição

Estado físico da água	Definição
1. Água livre	Água sem a presença de partículas sólidas.
2. Água intersticial	Água ligada mecanicamente, a qual se encontra presa aos interstícios dos flocos.
3. Água vicinal	Constituída por múltiplas camadas de moléculas de água fisicamente ligadas, às quais se encontram firmemente presas à superfície das partículas por meio de pontes de hidrogênio.
4. Água de hidratação	Água quimicamente ligada à superfície das partículas sólidas.

Fonte: Adaptado de Souza et al. 1998

Quadro 3 - Principais fontes de produção do lodo em uma estação de tratamento de água

Fonte de resíduo	Descrição
1. Precipitação química com alúmen de ferro	Lodo formado da precipitação química das águas de superfície.
2. Telas grossas	O lodo é retido nas telas que tem como função impedir a entrada de detritos e peixes, está na entrada da estação de tratamento de água.
3. Flotação	É formado a partir do processo de flotação.
4. Pré-sedimentação	Etapa que remove as quantidades brutas de sedimentos antes do tratamento convencional, este lodo é resultante deste processo.
5. Fragmentos de filtros de areia lento	É o lodo formado a partir da raspagem da superfície dos filtros de areia lentos.
6. Absorventes gastos	Material sólido usado com o objetivo de sorver os constituintes da solução, como dureza, arsênio, flúor, fósforo e componentes orgânicos selecionados que não podem ser reativados por terem perdido a capacidade de adsorção.
7. Telas Deslocáveis	São telas usadas para impedir que grãos, areia e pedras que conseguiram passar da entrada da estação de tratamento adentrem.

	Esse lodo é constituído de material sólido e pode ter cascalho, areia e pedras.
8. Abrandamento da água	Lodo constituído de cal, formado da remoção do cálcio e magnésio das águas brutas durante o abrandamento por precipitação.
9. Água de lavagem de resíduo de filtro	Água de lavagem de resíduos dos filtros de retrolavagem para remover sólidos residuais, apresenta alta turbidez e pode conter microrganismos como <i>Giardia</i> e <i>Cryptosporidiu</i> .
10. Salmouras e água de lavagem de troca iônica	São usadas para abrandamento e contém sódio, cloreto e íons de dureza.
11. Centrifugado	Líquido resultante do adensamento do lodo.
12. Decantação e subfluxo de leito de secagem	Líquido decantado da superfície e subfluxo de areia e outros tipos de leito de secagem.
13. Fluxo Sobrenadante	Água limpa resultante da decantação dos sólidos residuais resultantes do espessamento por gravidade do lodo.
14. Filtrado	Pode ser resultado do espessamento da placa ou prensa da estrutura.

Fonte: Adaptado de Howe *et al.* (2016)

É por meio da classificação dos estados físicos da água, exemplificado no Quadro 2, que se pode também direccionar posteriormente um método adequado de tratamento do lodo. Segundo Richter (2001) a água livre pode ser separada por gravidade ou por filtração. Ou seja, utilizando as unidades de processo mais comuns, como os adensadores por gravidade ou por flotação e os decantadores centrífugos. Já a água capilar e a água vicinal só são removidas pela ação de gradientes de pressão para vencer a resistência da tensão superficial. O processo mais comum para esse tipo são os aparelhos mecânicos como o filtro a vácuo, filtro prensa de correia ou prensa desaguadora.

A quantidade de água presente no lodo determina o desempenho dos sistemas de remoção de água. Ou seja, quanto mais água retida no lodo, maior é a necessidade de um sistema de remoção da mesma mais eficiente e complexo para sua disposição final, portanto o sistema de desidratação deve ser mais eficaz (Souza et al., 1998).

Alguns parâmetros são necessários para caracterizar as propriedades do lodo de ETA, sendo os mesmos variáveis e que mudam de acordo com o tipo de ETA (Souza et al., 1998). Ou seja, o tipo de coagulante usado e o método de tratamento

definem as características do lodo. Conforme Howe et al. (2016), seus parâmetros podem ser físicos, químicos e biológicos. Nos Quadros 4, 5 e 6 serão apresentados os principais parâmetros para analisar o lodo e suas propriedades.

As propriedades químicas do lodo estão relacionadas com as substâncias químicas usadas no tratamento da água bruta, exemplificadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Principais parâmetros químicos para análise do lodo.

Parâmetro Químicos	Descrição
1. DBO	Conteúdo orgânico biodegradável
2. DQO	Quantidade de oxigênio de matéria orgânica determinada pela oxidação química
3. pH	Medida da alcalinidade ou acidez
4. Conteúdo de alumínio	Derivado da adição de coagulante químico
5. Teor de magnésio e cálcio	Derivado da adição de cal para abrandamento da água
6. Alumínio	Derivado do processo de desidratação e retido no leito de secagem
7. Teor de ferro	Derivado da adição de coagulante químico
8. Sílica e material inerte	Material presente na água de superfície
9. Constituintes de traço	Deteção de componentes específicos de interesse

Fonte: Autoria Própria (2023)

Já as propriedades biológicas são decorrentes da possibilidade de conter microrganismos, como bactérias, cistos e oocistos de protozoários e vírus removidos durante o tratamento de água. Esses dependem da fonte da água bruta e são variáveis dependendo também do tratamento utilizado e da época do ano. Geralmente encontrados em lodos de coagulação, águas de lavagem de resíduos de filtro e concentrados de membranas (Howe et al., 2016).

Quadro 5 - Principais parâmetros biológicos para análise do lodo.

Parâmetro biológico	Descrição
----------------------------	------------------

1. Bactérias	Depende da fonte de água bruta e da estação do ano
2. Cistos e oocistos de protozoários	Depende da fonte de água bruta e da estação do ano
3. Helmintos	Depende da fonte de água bruta e da estação do ano
4. Vírus	Depende da fonte de água bruta e da estação do ano

Fonte: Adaptado de Howe *et al.* (2016)

As propriedades físicas incluem viscosidade, resistência específica, sólidos totais, entre outros. Essas propriedades dependem da concentração dos sólidos e da quantidade de coagulantes usados nas fases do tratamento de água. É por meio da resistência específica que se verifica o quanto o lodo pode ser desidratado, sendo um parâmetro importante de análise do desempenho da desidratação por decantação por gravidade, centrifugação, filtração por correia e filtração de pressão de placas quadro e leitos de areia.

Quadro 6 - Principais parâmetros físicos para análise do lodo.

Parâmetro Físicos	Descrição
1. Sólidos totais	Medida da massa total de material que deve ser manuseado em base seca como uma porcentagem da massa combinada do soluto e da matéria.
2. Gravidade específica	Densidade relativa à densidade da água a 4°C
3. Densidade, seco ou úmido	Medida da massa por unidade de volume
4. Resistência específica	Medida da taxa na qual o lodo pode ser desidratado
5. Viscosidade dinâmica	Medida da resistência à tensão tangencial ou de cisalhamento
6. Taxa de deposição inicial	Taxa de deposição inicial de uma suspensão água e sólido

Fonte: Adaptado de Howe *et al.* (2016)

Diante das propriedades e características citadas no Quadro 6, é necessário realizar um tratamento adequado do lodo de ETA, tendo em vista que pode conter

substâncias nocivas ao meio ambiente, à saúde animal e humana. O objetivo dos tratamento é reduzir a carga de contaminantes e assim minimizar esses riscos.

2.3 Impactos Ambientais e Toxicidade do Lodo

A fonte da água bruta está sujeita a contaminação por diversos elementos, tanto resultantes da interação da água com as rochas como por atividades humanas, como a aplicação de fertilizantes e pesticidas, além do descarte de resíduos sanitários e industriais. Esses fatores são importantes, uma vez que os contaminantes podem estar presentes nos resíduos gerados. A maior preocupação na gestão correta do lodo de ETA é a presença de metais na composição (Andrade; Silva; Oliveira, 2014). Esses metais, são derivados dos produtos químicos utilizados no tratamento de água e podem desenvolver efeitos tóxicos ao organismo humano e ao meio ambiente, visto que uma vez absorvidos pelas plantas interferem no funcionamento dos estômatos, dificultando a fotossíntese, a respiração e a atividade da planta, ocasionando má formação dos vegetais (Pereira, 2011). No homem, os metais pesados causam intoxicações por diferentes elementos, como alumínio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, mercúrio e níquel. Esses elementos têm o potencial de afetar as estruturas celulares, as enzimas e substituir metais cofatores nas atividades enzimáticas. Alguns metais pesados, como cromo e zinco são encontrados naturalmente no solo, ar, água e alimentos e são considerados micronutrientes essenciais para o metabolismo dos organismos vivos. No entanto, um excesso desses elementos pode entrar nos tecidos vivos através da água, alimentos, respiração e até mesmo a pele e causar distúrbios nos organismos até a morte (Virga; Geraldo; Santos, 2007).

De acordo com Machado e Villanova (2022) os principais problemas ambientais da disposição do lodo estão o risco à vida aquática, aumento da quantidade de sólidos, assoreamento dos rios, mudança de cor e turbidez da água, aumento da concentração de alumínio e ferro, além de que pode causar riscos à saúde pública.

2.4 Métodos de Tratamento do Lodo, transporte e disposição final

O tratamento do lodo de uma estação de tratamento de água tem como objetivo obter condições adequadas para sua disposição final. Seu tratamento adequado possibilita que a água removida do lodo e a água retirada da lavagem dos

filtros retorne ao processo, assim tenha quase 100% de eficiência em relação ao volume produzido. Para isso, se faz necessário a remoção da água e aplicação de um método de separação sólido-líquido, para assim se obter uma concentração de sólidos e diminuir seu volume final para valores inferiores a 1,0% (Richter, 2001). De acordo com Seckler (2017), a separação sólido-líquido requer que passe por etapas de adensamento e desidratação para que se elevem os teores de sólidos, permitindo o manuseio adequado para sua destinação final.

Os adensadores têm como finalidade aumentar a concentração de sólidos presentes no solo por meio da sedimentação das partículas sólidas, para que elas se acumulem no fundo do adensador, enquanto a água clarificada é removida na parte superior. Os mais comuns são os adensadores por gravidade, mecanizados ou flotação por ar dissolvido. Uma das restrições do uso de adensadores por gravidade e sua aplicação, por exemplo, é que o desempenho desses dispositivos depende das características do lodo. Assim, para o uso de adensadores é necessário que o teor de sólidos fique entre 2% e 3%, entretanto para os lodos de ETA são encontrados valores mais elevados. Assim se faz necessário operações adicionais de remoção de água, a desidratação (Seckler, 2017).

Existem dois tipos de métodos comuns de desidratação do lodo de ETA: métodos naturais e métodos mecanizados. No caso dos métodos naturais, incluem-se os leitos de secagem, leitos de drenagem ou bags com membranas de geotêxtil, sendo este último o mais utilizado atualmente. Por sua vez, os métodos mecanizados são empregados em estações de tratamento de água de médio a grande porte, sendo a escolha do método baseada no tamanho da área ocupada. Os equipamentos mais usados no Brasil são as centrífugas, filtro-prensas de esteira, filtros-prensa do tipo parafuso e filtros-prensa de placas (Seckler, 2017).

Segundo Richter (2001) a separação líquido-sólido é feita geralmente por filtração ou separação gravitacional. A separação por filtração é a operação unitária em que o líquido é filtrado por meio de uma membrana e o sólido fica retido no interior ou na superfície dessa membrana. Já a separação gravitacional acontece devido a um sistema de forças gravitacionais, com o objetivo de remover por meio da diferença de densidade do fluido e do sólido. Pode ocorrer por meio de centrífugas, em que é empregado força centrífuga, ocorrendo uma sedimentação acelerada, ou pelo processo reverso que é a flotação, processo pelo qual as partículas sólidas boiam e se acumulam na superfície do líquido devido a sua menor densidade.

A etapa de secagem é o último método de desidratação do lodo. Nem todas as estações de tratamento de água utilizam esse processo, o qual tem como finalidade diminuir ainda mais o teor de umidade do material. A não utilização desse procedimento se deve ao fato de que os principais gastos relacionados à operação de sistemas de tratamento da fase sólida referem-se ao transporte e à disposição final do lodo a aterros sanitários ou aterros específicos, com custos que variam entre R\$120,00 a R\$180,00 por tonelada. Nesse contexto, é importante destacar que quanto maior for a concentração de sólidos no lodo desidratado, menor será o impacto nos custos operacionais (Seckler, 2017).

2.5 Destinação o lodo de ETA

Segundo Iwaki (2018), vários estudos vêm sendo feitos acerca da disposição do lodo de ETA buscando novas alternativas para destinação do resíduo. As principais destinações do lodo são os aterros sanitários, aplicações no solo, fabricação de cimento e de materiais cerâmicos, lançamentos em sistema de esgoto e recuperação de coagulantes (Januário; Filho, 2007).

“Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário” ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992)

Conforme mencionado pelo autor Januário e Filho (2007) a disposição de lodo de ETA em aterros sanitários é um método conhecido, que oferece segurança tanto para saúde pública quanto para o meio ambiente, desde que seja projetado e operado de forma adequada. A sua disposição é comprovadamente viável e regulamentada pelas legislações ambientais vigentes. Essa abordagem pode ser viabilizada por meio da utilização de aterros já existentes ou pela implementação de aterros exclusivos, considerando os custos envolvidos na sua implementação, operação e transporte até o local designado. Januário e Filho (2007) complementam que uma das dificuldades é encontrar áreas adequadas para implementação desses aterros, pela necessidade de grandes áreas e que sejam isoladas das comunidades vizinhas.

O lodo pode ser aplicado no solo, a partir do derramamento no solo natural ou na agricultura Richter (2001). A disposição de lodo em solo é uma opção conhecida,

mas não tem sido uma alternativa comum em razão de seu baixo valor agrônômico. O lodo proveniente da coagulação contém quantidade significativa de sólidos fixos e reduzida concentração de matéria orgânica, assim seu aproveitamento na agricultura não se torna muito frequente. Outro fator é que alguns coagulantes têm base de alumínio, criando deficiências nutricionais em algumas culturas, ao contrário dos coagulantes a base de ferro, os quais são mais utilizáveis na agricultura. Para Januário e Filho (2007) o lodo na aplicação do solo também não é considerado tão atrativo, visto que nos Estados Unidos se tem exemplos de aplicação do lodo em solos degradados para recuperação. Contudo, para a viabilidade dessa recuperação se deve conhecer as características físicas e químicas do lodo. Em contrapartida, o autor Richter (2001) relata que o lodo em aplicação no solo é uma opção viável, principalmente para os carbonatos precipitados em estação de abrandamento a cal e soda como corretor de pH. De acordo com o autor, o uso de sulfato de alumínio pode ser condicionante no solo, atuando como mais poroso que o solo, retendo mais umidade e como consequência tornando mais coesivo. Entretanto, existem restrições, já que o alumínio tem tendência de fixar fósforo no solo, evitando a assimilação pelas raízes das plantas. Outro ponto negativo é o valor, os custos de transporte são elevados e assim se tem pouca aceitação pelos agricultores.

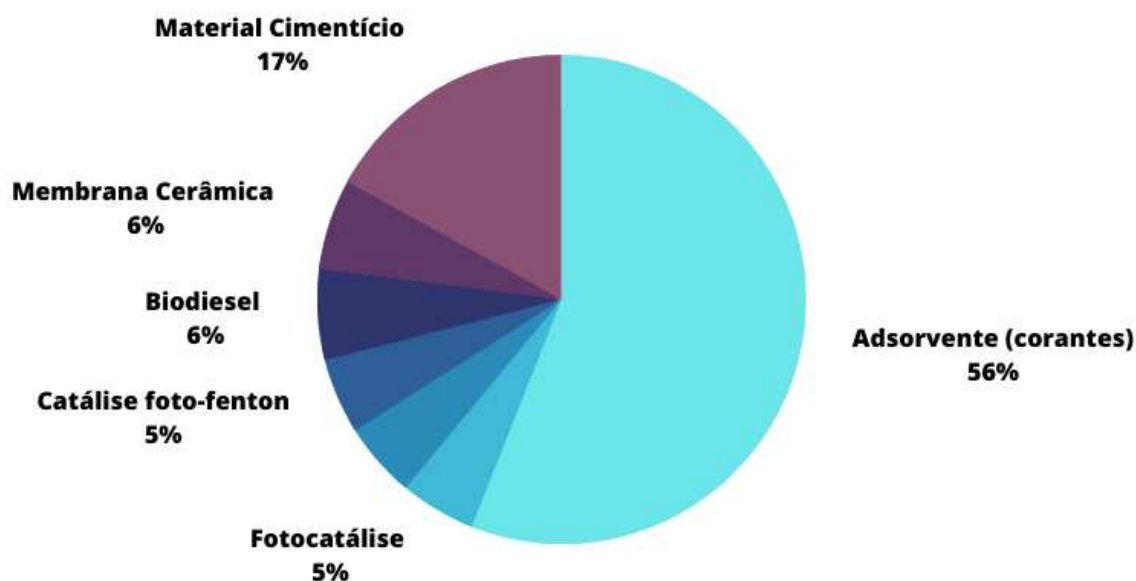
Uma opção de reutilização é a recirculação na água de lavagem dos filtros, a qual contém baixas concentrações de sólidos, variando de 0,004% a 0,1%. Assim pode-se retornar ao início do processo sem alterar a qualidade da água bruta, reduzindo as perdas no processo a quase zero e reduzindo o consumo de coagulante (Richter, 2001).

Outro método que vem sendo estudado é a incineração, processo de queima do lodo e que, de acordo com Hendges et al. (2017), vem se mostrando efetivo na redução do volume do lodo de ETE (em até 80%). Assim, elimina-se a necessidade de grandes áreas para sua disposição final. Porém, para o lodo de ETA, segundo Richter (2001) consiste em um método caro e pouco viável, além disso tem um baixo calor poder calorífico e não consegue eliminar a fase de desidratação do lodo.

Segundo Januário e Filho (2007), mesmo com outras opções de disposição, ainda é necessário prever a utilização de aterros sanitários como uma opção para casos de haver necessidade da sua utilização, como no caso de uma variação brusca na quantidade ou qualidade dos lodos. Entretanto, a opção de aterros se torna cada vez mais difícil devido à alta concentração de elementos metálicos, podendo ser tóxico

e causando efeitos adversos à natureza (Pinto, 2022). Tendo como foco a sustentabilidade e outras opções para o descarte do lodo, a Figura 1 relaciona os principais métodos alternativos de disposição do lodo de acordo com o estudo feito por Pinto (2022).

Figura 1 - Aplicações do lodo de ETA.



Fonte: Adaptado de Pinto (2022)

Segundo Pinto (2022), conforme a Figura 1, os principais métodos de utilização do lodo são, primeiramente, como adsorventes em corantes, e em segundo na indústria cimentícia. Sendo que as principais referências são com o uso do lodo em etapas da construção civil, desde incorporado como agregado à massa para produção de materiais cimentícios e cerâmicos, até emulsificação asfáltica, pó de pedra e como combinação de lodo mais resíduos industriais (Machado; Villanova, 2022). Com o objetivo de suprir propriedades não atendidas individualmente, mostrando propriedades de resistência. Portanto, o gerenciamento correto desse resíduo é necessário para resolver o problema ambiental que se agrava quando seu destino é o leito dos rios. Assim, analisar seus parâmetros, padronizar e discutir sobre a cultura da gestão do lodo é fundamental.

Quadro 7 - Uso do lodo de ETA de acordo com o estudo de Machado e Villanova (2022)

Fonte	Resumo
Anyalora (2013)	Fabricação de tijolos
Benlalla, El moussaquiti e Dahhou	Fabricação de cerâmica
Coelho et al. (2015)	Pavimento de estradas
Gastaldini, El moussaquiti e Dahhou (2015)	Adição mineral em concreto
Geraldo, Fernandes e Camarini (2017)	Produção de geopolímero
Huang e Wang (2013)	Produção de agregado leve
Krishna, Aryal e Jansen (2016)	Adsorvente para remoção de fósforo
Mymrin et al. (2017)	Produção e cerâmica

Fonte: Adaptado de Machado e Villanova (2022)

De acordo com Ferreira e Além (1998), no Brasil são poucas as ETAs que apresentam soluções para minimizar a quantidade de despejos gerados, seu tratamento e sua disposição final. Na atualidade, esse dado não é diferente, segundo a PNRS PR - Política Nacional de Resíduos Sólidos, 80% das ETAs do estado destinam o lodo diretamente aos corpos hídricos (Brasil, 2010), mesmo que a legislação proíba o lançamento desse lodo diretamente em corpos d'água. Portanto, torna-se imprescindível explorar novas alternativas de gerenciamento do lodo, de modo a considerá-lo como um material com potencial de utilização, em vez de simplesmente descartá-lo em aterros ou de forma mais danosa ao meio ambiente, nos leitos dos rios.

2.6 Legislação Mundial Brasileira referente a destinação do lodo

As discussões ambientais surgem em resposta aos efeitos causados pelas atividades humanas nos ecossistemas. As atividades agrícolas, industriais e de serviços apresentam diversos impactos. A Agenda 21 é um exemplo de política com

âmbito mundial com foco em problemas de hoje para preparar o mundo para desafios futuros para desenvolvimento e cooperação ambiental, dando responsabilidade aos governos. Nesta agenda, tem-se o foco no abastecimento de água, tratamento de efluentes e na destinação adequada de resíduos, como o lodo (de Souza, 2022).

A Agenda 2030 é um documento assinado pelos países membros da Organização das Nações Unidas, fixando novas metas para alcançar o desenvolvimento sustentável e reafirmando a Agenda 21. Nesse documento, estabelecem-se 17 Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável até 2030, nos quais destacam-se a ODS 6, a qual assegura a disponibilidade e a gestão sustentável de água para todos; a ODS 13, responsável pela preservação de vidas em corpos d'água; e ODS 17, a qual preza pela implementação e revitalização em prol do desenvolvimento sustentável (ONU, 2023). As 17 ODS estabelecidas pela ONU estão representadas na Figura 2.

Figura 2 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável no Brasil



Fonte: ONU (2023)

Referente às políticas nacionais, com o objetivo de estabelecer diretrizes e regulamentações ambientais para as atividades que dependem dos recursos naturais, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) foi criado. A Resolução nº 237 de 1997, define normas para o licenciamento ambiental. No anexo I do documento em questão estão listadas as atividades que estão sujeitas a essa regulamentação, incluindo as estações de tratamento de água. Dessa forma, as ETAs passam a ser fiscalizadas em relação à concepção do projeto, bem como ao destino dos resíduos gerados durante o processo (de Souza, 2022).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, traz ao Brasil uma série de inovações para gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos. Esta Lei dispõe dos objetivos, princípios, diretrizes e instrumentos que se referem ao gerenciamento dos resíduos sólidos e da sua gestão, dando responsabilidade aos geradores (de Souza, 2022). Ou seja, a obrigação que antes era somente do município passa a ser de todos os envolvidos na manipulação, desde a fabricação até a disposição final. Entre as exigências da lei, estão a obrigação dos estados federados elaborarem planos estaduais de gerenciamento de resíduos sólidos, atividade que era desenvolvida somente pelos municípios (Ferreira, 2018).

Para o estado do Paraná, tem-se a PERS PR - Plano Estadual de Resíduos Sólidos do paraná, dentre seus objetivos temos:

- 1) Proteção   saúde pública e a qualidade ambiental;
- 2) Não gerar, reduzir, reutilizar, reciclar e tratar os resíduos sólidos e dispor os rejeitos de forma adequada;
- 3) Estimular padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;
- 4) Incentivar as indústrias de reciclagem;
- 5) O gerenciamento dos resíduos sólidos;
- 6) Realizar a quantificação e o diagnóstico de geração, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos do Estado.

A NBR 10.004:2004 classifica os resíduos quanto aos seus riscos ao meio ambiente, para assim serem gerenciados adequadamente; esta inclui em sua definição de resíduos sólidos os ‘lodos provenientes de sistemas de tratamento de água’, os quais devem estar em concordância com a PNRS (ABNT, 2004).

Algumas definições importantes da PNRS:

XVI - resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. (Brasil, 2010).

Fazem parte da PNRS os planos de resíduos sólidos, inventários anuais, coleta seletiva e sistemas de logística reversa; incentivo ao desenvolvimento de cooperativas e outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e

recicláveis; monitoramento e fiscalização ambiental; educação ambiental; pesquisa científica de novos produtos, métodos, processos e tecnologias de gestão, reciclagem, reutilização, tratamento de resíduos e disposição final adequada de rejeitos entre outros. (Brasil, 2010)

A PNRS, também diferencia destinação final e disposição:

VIII - disposição final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;

VII - destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos. (Brasil, 2010).

Em resumo, a destinação final refere-se a todas as etapas envolvidas no gerenciamento do lodo, desde a coleta até a disposição final. Essa é a fase específica em que o lodo é depositado em um determinado local. Outro ponto importante da lei é que o gerenciamento dos resíduos sólidos deve ter como prioridade a não geração, reutilização, reciclagem, tratamento de resíduos e por fim a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Portanto, a lei em questão enfatiza a importância de que antes de dispor em algum local, o resíduo deve ser reciclado, reutilizado, ou até mesmo tratado, visto que de acordo com o item XVI da lei 12.305/2010 o lodo é um resíduo sólido e é proibido seu lançamento nos corpos d'água dos rios.

Embora a lei seja bem elaborada, possui lacunas e desafios para sua real implementação. No estudo de Souza (2022), as lacunas estão quando se tem divergências na classificação do lodo na política nacional e legislação estadual. Na Política Nacional de Resíduos Sólidos, o lodo é considerado um resíduo sólido, já na legislação estadual de Pernambuco, por exemplo, é considerado um resíduo de processos industriais, tornando-se mais complexo e com mais responsabilidade ao ser descartado. E segundo a autora, a descrição do lodo na legislação estadual descreve melhor a atividade, exigindo um maior cuidado na destinação e na disposição final do lodo. Assim, é necessário um maior aprofundamento da questão nas esferas nacionais e estaduais, especificando esse resíduo na legislação nacional para melhor gerenciamento do mesmo.

2.7 Economia Circular e o Lodo

A Economia Circular surge como um novo modelo de negócio, contrapondo-se ao modelo linear, o qual baseia-se na extração, transformação, produção, utilização e descarte. Este vem sendo ameaçado devido aos recursos naturais finitos e aos níveis alarmantes de geração de poluição. Assim, a Economia Circular surge como um sistema que estimula práticas de gestão, surgindo assim uma relação harmoniosa entre meio ambiente e organizações (Leitão, 2015).

Monteiro (2018) define Economia Circular como um conceito estratégico que visa a redução, recuperação, reutilização e reciclagem e que corrrompe com a associação errônea que existe entre crescimento econômico e aumento de consumo de recursos. A Economia Circular ultrapassa a ideia de gestão de resíduos e reciclagem, esta redesenha processos, desenvolvendo produtos e serviços viáveis economicamente e sustentavelmente em um ciclo infinito de reconversão.

Figura 3 - Ciclo da Economia Circular



Fonte: Adaptado de Vickers (2019)

A relação entre Lodo e Economia Circular é intrínseca, visto que existem diversas pesquisas relacionadas à aplicabilidade do lodo. Neste contexto, Fajardo e Silva (2022), retratam dados de uma pesquisa realizada na Petrobrás sobre a viabilidade da incorporação de lodo de ETA em massa argilosa para a produção de

tijolos. Entre os resultados encontrados destacam-se o aumento da compressibilidade e inexistência de toxicidade biológica dos tijolos. Ainda se ressalta a ampla aplicabilidade do lodo na construção civil, especificamente como aditivo para agregados na pavimentação, e seu vasto campo de aplicações para fins agrícolas.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta o procedimento metodológico que o trabalho seguiu para atingir os objetivos do estudo. Foi adotado uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) para o levantamento das informações.

3.1 Etapas da Pesquisa

A pesquisa seguiu algumas etapas com base nos objetivos deste estudo. Essas etapas estão descritas no Quadro 8:

Quadro 8 - Etapas da pesquisa, objetivo e o método de revisão aplicado.

Etapa	Objetivo	Método
1	Analisar os métodos de tratamento do lodo e sua efetividade.	Revisão Bibliográfica Sistemática RBS - roadmap
2	Identificar as propriedades físicas, químicas e biológicas do lodo correlacionando com a possibilidade de reutilização, reaproveitamento e reciclagem do lodo e sua efetividade.	Revisão Bibliográfica Sistemática RBS - roadmap

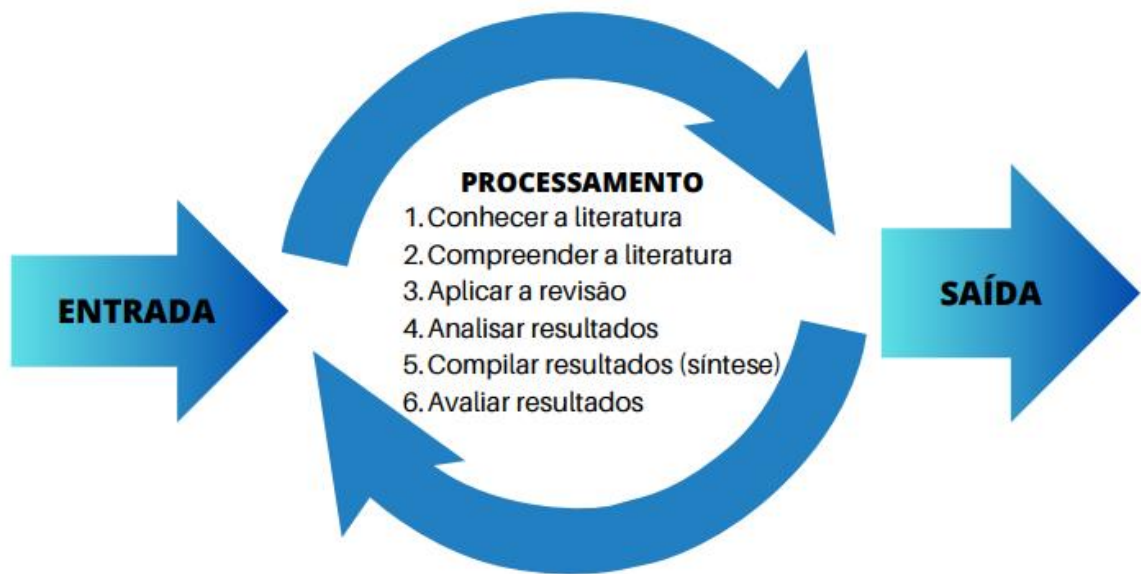
Fonte: Autoria própria (2023)

As etapas 1 e 2 foram realizadas por meio de uma revisão bibliográfica sistemática a partir do método roadmap, o qual foi abordado na seção 3.2.

3.2 Revisão Bibliográfica Sistemática

De acordo com os autores Conforto, Amaral e Silva (2011) a revisão sistemática é um método científico com o objetivo de analisar artigos de uma determinada área. Este processo, permite ao pesquisador compilar dados, aprimorar hipóteses, estimar tamanho de amostras, definir de forma mais precisa o método de pesquisa a ser adotado para resolver aquele problema e por fim, estabelecer direções para futuras pesquisas. Ainda, segundo os autores, para obter maior rigor e nível de confiabilidade é necessário adotar uma abordagem sistemática. Isso significa definir estratégias e um método sistemático estabelecido para auxiliar na busca e análise dos resultados encontrados. Na Figura 4 está exemplificado como a RBS funciona.

Figura 4 - Etapas da Revisão Bibliográfica Sistemática da Literatura – RBS

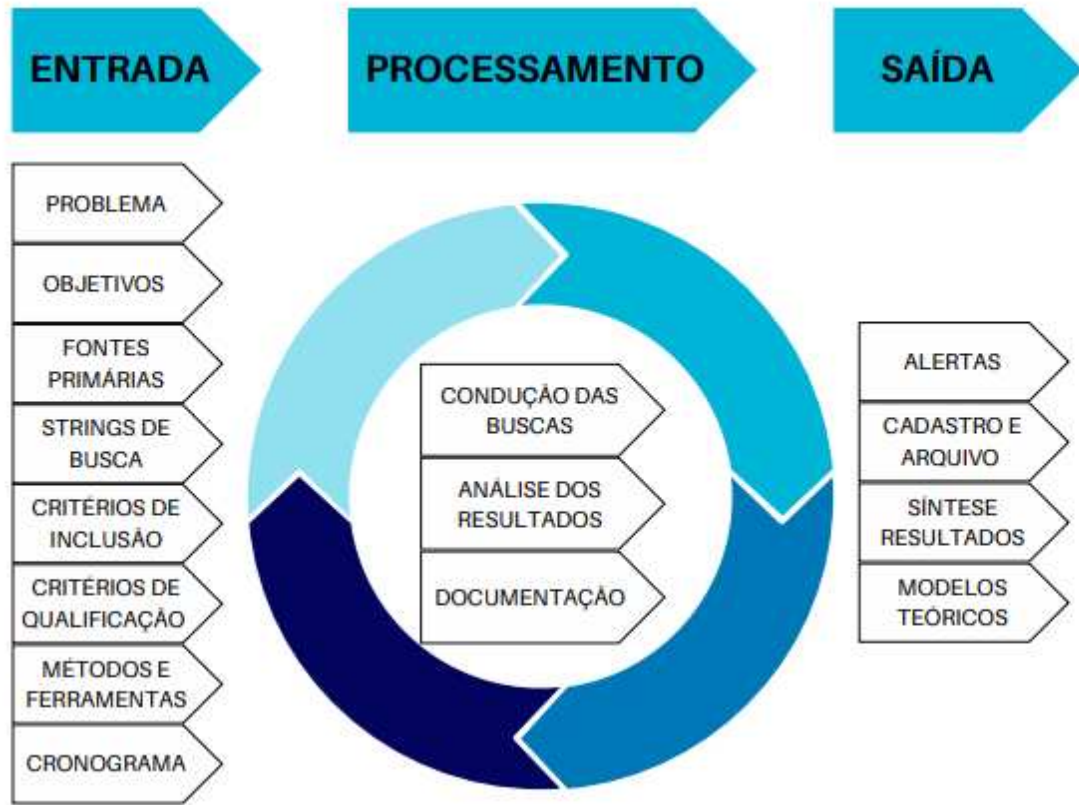


Fonte: Adaptado de Conforto, Amaral e Silva (2011)

O modelo proposto por Levy e Ellis (2006) e replicado por Conforto, Amaral e Silva (2011) enfatiza a importância de realizar a revisão bibliográfica sistemática (RBS) em ciclos, seguindo as etapas como na Figura 4. Dessa forma, à medida que o assunto se expande, os ciclos são executados de maneira mais eficiente, podendo ser repetido quantas vezes forem necessárias até que os objetivos sejam atingidos. De acordo com Amigo, Iritani e Rozenfeld (2012), o roadmap tem como características os testes e refinamentos das strings de busca e o processamento de dados de forma interativa, usando os filtros de seleção dos artigos realizados de forma mais detalhados em cada interação.

A abordagem do presente estudo será realizada pelo método roadmap e por meio de três etapas: Entrada, processamento e saída, exemplificados pela Figura 5.

Figura 5 - Estágios da análise dos resultados



Fonte: Adaptado de Conforto, Amaral e Silva (2011)

3.2.1 FASE 1: entrada

Essa fase pode ser conceituada como a fase da coleta de dados e pode ser subdividida em:

1. Problema;
2. Objetivos;
3. Fontes primárias;
4. Strings de buscas;
5. Critérios de inclusão;
6. Critérios de qualificação;
7. Método;

O problema estabelecido para a presente pesquisa foi a possibilidade de reaproveitamento e utilização do lodo de ETA em acordo com a legislação vigente.

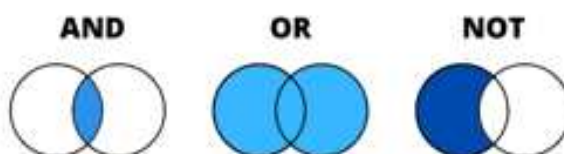
Os objetivos da RBS devem estar alinhados com os objetivos específicos da pesquisa e é necessário tê-los bem definidos, visto que serão a base para a análise

dos artigos encontrados (Conforto; Amaral; Silva, 2011). Os objetivos foram relatados na seção 1.2 deste trabalho.

As fontes primárias são compostas por artigos, periódicos e base de dados pertinentes ao tema da pesquisa. Elas podem ser adquiridas por meio de revisões bibliográficas iniciais e consulta a especialistas. As fontes primárias para este trabalho foram realizadas pelo Google Acadêmico, *Web of Science*, *Scielo* e *Scopus*. Entretanto, após uma pesquisa preliminar nas bases de dados mencionadas acima, constatou-se que os resultados mais convergentes aos objetivos da pesquisa se encontravam no *Web of Science*, sendo esta a base de dados escolhida para a continuidade do estudo. As palavras chaves utilizadas na pesquisa foram: estação de tratamento de água (*water treatment plan*), tratamento do lodo (*sludge treatment*), tratamento da água (*water treatment*), lodo (*sludge*) e uso (*use*). Também foram pesquisados alguns livros relacionados ao tema estação de tratamento de água a partir da biblioteca virtual disponível para os alunos da UTFPR.

As Strings de buscas referem-se a uma série de palavras-chaves ligadas por operadores booleanos como exemplificado na Figura 6: *OR*, *NOT*, *AND*, entre outros (Amigo; Iritani; Rozenfeld, 2012). Deve ser escolhida de forma interativa, em ciclos de testes e refinamentos. O trabalho foi realizado em duas fases, primeiramente foi elencado os estudos sobre as propriedades e principais métodos de tratamento, para assim entrar para a outra fase, buscar alternativas de utilização e reaproveitamento do lodo de ETA relacionando e identificando as propriedades físicas, químicas e biológicas do lodo. Para cada etapa, foi realizada uma busca por palavras-chaves diferentes. Os Quadros 9 e 10 relacionam o objetivo, método, as palavras-chaves usadas e os critérios de qualificação.

Figura 6 - Operadores booleanos



Fonte: autoria própria (2023)

O próximo passo foi a definição de alguns critérios que serão levados em conta na hora de escolher os artigos (Conforto; Amaral; Silva, 2011). Os critérios de inclusão para esta pesquisa foram:

1. Artigos da plataforma *Web of Science*;
2. Artigos que utilizam lodo de ETA;
3. Artigos que mencionam métodos de Tratamento de Lodo;
4. Artigos que mencionam métodos de Reutilização do Lodo de ETA;

Por fim, deve-se delimitar os critérios de qualificação e método. Os critérios de qualificação baseiam-se no levantamento de parâmetros que avaliam a importância do artigo para a pesquisa, tais como método de pesquisa utilizado, revista em que o artigo em questão foi publicado e número de citações. O método define-se como o processo de execução das etapas para a busca, ou seja, definem-se os filtros, como será realizado a busca nos periódicos e bases de dados, como os resultados ficaram armazenados, etc. (Conforto; Amaral; Silva, 2011). Os critérios de qualificação e o método foram diferentes para as etapas 1 e 2 descritas no quadro 9 e 10, respectivamente. Já que cada seleção de palavras chaves resultou em uma base de artigos diferentes e com objetivos diferentes. A seguir apresenta-se o quadro referente às etapas, objetivos específicos, métodos, strings e o critério de qualificação realizado para a seleção dos artigos que foram abordados neste trabalho.

Quadro 9 - Etapa 1 com o objetivo, método, strings e critérios de qualificação

Etapa	Objetivo específico	Método	Strings	Crítérios de qualificação
1	Analisar os métodos de tratamento do lodo e sua efetividade.	RBS - roadmap	<i>Water treatment, sludge treatment.</i>	1. Artigos publicados no <i>Web of Science</i>; 2. Artigos publicados a partir do ano de 2014; 3. Revisões Bibliográficas e Pesquisas Científicas; 4. Artigos com expressivo número de citações;

Fonte: Autoria própria (2023)

Quadro 10 - Etapa 2 com o objetivo, método, strings e critérios de qualificação

Etapa	Objetivo específico	Método	Strings	Critérios de qualificação
2	2.1 Identificar as opções de reutilização, reaproveitamento e reciclagem, bem como sua viabilidade. 2.2 Apresentar as propriedades físicas químicas e biológicas do lodo.	RBS - roadmap	<i>water treatment plan, sludge e use</i>	1. Artigos publicados no <i>Web of Science</i>; 2. Artigos publicados a partir do ano de 2014; 3. Revisões Bibliográficas e Pesquisas Científicas; 4. Artigos com expressivo número de citações;

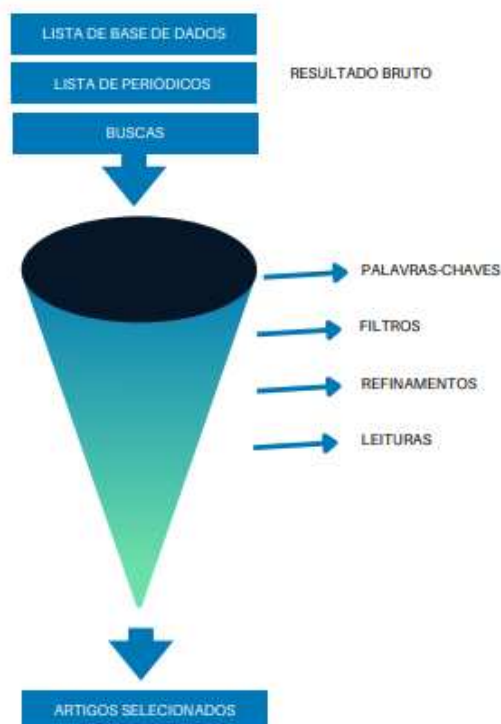
Fonte: autoria própria (2023)

Na etapa 2, descrita no quadro 10, os objetivos 2.1 e 2.2 foram unidos e englobam um único objetivo específico por estarem correlacionados. Assim, as strings definidas e consequentemente os artigos selecionados trazem o subitem em seu conteúdo, justificando sua junção.

3.2.2 FASE 2: processamento

De acordo com Conforto, Amaral e Silva (2011) a etapa de processamento refere-se às etapas de busca, análise dos resultados e documentação.

Figura 7 - Estágios da fase de análise dos resultados



Fonte: Adaptado de Conforto, Amaral e Silva (2011)

Inicialmente, definiu-se o periódico que seria usado: *Web Of Science*, e delimitou-se as palavras-chaves na base de dados escolhida. As buscas iniciaram-se com a etapa 1 “Analisar os métodos de tratamento do lodo e sua efetividade”. As palavras-chave utilizadas foram “*water treatment*” com a opção “título” e “*sludge treatment*” também com a opção “título”, assim filtrou-se todos artigos que continham em seu título a palavra-chave referente. Para conectar as strings escolhidas, utilizou-se somente o operador booleano “*and*”, totalizando 1.055 artigos. Selecionou-se a opção “artigos publicados a partir de 2014”, e assim totalizou-se em 465 artigos. Dentre os selecionados, realizou-se a leitura do título, posteriormente do resumo e por fim a leitura completa do artigo, resultando em 32 artigos selecionados. A seleção baseou-se nos artigos que se relacionavam ao tema central. Aqueles que não coincidiram com a temática principal foram descartados.

Quadro 11 - Método e filtros da etapa 1 pela plataforma *Web of Science*: “Analisar os métodos de tratamento do lodo e sua efetividade”

Etapa 1- <i>Web of Science</i>	Combinação			Total
	<i>water treatment</i>	AND	<i>sludge treatment</i>	1055
	Título		Título	
Filtro 1: Artigos publicados a partir de 2014				465
Filtro 2: Leitura do título				94
Filtro 3: Leitura do resumo				75
Filtro 3: Leitura completa do artigo				32

Fonte: autoria própria (2023)

Para a segunda etapa, foi utilizado a mesma estratégia da etapa anterior. Primeiramente usando as palavras chaves “*water treatment plant*”, “*sludge*” e “*use*” com as opções “título”, “título” e “todos os campos”, respectivamente. Assim, foi selecionado os artigos publicados a partir de 2014, com isso obteve-se 388 artigos. Desses, realizou a leitura de título e resumo e selecionou-se 128. Após a leitura completa totalizou-se em 87 artigos, exemplificados no Quadro 12.

Quadro 12 - Método e filtros da etapa 2 pela plataforma *Web of Science*: “Identificar as opções de reutilização, reaproveitamento e reciclagem, bem como sua viabilidade” e “Apresentar as propriedades físicas químicas e biológicas do lodo”

Etapa 2 - web of science	Combinação					Total
	<i>water treatment</i>	AND	<i>sludge</i>	AND	<i>use</i>	595
	Título		Título		Todos os campos	
Filtro 1: Artigos publicados a partir de 2014						388
Filtro 2: Leitura do título						198
Filtro 3: Leitura do resumo						128
Filtro 3: Leitura completa do artigo						87

Fonte: autoria própria (2023).

3.2.3 FASE 3: saída

Na etapa da saída, foram extraídos os principais resultados que formam o panorama da temática de estudo, fornecendo informações sobre os principais focos abordados nos artigos, os principais autores que discutem o assunto, as principais referências utilizadas e os periódicos que dedicam maior espaço a essa temática. De acordo com Conforto, Amaral e Silva (2011) a fase da saída consiste em quatro

etapas: Alertas, Cadastros e Arquivos, Sínteses e Resultados e Modelos Teóricos. Entretanto, para essa pesquisa foram utilizadas apenas duas etapas: Arquivos e Resultados e Síntese, sendo que na etapa de Arquivo realizou-se a análise e inclusão no Repositório de Artigos de Pesquisa; enquanto na fase de Síntese e Resultados compilou-se as as informações dos artigos em um quadro com seus respectivos títulos, autores e anos das publicações. Além disso, realizou-se uma análise cienciométrica para a conclusão do estudo.

3.3 Cienciométrica

A cienciométrica consiste em um ramo da ciência que busca medir e quantificar a evolução da produção científica em diferentes escalas geográficas e temporais, permitindo avaliar o grau de conhecimento em cada área. Além disso, a cienciométrica desempenha um papel importante ao direcionar investimentos e orientar pesquisas futuras. Ao sistematizar e quantificar informações existentes, essa disciplina também é capaz de identificar lacunas no conhecimento de uma determinada área de estudo. Essa metodologia pode ser resumida em três etapas: pré-análise, exploração do material, tratamento dos resultados obtidos e interpretação (Zem, 2021).

A cienciométrica possibilita a avaliação de pesquisas científicas, usando ferramentas e técnicas bibliométricas. Se encarrega da avaliação da produção científica através de indicadores numéricos de publicações, patentes e etc (Barros; Langhi, 2023). A análise cienciométrica possibilita:

- 1) Identificar as tendências de desenvolvimento do conhecimento em uma área específica.
- 2) Constatar as principais revistas que abrangem uma disciplina central e o principal público-alvo.
- 3) Analisar a dispersão e a ausência da literatura científica.
- 4) Avaliar a produtividade dos autores e medir o grau de colaboração entre eles.
- 5) Examinar como os artigos são citados e como eles se relacionam entre si através das citações.
- 6) Considerar aspectos estatísticos da linguagem, das palavras e das frases utilizadas na literatura científica.
- 7) Medir o crescimento de áreas específicas e identificar o surgimento de novos temas dentro dessas áreas.

- 8) Desenvolver processos de indexação e classificação de resumos para facilitar a busca e recuperação de informações relevantes e obter o número de citações recebidas pelos artigos.

Segundo Parra, Coutinho e Pessano (2019), a Cienciometria abrange um extenso grupo, no qual se encontram a Informetria, Webometria e por fim a Bibliometria. Sendo essa dedicada a examinar a estrutura e dinâmica dos campos científicos e tecnológicos, utilizando fontes como artigos científicos e patentes, para assim identificar os autores, suas relações e tendências (Spinak, 1996). Dessa forma, a bibliometria lida com várias medições da literatura, dos documentos e outros meios de comunicação, oferecendo uma análise quantitativa das publicações (Barros; Langhi, 2023).

As análises do Trabalho em questão foram conduzidas utilizando a plataforma *Web of Science* de modo preliminar, compilando as informações em um quadro e plotando gráficos os quais contêm os anos das publicações, os países em que foram realizados os estudos e as principais linhas de pesquisas dos artigos. Assim, posteriormente, com o intuito de aprofundar a análise, foi empregado o *Software Bibliometrix*, o qual executou-se a partir de *scripts* em R, resultando em dados que foram exportados em arquivo *BibTex* através da *Web of Science*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados da Revisão Bibliográfica Sistemática para a etapa 1

Com todos os refinamentos descritos da metodologia, resultou-se em 32 artigos selecionados pela base de dados Web of Science para o estudo sobre os métodos de tratamento do lodo de ETA, os quais estão descritos no Quadro 13 em ordem decrescente de ano de publicação.

Quadro 13 - Artigos selecionados para o estudo pelo Web of Science para etapa 1

Artigo	Artigo traduzido	Autor
Study on ammonia generation from digested sludge by subcritical water treatment	Estudo sobre geração de amônia a partir de lodo digerido por tratamento subcrítico de água	(Kato <i>et al.</i> , 2023)
Water treatment waste: comparison between sedimentation and flotation for sludge thickening at a Brazilian water treatment plant	Resíduos de Tratamento de Água: comparação entre sedimentação e flotação para espessamento de lodo em estação de tratamento de água brasileira	(Hedlund <i>et al.</i> , 2022)
Co-fermentation process of sewage sludge with water treatment sludge. Pilot scale case study	Processo de cofermentação de lodo de esgoto com lodo de tratamento de água. Estudo de caso em escala piloto	(Cimochowicz-Rybicka, 2021)
Develop a green sludge treatment: Effects of a new additive on sludge properties and co-removal of bound water, organics and toxic elements in sludge	Desenvolva um tratamento de lodo verde: Efeitos de um novo aditivo nas propriedades do lodo e na remoção conjunta de água ligada, orgânicos e elementos tóxicos no lodo	(Dai <i>et al.</i> , 2021)
Use of emergent moringa-based coagulant/flocculant for water treatment with verification of composition and toxicity of the produced sludge: water treatment with Moringa and toxicity of the sludge	Uso do coagulante/floculante emergente à base de moringa no tratamento de água com verificação da composição e toxicidade do lodo produzido: tratamento de água com Moringa e toxicidade do lodo	(Michelan <i>et al.</i> , 2021)
Research on enhanced coagulation test for sludge water recycling in water treatment plant in Ganjiang River Nanchang Section	Pesquisa sobre teste de coagulação aprimorada para reciclagem de água de lodo na estação de tratamento de água na seção Nanchang do Rio Ganjiang	(Tong <i>et al.</i> , 2021)
Electrolysis using Pt/SS electrodes for aluminum recovery from drinking water treatment sludge	Eletrólise usando eletrodos Pt /SS para recuperação de alumínio de lodo de tratamento de água potável	(Barakwan <i>et al.</i> , 2020)
Recovery of Alum from Surabaya Water Treatment Sludge using Electrolysis with Carbon-Silver Electrodes	Recuperação de alúmen de lodo de tratamento de água de Surabaya usando eletrólise com eletrodos de prata-carbono	(Barakwan <i>et al.</i> , 2020)
The influence of ozonation and sedimentation on water treatment	A influência da ozonização e da sedimentação no lodo da estação de tratamento de água: avaliação	(Ferrari <i>et al.</i> , 2020)

plant sludge: evaluation of clarified water and thickened sludge	da água clarificada e do lodo espessado	
Processing of Water Treatment Sludge by Bioleaching	Processamento de Lodos de Tratamento de Água por Biolixiviação	(Kamizela; Worwag, 2020)
Acidification and flocculation of sludge from a water treatment plant: New action mechanisms	Acidificação e floculação de lamas de estação de tratamento de águas: Novos mecanismos de ação	(Maraschin;Ferrari; Carissimi, 2020)
Aluminum leaching from water treatment sludge using hydrochloric acid and kinetic study	Lixiviação de lodo de tratamento de água utilizando ácido clorídrico e estudo cinético	(Mirwan <i>et al.</i> , 2020)
Optimization of alum recovery from water treatment sludge-case study: Samannoud water treatment plant, Egypt	Otimização da recuperação de alúmen de lodo de tratamento de água - estudo de caso: estação de tratamento de água de Samannoud, Egito	(Ramandã;El Sayed;2020)
Utilization of gamma and e-beam irradiation in the treatment of waste sludge from a drinking water treatment plant	Utilização de irradiação gama e feixe eletrônico no tratamento de lodo residual de estação de tratamento de água potável	(Rankovic <i>et al.</i> ,2020)
Water Treatment Sludge Stabilizer Binder by Waste Paper Sludge Ash for Solidification/Stabilization Technique	Pasta estabilizadora de lodo de tratamento de água por cinzas de lodo de papel residual para técnica de solidificação / estabilização	(Ismail <i>et al.</i> , 2019)
Solidification as a process of treatment of post-coagulation sludge from the water treatment plant	Solidificação como Processo de Tratamento de Lodo Pós-Coagulação da Estação de Tratamento de Água	(Plonka <i>et al.</i> , 2019)
Stabilization of High-Organic-Content Water Treatment Sludge by Pyrolysis	Estabilização de Lodo de Tratamento de Água com Alto Conteúdo Orgânico por Pirólise	(Lee; Kim; Yoo,2018)
Optimizing dewaterability of drinking water treatment sludge by ultrasound treatment: Correlations to sludge physicochemical properties	Otimizando a desidratabilidade do lodo de tratamento de água potável por tratamento com ultrassom: Correlações com as propriedades físico-químicas do lodo	(Meng <i>et al.</i> , 2018)
Optimization of aluminium recovery from water treatment sludge using Response Surface Methodology	Otimização da recuperação de alumínio de lodo de tratamento de água usando Metodologia de Superfície de Resposta	(Ooi, 2018)
Centrifugal dewatering of blended sludge from drinking water treatment plant and wastewater treatment plant	Desaguamento centrífugo de lodo misturado de estação de tratamento de água potável e estação de tratamento de águas residuais	(Yan <i>et al.</i> , 2018)
Influence of sludge characteristics on coagulant recovery from water treatment sludge: a preliminary study	Influência das características do lodo na recuperação de coagulantes do lodo de tratamento de água: um estudo preliminar	(Nair; Ahammed, 2017)
Removal of aluminum from drinking water treatment sludge using vacuum electrokinetic technology	Remoção de alumínio de lodo de tratamento de água potável usando tecnologia eletrocinética a vácuo	(Xu <i>et al.</i> , 2017)

A parametric study of alum recovery from water treatment sludge	Um estudo paramétrico da recuperação de alúmen de lodo de tratamento de água	(Ayoub;Abdelfattah, 2016)
Effect of sludge pH and treatment time on the electrokinetic removal of aluminum from water potabilization treatment sludge	Efeito do pH do lodo e do tempo de tratamento na remoção eletrocinética do alumínio do lodo de tratamento de potabilização da água	(Cherifi <i>et al.</i> , 2016)
Structural Aspects and Thermal Degradation Kinetics of Water Treatment Plant Sludge of Moroccan Capital	Aspectos estruturais e cinética de degradação térmica do lodo de estação de tratamento de água da capital marroquina	(Dahhou <i>et al.</i> , 2016)
Dewatering of drinking water treatment sludge by vacuum electro-osmosis	Desaguamento de lodo de tratamento de água potável por eletrosmose a vácuo	(Shen <i>et al.</i> , 2016)
Potassium alum crystal derived from aluminum salt in water treatment sludge by nanofiltration	Cristal de alúmen de potássio derivado de sal de alumínio em lodo de tratamento de água por nanofiltração	(Chi <i>et al.</i> , 2015)
A cost-effective method for the treatment of reject water from sludge dewatering process using supernatant from sludge lime stabilization	Um método econômico para o tratamento de água rejeitada do processo de desidratação de lodo usando o sobrenadante da estabilização de lodo com cal	(Ren <i>et al.</i> , 2015)
Characterization of drinking water treatment sludge after ultrasound treatment	Caracterização de lodo de tratamento de água potável após tratamento ultrassonográfico	(Zhou <i>et al.</i> , 2015)
Dewatering of sludge from water treatment plants using drainage/drying bed	Desidratação de lodo de estações de tratamento de água usando leito de drenagem/ secagem	(Silveira <i>et al.</i> , 2015)
Dewatering of sludge from a water treatment plant in geotextile closed systems	Desaguamento de lamas de estação de tratamento de água em sistemas fechados geotêxteis	(Guimarães;Urashima; Vidal, 2014)
Coagulant recovery from water treatment plant sludge and reuse in post-treatment of UASB reactor effluent treating municipal wastewater	Recuperação de coagulante de lodo de estação de tratamento de água e reúso no pós-tratamento de efluente de reator UASB tratando efluentes municipais	(Nair;Ahammed, 2014)

Fonte: Autoria própria (2024)

Ao analisar os 32 artigos selecionados referentes aos anos de publicação, é possível verificar que o maior número de trabalhos publicados é de 2020 totalizando 8 artigos, seguidos dos anos 2015, 2016 e 2018, em que foram publicados 4 artigos em cada um dos respectivos anos. Os anos de 2022 e 2023 apresentaram os menores índices, corroborando a falta de ênfase e estudos publicados sobre tratamento do lodo de ETA, além do fato de as revistas especializadas apresentarem certa demora na aceitação dos trabalhos e pesquisas relacionadas. O gráfico expresso na Figura 8 mostra essa relação.

Figura 8 - Resultado da RBS em relação a de quantidade de artigos por ano

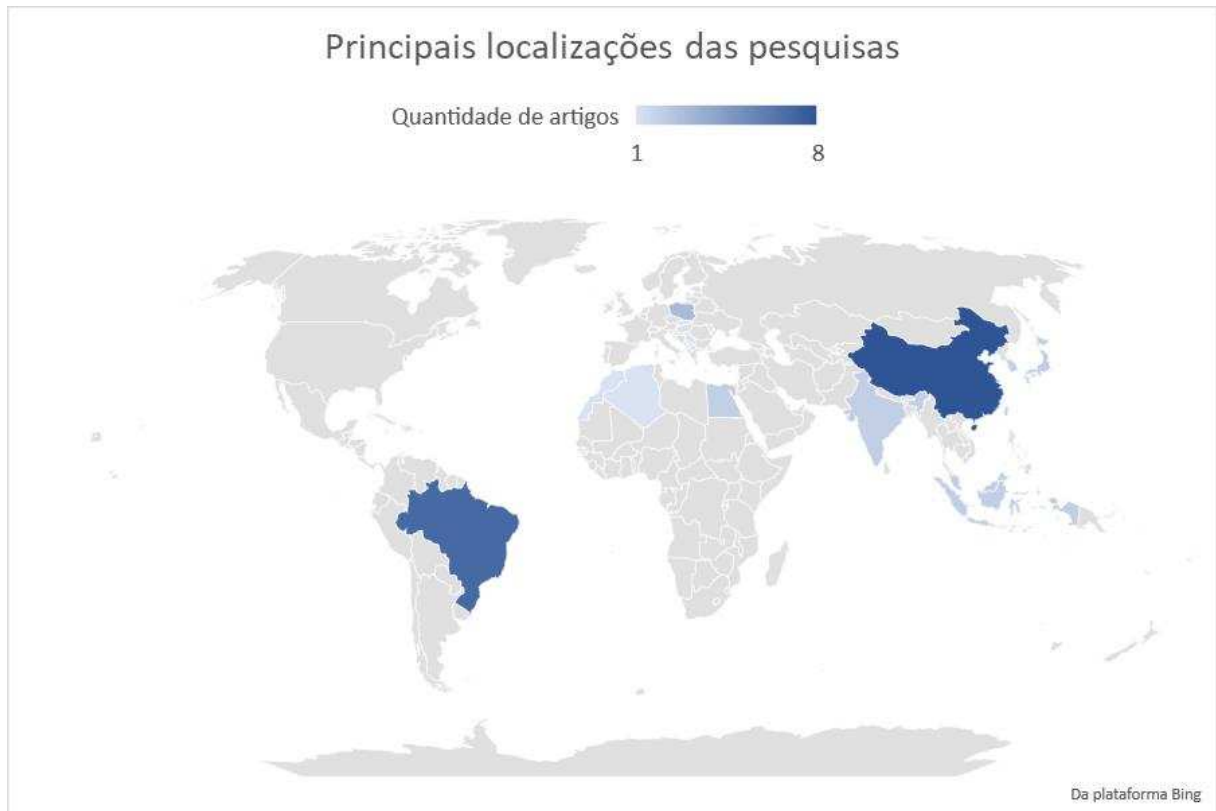


Fonte: Autoria própria (2024)

Interpretando os dados da Figura 8, entende-se que a pesquisa na área de tratamento do lodo não segue uma linha cronológica, visto que teve um número significativo de publicações de 2014 a 2019 e em 2020 teve seu ápice, entretanto apresentou uma queda acentuada a partir de 2021, o que sugere que no momento há mais pesquisas voltadas para o reaproveitamento do lodo do que para o tratamento do mesmo, visto a alta complexidade do processo.

Em relação às localizações das pesquisas selecionadas, as publicações estão presentes predominantemente na Ásia e em menores proporções na Europa, África e América do Sul. A Figura 9 expressa essa relação.

Figura 9 - Resultado da RBS em relação a localização das pesquisas



Fonte: autoria própria (2024)

Analisando-se os resultados, verifica-se que a China apresenta uma forte linha de pesquisa relacionada ao tratamento do lodo, visto que lideram o ranking com 8 pesquisas. Em seguida está o Brasil, com 7 publicações, e em terceira posição a Polônia, com 3 artigos publicados. Observa-se com destaque o continente asiático, visto que o mesmo apresenta publicações em 6 países, o que demonstra uma forte tendência de pesquisas na área de tratamento do lodo.

Quanto a análise em relação às linhas de pesquisas referentes aos artigos estudados, destacam-se as áreas de Engenharia, Ecologia / Ciências Ambientais, Recursos Hídricos, Química, Acústica, Combustíveis Energéticos, Geologia, Biologia Marinha de Água Doce, Ciência de Materiais, Tecnologia de Ciência Nuclear, Física e Ciência e Tecnologia, conforme demonstrado na Figura 10.

Figura 10 - Resultado da RBS em relação a linhas de pesquisas



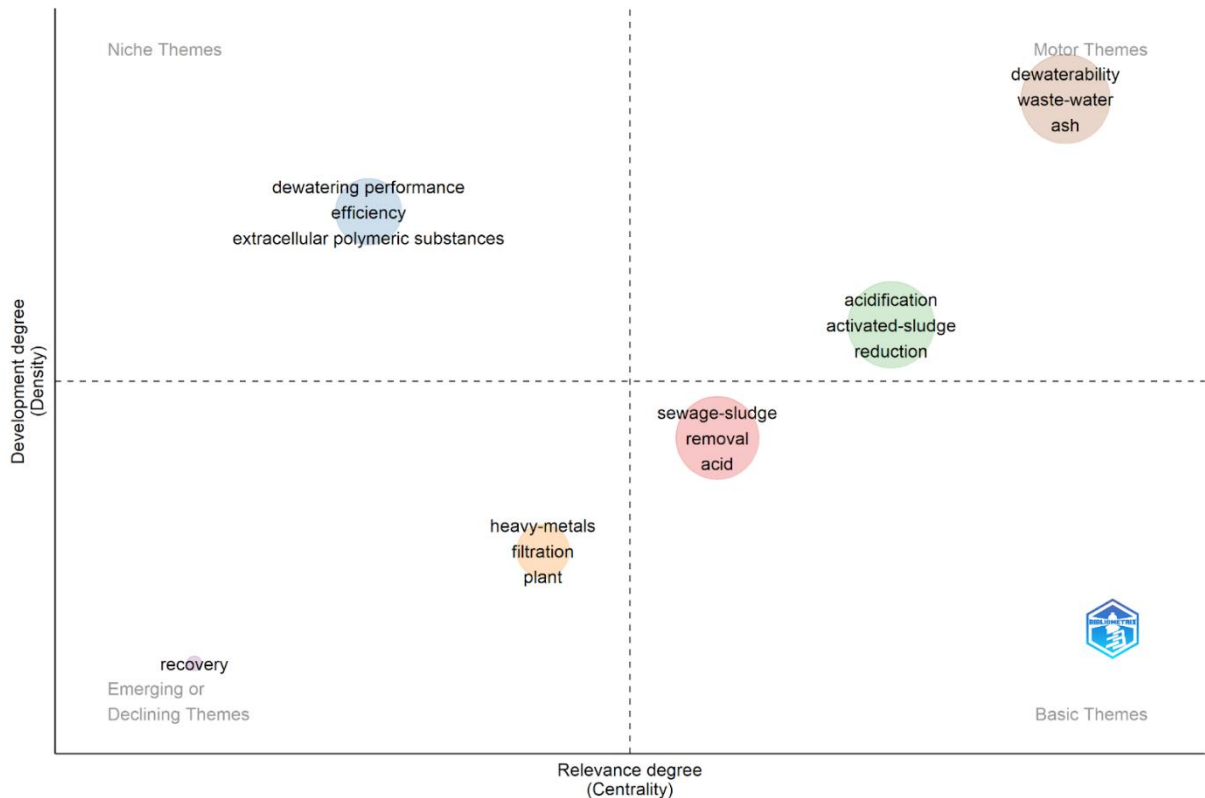
Fonte: Adaptado de *Web of Science* (2024)

Observa-se que a maior parte dos artigos, ou seja, 28 dos 32 analisados, pertencem ao campo das Engenharia e Ecologia / Ciências Ambientais, seguidos de 7 trabalhos na área de Recursos Hídricos e 6 publicações na área da Química. Assim, constata-se que os métodos de tratamento do lodo de ETA são forte tendência de estudos na área ambiental.

Com o intuito de aprofundar a análise, utilizou-se a ferramenta *Bibliometrix*, a qual forneceu as demais informações relevantes para o estudo. Através do *Software* em questão, encontrou-se a nuvem de palavras, a qual está representada na Figura 11, e que relaciona as palavras-chaves aos principais temas das publicações, destacando as que possuem maior número de aparições.

do círculo roxo presente em temas motores, no qual aparece a palavra “*dewaterability*” e que demonstra que o termo tem alta relevância e alta densidade, sendo encontrado em muitos dos artigos escolhidos. Quanto ao termo “*sewage-sludge*”, o mesmo aparece em um círculo rosa localizado no quadrante de temas básicos, ou seja, reflete que a palavra foi repetida poucas vezes, mas em muitos artigos.

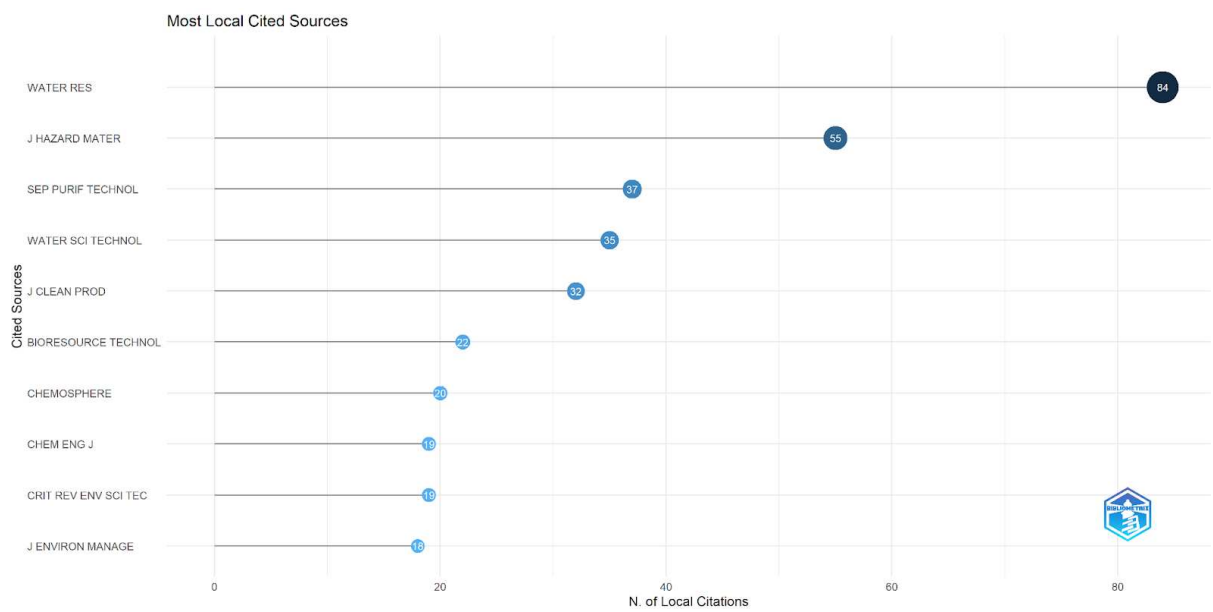
Figura 12 - Mapa temático



Fonte: Adaptado de Software Bibliometrix (2024)

A Figura 13 se refere ao levantamento dos Periódicos mais citados dentro dos artigos, sendo a Revista *Water Research* o grande destaque, com 84 citações, seguido do *Journal Hazardous Materials*, com 55 menções.

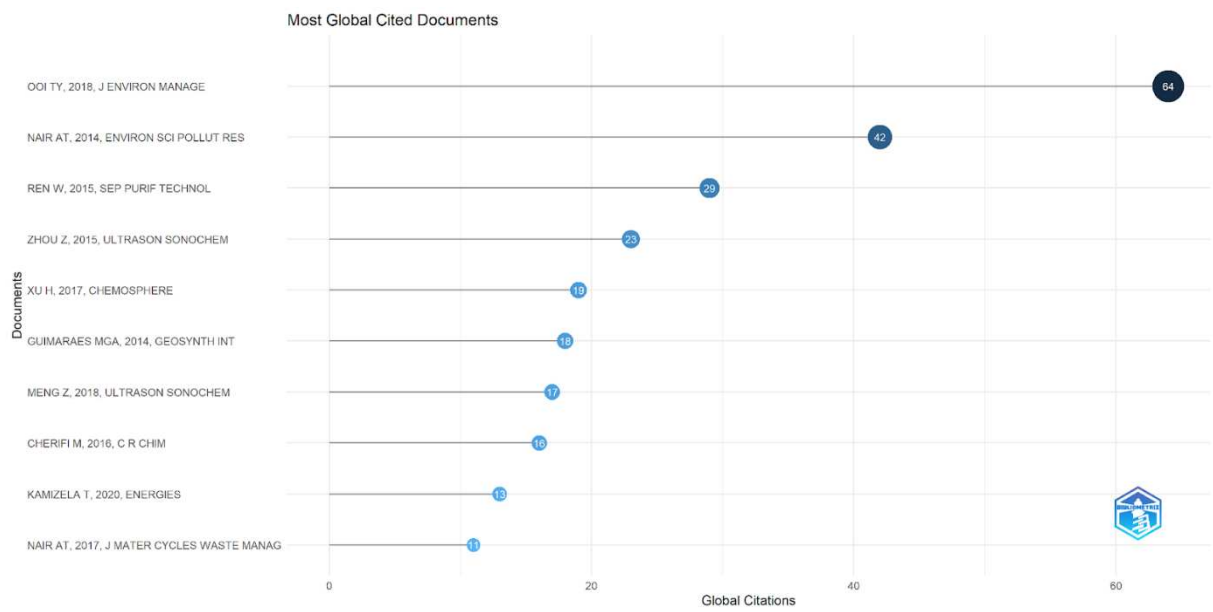
Figura 13 - Veículos mais citados



Fonte: Adaptado de *Software Bibliometrix* (2024)

Ainda utilizando o método da cienciometria, pode-se analisar a quantidade de citações que um autor possui dentro do portfólio de pesquisa. De um total de 329 citações, 64 correspondem a *Theam Yiew Ooi*, seguidos de 42 citações de *Abhilash T. Nair* e 29 menções de *Wen Ren*. A Figura 14 expressa essa relação.

Figura 14 - Citações principais



Fonte: Adaptado de *Software Bibliometrix* (2024)

Assim, realizando um levantamento das principais informações fornecidas pelo *Software Bibliometrix*, constata-se que a base foi composta por 32 documentos referentes ao período de 2014 a 2023, com 129 autores, 134 palavras-chaves, 936 referências, 21 veículos diferentes de comunicação e com uma média de 4.59 autores por documento, conforme ilustrado na Figura 15.

Figura 15 - Informações principais



Fonte: Adaptado de *software Bibliometrix* (2024)

Por fim, analisando-se os artigos selecionados, apresenta-se de forma sucinta os principais métodos de tratamento de lodo de ETA descritos na base de dados, juntamente com suas vantagens e desvantagens. O Quadro 14 expressa essa relação.

Quadro 14 - Métodos de tratamento de lodo de ETA, vantagens e desvantagens

Método	Vantagens	Desvantagens	Autor
Bióliviação	- Eficiente na recuperação de metais em lodos de ETA; - Biomassa resultante do processo pode ser utilizada para outros fins; - O líquido residual pode ser utilizado como coagulante.	- Controle de condições de reação e otimização de parâmetros individuais; - Aplicação limitada por ser pouco estudada.	(Kamizela; Worwag,2020).
Pré-tratamento de lodo de ETA através de floculação e acidificação	- Aplicação de ácido sulfúrico durante a floculação permitiu a redução na dosagem de polímeros e propiciou o espessamento do lodo;	- Alta toxicidade do ácido sulfúrico.	(Maraschin;Ferrari; Carissimi, 2020)

	- Utilização de flocculadores tubulares helicoidais permitiu a dispersão dos reagentes do lodo de modo eficiente, em tempo reduzido e com custos operacionais menores; - Recuperação de coagulante.		
Utilização de irradiação gama e feixe eletrônico	- Diminuição significativa de patógenos e metais pesados; - Lodo proveniente desse processo pode ser utilizado como fertilizante.	- Possibilidade de degradação do PAM em monômero de acrilamida se a dose de irradiação não for suficiente, podendo causar sérios problemas ambientais e de saúde pública; - Aplicação limitada por ser pouco estudada.	(Rankovic <i>et al.</i> , 2020)
Eletrólise para recuperação de alumínio oriundo do processo de coagulação	- Processo eficaz e ambientalmente correto, visto que nenhuma adição química é necessária; - Platina e aço inoxidável são bons eletrodos; - Recuperação eficiente de alumínio.	- Dificuldades de recuperação devido a alta concentração orgânica e a presença de outros metais na lama; - Mesmo após a eletrólise, apresentou DQO remanescente.	(Barakwan <i>et al.</i> , 2020)
Lixiviação de alumínio de lodo de ETA utilizando ácido clorídrico	- Ácido clorídrico é menos tóxico em comparação ao ácido sulfúrico, amplamente utilizado nesse processo; - Processo eficiente e de baixo custo.	- Parâmetros como concentração, tamanho de partícula e temperatura devem ser altamente controlados; - Falta de estudos na área.	(Mirwan <i>et al.</i> , 2020)
Tratamento com ultrassom	- Melhora o processo de desidratabilidade do lodo.	- A tecnologia ultrassônica não é suficiente quanto a desidratação do lodo, sendo necessário a adição de polímeros e oxidantes; - Faltam estudos na área.	(Meng <i>et al.</i> , 2018)
Remoção de alumínio por tecnologia eletrocinética a vácuo	- Método de remediação que remove íons de metais pesados, principalmente de alumínio; - Produz melhores resultados do que a remediação eletrocinética sozinha.	- Influência do pH; - Não é suficiente sozinho, pois necessita do processo de acidificação.	(Xu <i>et al.</i> , 2017)

Desidratação do lodo por eletrosmose a vácuo	- Eficiente na desidratação do lodo; - Processo realizado com baixo gradiente de potencial elétrico	- Altamente sensível às variações de pH.	(Shen <i>et al.</i> , 2016)
Desidratação do lodo por leito de drenagem/secagem com uso de mantas geotêxteis	- Na fase de drenagem, produz lodos drenados com qualidade compatível aos corpos d'água doce, os quais podem ser destinados a rios ou reaproveitados na para a produção de água tratada na própria ETA; - Na fase de secagem possibilita acentuada redução de volume do resíduo.	- Forte dependência de fatores climáticos.	(Silveira <i>et al.</i> , 2015)
Técnica de Desidratação do lodo em sistemas fechados geotêxteis	- Controle do processo de desidratação; - Viabilidade técnica para redução de volume; - Reaproveitamento da massa seca em setores específicos, como na jardinagem; - Menor dependência meteorológica; - Menores áreas de secagem.	- Necessidade de condicionamento químico, no qual a seleção e dosagem do polímero influenciam na eficiência do processo.	(Guimarães; Urashima; Vidal, 2014)

Fonte: Autoria própria (2024)

Com base no levantamento realizado no Quadro 14 e demais estudos acerca dos artigos selecionados, constatou-se que muitos dos métodos de tratamento de lodo de ETA consistem na redução de volume do resíduo e na recuperação do alumínio proveniente da etapa de coagulação, destacando-se os métodos de secagem do lodo e acidificação. Métodos como biolixiviação, eletrosmose, irradiação, eletrólise e acidificação por ácido clorídrico mostraram-se eficientes, entretanto ainda faltam estudos aprofundados acerca dos estudos, restringindo-se a escala experimental. Além disso, muitos dos procedimentos exemplificados, ainda são ineficientes sozinhos, sendo necessário a combinação com outros processos.

Vale ressaltar que a seleção dos artigos para a etapa 1 foi desafiadora, visto a dificuldade de se encontrar estudos que retratam o tratamento de lodo de ETA, além de que muitas das pesquisas encontradas descrevem os métodos de tratamento de

lodo de ETE, os quais apresentam processos menos complexos e mais variados. Assim entende-se que os pesquisadores estão mais alinhados em buscar alternativas de reutilização do lodo de ETA, visto suas características biológicas e químicas que permitem ampla aplicabilidade. Além de que há fortes linhas de pesquisas que apontam para a substituição de agentes coagulantes tradicionais em sistemas de tratamento de água por aqueles originados de fontes naturais, os quais produzem um lodo atóxico, que não necessita de tratamento e que pode ser reaproveitado para outras finalidades, como é o caso dos coagulantes à base de Moringa, os quais produzem lodo que pode ser facilmente reutilizado como fertilizante agrícola.

4.2 Resultados da Revisão Bibliográfica Sistemática para a etapa 2

A partir de todos os refinamentos descritos na metodologia para a etapa 2, foram selecionados 87 artigos, estes referentes aos objetivos “Identificar as opções de reutilização, reaproveitamento e reciclagem, bem como sua viabilidade.” e “Apresentar as propriedades físicas químicas e biológicas do lodo”, os quais estão descritos em ordem decrescente de ano de publicação no Quadro 15.

Quadro 15 - Artigos selecionados para estudo pelo *Web of Science* para a etapa 2

Artigo	Artigo traduzido	Autor
Life cycle assessment and thermophysical properties of a fly ash-based geopolymer containing drinking water treatment sludge	Avaliação do ciclo de vida e propriedades termofísicas de um geopolímero à base de cinzas volantes contendo lodo para tratamento de água potável	(Bourzik <i>et al.</i> , 2023)
The ability of drinking water treatment sludge to degrade methylene blue in water through combined adsorption/photo Fenton-like process	A capacidade do lodo de tratamento de água potável de degradar o azul de metileno na água por meio de um processo combinado de adsorção/ foto-fenton	(Izghri <i>et al.</i> , 2023)
Experimental Study on the Application of Sludge from Water Treatment Plant as a Reagent for Phosphate Removal from Wastewater	Estudo Experimental da Aplicação de Lodo de Estação de Tratamento de Água como Reagente para Remoção de Fosfato de Efluentes	(Kuldeyev <i>et al.</i> , 2023)

Effective Removal of Fe (III) Ions from Water Sample Using Activated Drinking Water Treatment Sludge: Isotherms and Kinetic Studies	Remoção Efetiva de Íons Fe (III) de Amostra de Água Usando Lodo de Tratamento de Água Potável Ativada: Isotermas e Estudos Cinéticos	(Moghadam <i>et al.</i> , 2023)
Potential Use of Water Treatment Sludge as Partial Replacement for Clay in Eco-Friendly Fired Clay Bricks	Uso Potencial de Lodo de Tratamento de Água em Substituição Parcial de Argila em Tijolos de Argila Queimada Ecologicamente Corretos	(Ahmadi <i>et al.</i> , 2023)
Ecological Footprint Assessment of Concrete: Partial Replacement of Cement by Water Treatment Sludge and Stone Dust	Avaliação da Pegada Ecológica do Concreto: Substituição Parcial do Cimento por Lodo de Tratamento de Água e Pó de Pedra	(Ansari <i>et al.</i> , 2023)
Investigation of water treatment sludge for the treatment of saline water: Batch studies	Investigação de lodo de tratamento de água para tratamento de água salina: Estudos em batelada	(Letshwenyo; Machola; Mokokwe, 2023)
Characterizing and processing a kaolinite-rich water treatment sludge for use as high-reactivity pozzolan in cement manufacturing	Caracterização e processamento de lodo de tratamento de água rico em caulinita para uso como pozzolana de alta reatividade na fabricação de cimento	(Agra <i>et al.</i> , 2023)
Use of Fe and Al Containing Electrocoagulation Sludge as an Adsorbent and a Catalyst in Water Treatment	Uso de lodo de eletrocoagulação contendo Fe e Al como adsorvente e catalisador no tratamento de água	(Rajaniemi <i>et al.</i> , 2023)
Evaluation of Reinforcement Corrosion in Cementitious Composites Modified with Water Treatment Sludge	Avaliação da Corrosão por Armaduras em Compósitos Cimentícios Modificados com Lodo para Tratamento de Água	(Rezende <i>et al.</i> , 2023)
Thermally activated drinking water treatment sludge as a supplementary cementitious material: Properties, pozzolanic activity and hydration characteristics	Lodo de tratamento de água potável termicamente ativado como material cimentício suplementar: propriedades, atividade pozzolânica e características de hidratação.	(Yang <i>et al.</i> , 2023)
Possibility of using ionizing radiation treated sludge from drinking water treatment plant as fertilizer in agriculture: Effects of aging	Possibilidade de utilização de lodo tratado por radiação ionizante de estação de tratamento de água potável como fertilizante na agricultura: Efeitos do envelhecimento.	(Rankovic <i>et al.</i> , 2022)
Reuse of sludge from drinking water production in dye wastewater treatment of textile industry	Reúso de lodo da produção de água potável no tratamento de efluentes corantes da indústria têxtil.	(Djekoune <i>et al.</i> , 2022)

Utilization of sludge from water treatment plant as a filler material in pavements	Utilização de lodo de estação de tratamento de água como material de enchimento em pavimentos.	(Oliveira <i>et al.</i> , 2022)
Efficiency of Water Treatment Sludge in Processes of Wastewater Purification from Copper and Iron Ions	Eficiência do Lodo de Tratamento de Água em Processos de Purificação de Efluentes de Íons de Cobre e Ferro.	(Tarantseva; Fayustova; Tirantsev, 2022)
Performance of Mortar Incorporating Heat-Treated Drinking Water Treatment Sludge as a Silica-Sand Replacement	Desempenho de Argamassa Incorporando Lodo de Tratamento de Água Potável Tratada Termicamente em Substituição à Areia de Sílica.	(Al-Rawashdeh <i>et al.</i> , 2022)
Primary Treatment of Domestic Wastewater with the Use of Unmodified and Chemically Modified Drinking Water Treatment Sludge	Tratamento Primário de Efluentes Domésticos com o Uso de Lodo de Tratamento de Água Potável Não Modificado e Quimicamente Modificado.	(Castro-Jiménez <i>et al.</i> , 2022)
Reuse of aluminium-based water treatment sludge for phosphorus adsorption: Evaluating the factors affecting and correlation between adsorption and sludge properties	Reúso de lodo de tratamento de água à base de alumínio para adsorção de fósforo: avaliação dos fatores que afetam e correlação entre adsorção e propriedades do lodo.	(Nguyem <i>et al.</i> , 2022)
Experimental investigation of the feasibility of using drinking water treatment plant sludge in the improvement of sandy soils	Investigação experimental da viabilidade do uso de lodo de estação de tratamento de água potável no melhoramento de solos arenosos.	(Güner, 2022)
Use of sludge from a water treatment plant processed as a supplementary material to Portland cement	Utilização de lodo de estação de tratamento de água processado como material complementar ao cimento Portland.	(Ferreira <i>et al.</i> , 2022)
Sludge from a water treatment plant as an adsorbent of endocrine disruptors	Lodo de uma estação de tratamento de água como adsorvente de desreguladores endócrinos.	(Martins <i>et al.</i> , 2022)
The potential reuse of drinking water treatment sludge for organics removal and disinfection by-products formation control	O potencial de reúso de lodo para tratamento de água potável para remoção de orgânicos e controle da formação de subprodutos da desinfecção.	(Khedher <i>et al.</i> , 2022)
Using ZrO ₂ coated sludge from drinking water treatment plant as a novel adsorbent for nitrate removal from contaminated water	Usando lodo revestido com ZrO ₂ de estação de tratamento de água potável como um novo adsorvente para remoção de nitrato de água contaminada.	(Quang <i>et al.</i> , 2022)

Recycling of water treatment sludge into magnesium potassium phosphate cement component by a combination of silica fume	Reciclagem de lodo de tratamento de água em componente fibrocimentício fosfato de magnésio e potássio por uma combinação de sílica ativa.	(Qin <i>et al.</i> , 2022)
Production and characterization of natural clay-free green building brick materials using water treatment sludge and oak wood ash	Produção e caracterização de materiais naturais de tijolos verdes livres de argila utilizando lodo de tratamento de água e cinzas de madeira de carvalho.	(Harja <i>et al.</i> , 2022)
Effects of expanded vermiculite on the properties of fired bricks from water treatment sludge	Efeitos da vermiculita expandida nas propriedades de tijolos queimados de lodo de tratamento de água.	(Gencel, 2021)
Biodegradability of water treatment sludge influenced by sewage sludge, focusing its use in agriculture as soil conditioner	Biodegradabilidade do lodo de tratamento de água influenciada pelo lodo de esgoto, visando seu uso na agricultura como condicionador de solo.	(Franco <i>et al.</i> , 2021)
Use of calcined water treatment plant sludge for sustainable cementitious composites production	Uso de lodo de estação de tratamento de água calcinada para produção sustentável de compósitos cimentícios.	(Ruviano <i>et al.</i> , 2021)
Photocatalytic degradation of methylene blue dye and fungi <i>Fusarium equiseti</i> using titanium dioxide recovered from drinking water treatment sludge	Degradação fotocatalítica do corante azul de metileno e do fungo <i>Fusarium equiseti</i> utilizando dióxido de titânio recuperado de lodo de tratamento de água potável.	(Krishnan <i>et al.</i> , 2021)
The treatment of real dyeing wastewater by the electro-Fenton process using drinking water treatment sludge as a catalyst	Tratamento de efluentes de tingimento real pelo processo eletro-Fenton utilizando lodo de tratamento de água potável como catalisador.	(Nguyen <i>et al.</i> , 2021)
Water treatment sludge in the production of red-ceramic bricks: effects on the physico-mechanical properties	Lodo para tratamento de água na produção de tijolos vermelho-cerâmicos: efeitos nas propriedades físico-mecânicas.	(Bandeira <i>et al.</i> , 2021)
Reuse of waste sludge from water treatment plants and fly ash for manufacturing of adobe bricks	Reaproveitamento de lodo de estação de tratamento de água e cinza volante para fabricação de tijolos de adobe.	(Trang;Ho;Babel,2021)
Integration of water treatment sludge and agriculture waste as low-cost adsorbent for Remazol red dye removal	Integração de lodo de tratamento de água e resíduos agrícolas como adsorvente de baixo custo para remoção de corante vermelho Remazol	(Hamzah <i>et al.</i> , 2021)

New construction materials synthesized from water treatment sludge and fired clay brick wastes	Novos materiais de construção sintetizados a partir de lodo de tratamento de água e resíduos de tijolos de argila queimados	(Erdogmus <i>et al.</i> , 2021)
Study of the potential of water treatment sludges in the removal of emerging pollutants	Estudo do Potencial de Lodos de Tratamento de Água na Remoção de Poluentes Emergentes	(Dias <i>et al.</i> , 2021)
Recycling hazardous water treatment sludge in cement - based construction materials: Mechanical properties, drying shrinkage, and nano-scale characteristics	Reciclagem de lodo de tratamento de água perigosa em materiais de construção à base de cimento: propriedades mecânicas, encolhimento de secagem e características em nanoescala	(He <i>et al.</i> , 2021)
Development of Lightweight Concrete Interlocking Block Panel with Water Treatment Sludge and Expanded Metal Ferrocement	Desenvolvimento de Paineis de Blocos Intertravados de Concreto Leve com Lodo de Tratamento de Água e Ferrocimento Metálico Expandido	(Amornpunyapat; Panyakapo; Panyakapo, 2021)
Contribution to the use of wet sludge water treatment plant fine aggregate in Portland cement concretes: Evaluation of consistency, density, porosity, absorption, strength and tensile strength	Contribuição ao uso de agregado miúdo de lodo em estação de tratamento de lodo mole em concretos de cimento Portland: avaliação da consistência, densidade, porosidade, absorção, resistência e resistência à tração.	(Meert; Hastenpflug; Andrade, 2021)
Effect of use residual sludge from water treatment plants as a partial substitute for clay for refractory bricks production	Efeito do uso de lodo residual de estações de tratamento de água como substituto parcial da argila para produção de tijolos refratários.	(Sarabia-Guarín; Sánchez-Molina; Bermúdez-Carrillo, 2021)
Application of water treatment sludge as a low-cost and eco-friendly catalyst in the biodiesel production via fatty acids esterification: Process optimization	Aplicação de lodo de tratamento de água como catalisador ecológico e de baixo custo na produção de biodiesel via esterificação de ácidos graxos: otimização de processos	(Pessoa <i>et al.</i> , 2020)
Utilization of Drinking Water Treatment Sludge as Cement Replacement to Mitigate Alkali-Silica Reaction in Cement Composites	Utilização de lodo para tratamento de água potável em substituição ao cimento para mitigar a reação álcali-silica em compósitos de cimento	(Duan <i>et al.</i> , 2020)
Study on properties of clay brick incorporating sludge of water treatment plant and agriculture waste	Estudo das propriedades de tijolos argilosos incorporando lodo de estação de tratamento de água e resíduos agrícolas	(Heniegal, 2020)
Recycling drinking water treatment sludge into eco-concrete blocks with CO ₂ curing: Durability and leachability	Reciclagem de lodo de tratamento de água potável em blocos de concreto ecológico com cura por CO ₂ : durabilidade e lixiviação	(Liu <i>et al.</i> , 2020)

Recycling of iron and aluminum from drinking water treatment sludge for synthesis of a magnetic composite material (ALCS-Fe-Al) to remove fluoride from drinking water	Reciclagem de ferro e alumínio de lodo de tratamento de água potável para síntese de um material compósito magnético (ALCS-Fe-Al) para remoção de flúor de água potável	(Feng <i>et al.</i> , 2020)
Recycling of raw water treatment sludge in cementitious composites: effects on heat evolution, compressive strength and microstructure	Reciclagem de lodo de tratamento de água bruta em compósitos cimentícios: efeitos na evolução de calor, resistência à compressão e microestrutura	(Gomes <i>et al.</i> , 2020)
An Experimental Investigation of Reinforcement Thickness of Improved Clay Soil with Drinking Water Treatment Sludge as an Additive	Investigação Experimental da Espessura de Reforço de Solos Argilosos Melhorados com Lodo de Tratamento de Água Potável como Aditivo	(Bagriçik; Guner, 2020)
Use of sludge ash from drinking water treatment plant in hydraulic mortars	Utilização de cinzas de lodo de estação de tratamento de água potável em argamassas hidráulicas	(González <i>et al.</i> , 2020)
Utilization of drinking water treatment sludge in concrete paving blocks: Microstructural analysis, durability and leaching properties	Utilização de lodo de tratamento de água potável em blocos de concreto: análise microestrutural, durabilidade e propriedades de lixiviação	(Liu <i>et al.</i> , 2020)
Partial replacement of CPV-ARI cement by water treatment plant sludge (WTS)	Substituição parcial do cimento CPV-ARI por lodo de estação de tratamento de água (ETA)	(Alexandre; Da Luz, 2020)
The impact of the formation conditions and properties of the water treatment plants sludge on its usage in the ceramic bricks production	Impacto das condições de formação e propriedades do lodo de estação de tratamento de água na sua utilização na produção de tijolos cerâmicos	(Orlov; Belkanova; Rymar, 2020)
Removal of Chromium Using Water Treatment Sludge	Remoção de Cromo Utilizando Lodo de Tratamento de Água	(Thomas e Ahammed, 2020)
Phosphate removal from wastewater by using water treatment sludge	Remoção de fosfato de águas residuais utilizando lodo de tratamento de água	(Balkaya; Erkan, 2019)
Effect of addition of surface water treatment sludge to biomass in biochar porosity	Efeito da adição de lodo de tratamento de águas superficiais à biomassa na porosidade do biocarvão	(da Silva <i>et al.</i> , 2019)
Development of eco friendly brick using water treatment plant sludge and processed tea waste	Desenvolvimento de tijolos ecológicos utilizando lodo de estação de tratamento de água e resíduos de chá processado	(Sahu <i>et al.</i> , 2019)

Synthesis of water treatment sludge ash-based geopolymers in an Amazonian context	Síntese de geopolímeros à base de cinzas de lodo para tratamento de água em um contexto amazônico	(Santos <i>et al.</i> , 2019)
Valorization of water treatment sludge waste by application as supplementary cementitious material	Valorização de resíduos de lodo de tratamento de água por aplicação como material cimentício suplementar	(de Godoy <i>et al.</i> , 2019)
Reduction of bioaccessibility and leachability of Pb and Cd in soils using sludge from water treatment plant	Redução da bioacessibilidade e lixiviabilidade de Pb e Cd em solos utilizando lodo de estação de tratamento de água	(Souza <i>et al.</i> , 2019)
Feasibility of Using Calcined Water Treatment Sludge in Rendering Mortars: A Technical and Sustainable Approach	Viabilidade do uso de lodo de tratamento de água calcinado em argamassas de renderização: uma abordagem técnica e sustentável	(Andrade <i>et al.</i> , 2019)
Possibilities for the use of sludge from a drinking water treatment planta at Ggaba III in Kampala, Uganda	Possibilidades de utilização de lamas de uma estação de tratamento de água potável em Ggaba III em Kampala, Uganda	(Niwigaba <i>et al.</i> , 2019)
Improvement of biogas production from slaughterhouse wastewater using biosynthesized iron nanoparticles from water treatment sludge	Melhoria da produção de biogás a partir de águas residuárias de abatedouros utilizando nanopartículas de ferro biossintetizadas de lodo de tratamento de água	(Yazdani <i>et al.</i> , 2019)
Incorporation of untreated rice husk ash and water treatment sludge in masonry unit production	Incorporação de cinza de casca de arroz não tratada e lodo de tratamento de água na produção de unidades de alvenaria	(Tharshika; Tramboo; Nagaretnam, 2019)
Synergic effects of the substitution of Portland cement for water treatment plant sludge ash and ground limestone: Technical and economic evaluation	Efeitos sinérgicos da substituição do cimento Portland por cinzas de lodo de estação de tratamento de água e calcário moído: avaliação técnica e econômica	(Hagemann <i>et al.</i> , 2019)
Evaluation of copper removal efficiency using water treatment sludge	Avaliação da eficiência de remoção de cobre utilizando lodo de tratamento de água	(Shahin; Mossad; Fouad, 2019)
Use of water treatment sludge (WTS) as fine aggregate in concretes: evaluation of physical-mechanical properties	Uso de lodo de tratamento de água (ETA) como agregado miúdo em concretos: avaliação das propriedades físico-mecânicas	(Buselatto <i>et al.</i> , 2019)

Ceramic plates containing sludge from a water treatment plant and the rice husk ash: Relation between Physical-Chemistry Properties and Microstructure	Placas cerâmicas contendo lodo de estação de tratamento de água e cinza de casca de arroz: Relação entre propriedades físico-químicas e microestrutura	(Petterle <i>et al.</i> , 2018)
Recycling of sludge from drinking water treatment as ceramic material for the manufacture of tiles	Reciclagem de lodo proveniente do tratamento de água potável como material cerâmico para fabricação de telhas	(Cremades; Cusidó; Arteaga, 2018)
Alum-based sludge (AbS) recycling for turbidity removal in drinking water treatment: an insight into statistical, technical, and health-related standpoints	Reciclagem de lodo à base de alumínio (AbS) para remoção de turbidez no tratamento de água potável: uma visão dos pontos de vista estatísticos, técnicos e relacionados à saúde	(Foroughi <i>et al.</i> , 2018)
Performance of rendering mortars containing sludge from water treatment plants as fine recycled aggregate	Desempenho de argamassas de renderização contendo lodo de estações de tratamento de água como agregado reciclado miúdo	(Andrade <i>et al.</i> , 2018)
Dairy wastewater treatment using water treatment sludge as coagulant: a novel treatment approach	Tratamento de efluentes de laticínios utilizando lodo de tratamento de água como coagulante: uma nova abordagem de tratamento	(Suman; Ahmad; Ahmad; 2018)
Full-scale effects of addition of sludge from water treatment stations into processes of sewage treatment by conventional activated sludge	Efeitos em escala real da adição de lodo de estações de tratamento de água em processos de tratamento de esgoto por lodos ativados convencionais	(Marguti; Seckler; Piveli, 2018)
Eco-efficient recycling of drinking water treatment sludge and glass waste: development of ceramic bricks	Reciclagem ecoeficiente de lodo de água potável e resíduos de vidro: desenvolvimento de tijolos cerâmicos	(Kizinievic <i>et al.</i> , 2018)
Characterization and constructive utilization of sludge produced in clari-flocculation unit of water treatment plant	Caracterização e aproveitamento construtivo de lodo produzido em unidade de clarifloculação de estação de tratamento de água	(Ahmad; Ahmad, Alam, 2018)
Detoxification of polluted marine sediments using water treatment sludge	Desintoxicação de sedimentos marinhos poluídos utilizando lodo de tratamento de água	(Orescanin <i>et al.</i> , 2018)
Drinking water treatment sludge as an efficient adsorbent for heavy metals removal	Lodo para tratamento de água potável como adsorvente eficiente para remoção de metais pesados	(Abo-El-Enein; Shebl; El-Dahab, 2017)
Treatment of contaminated greywater using pelletised mine water sludge	Tratamento de águas cinzas contaminadas usando lodo de água de mina peletizado	(Abed; Almuktar; Scholz, 2017)

Use of Post-technological Sludge from Water Treatment to Improve Sedimentation Properties of Activated Sludge	Uso de Lodo Pós-Tecnológico de Tratamento de Água para Melhorar as Propriedades de Sedimentação de Lodos Ativados	(Maslon; Opalinski, 2017)
Adsorption of methylene blue from aqueous solutions using water treatment sludge modified with sodium alginate as a low cost adsorbent	Adsorção de azul de metileno de soluções aquosas utilizando lodo de tratamento de água modificado com alginato de sódio como adsorvente de baixo custo	(Poormand; Leili; Khazaei, 2017)
Adsorption of methylene blue using modified adsorbents from drinking water treatment sludge	Adsorção de azul de metileno utilizando adsorventes modificados de lodo de tratamento de água potável	(Rashed, El Taher; Fadlalla, 2016)
Evaluation of concrete properties due to the incorporation of sludge from Water Treatment Plant	Avaliação das propriedades do concreto em função da incorporação de lodo de Estação de Tratamento de Água	(Tafarel <i>et al.</i> , 2016)
A study on the use of iron rich drinking water treatment sludge to remove orthophosphate from wastewater	Um estudo sobre o uso de lodo de tratamento de água potável rica em ferro para remoção de ortofosfato de águas residuárias	(Krupnova <i>et al.</i> , 2016)
Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics bricks	Utilização de lodo de estação de tratamento de água em tijolos cerâmicos estruturais	(Benlalla <i>et al.</i> , 2015)
The use of water treatment plant sludge ash as a mineral addition	Uso de cinzas de lodo de estação de tratamento de água como adição mineral	(Gastaldini <i>et al.</i> , 2015)
Use of alum water treatment sludge to stabilize C and immobilize P and metals in composts	Uso de lodo de tratamento de água de alumínio para estabilizar C e imobilizar P e metais em compostos	(Haines; Zhou, 2015)
Manufacturing ceramic bricks with polyaluminum chloride (PAC) sludge from a water treatment plant	Fabricação de tijolos cerâmicos com lodo de policloreto de alumínio (CAP) de uma estação de tratamento de água	(da Silva <i>et al.</i> , 2015)
Development of Room Temperature Curing Geopolymer from Calcined Water-Treatment-Sludge and Rice Husk Ash	Desenvolvimento de Geopolímero de Cura à Temperatura Ambiente a partir de Lodo de Tratamento de Água Calcinada e Cinza de Casca de Arroz	(Poowancum; Nimwinya; Horpibulsuk, 2015)
Characteristics of pellet-type adsorbents prepared from water treatment sludge and their effect on trimethylamine removal	Características de adsorventes do tipo pellet preparados a partir de lodo de tratamento de água e seu efeito na remoção de trimetilaminas	(Bae <i>et al.</i> , 2014)

Utilization of sludge from mine water treatment plant in the segment of thermal insulation mortars	Utilização de lodo de estação de tratamento de água de mina no segmento de argamassa termo-isolantes	(Václavík <i>et al.</i> , 2014)
--	--	---------------------------------

Fonte: Autoria própria (2023)

Os 87 artigos encontrados pela base de busca foram primeiramente analisados com intuito de obter um panorama geral bibliométrico em relação ao número de publicações por ano. O ano que obteve maior quantidade de publicações foi 2022, com 15 trabalhos, seguido de 2021 com 14 publicações e 2019 com 13 estudos. Enquanto o ano de 2014 apresentou o menor índice de artigos publicados. Tendo em vista esta análise, obteve-se o gráfico dessa relação expresso na Figura 16.

Figura 16 - Resultado da RBS em relação a de quantidade de artigos por ano



Fonte: Autoria própria (2024)

Observa-se que de 2014 em relação aos anos posteriores há uma possível tendência de aumento de pesquisas, visto que se trata de uma temática atual e as alternativas de reutilização do resíduo estão cada vez mais sendo discutidas e propagadas. O ano de 2023 apresentou 10 publicações, índice menor que o de 2022,

entretanto, a seleção dos artigos do respectivo ano ocorreu até setembro, justificando a divergência em relação a linha de tendência apresentada.

A Figura 17, ilustrada abaixo, apresenta os países em que os artigos foram publicados. O Brasil se destaca neste quesito, com 24 publicações, seguido de Austrália, com 10 pesquisas, e Índia com 8 artigos publicados.

Figura 17 - Resultado da RBS em relação a localização das pesquisas



Fonte: autoria própria (2024)

Analisando-se os dados da Figura 17, verifica-se forte linha de pesquisa nos países europeus, sul-americanos e asiáticos. Assim, a Ásia além de apresentar fortes tendências de estudo nos métodos de tratamento do lodo, conforme apresentado na Figura 9 do item 4.1, tem mostrado interesse quanto às alternativas de reutilização, reaproveitamento e reciclagem do lodo.

Quanto às linhas de pesquisa dos artigos selecionados, observa-se um maior número de publicações nas áreas de Ecologia e Ciências Ambientais, Engenharia e Ciência de Materiais, respectivamente. Assim, confirma-se que a Engenharia e a área ambiental estão cada dia mais estudando e buscando alternativas eficientes e ambientalmente corretas de reutilização do lodo de Estações de Tratamento de Água. A Figura 18 relaciona as áreas de estudo com o número de artigos publicados.

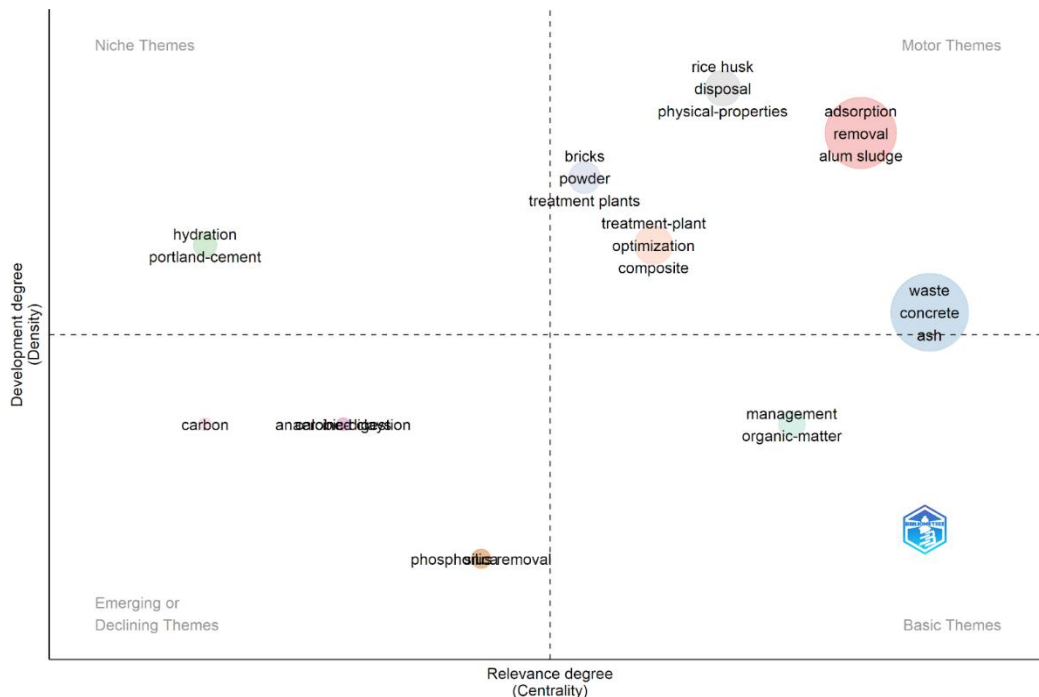
Figura 18 - Resultado da RBS em relação a linhas de pesquisas



Fonte: Adaptado de *Web of Science* (2024)

Com o intuito de aprofundar o estudo, utilizou-se novamente a ferramenta *Bibliometrix*, a qual pode fornecer as demais informações relevantes ao trabalho, como a relação das palavras mais citadas na base de dados, o mapa temático, o levantamento dos periódicos mais citados e a análise da quantidade de citações de autores dentro do portfólio da pesquisa. Na Figura 19, encontra-se a nuvem de palavras, na qual se destacam os termos “waste”, “adsorption” e “concrete”, os quais traduzidos para o português significam respectivamente: desperdício, adsorção e concreto.

Figura 20 - Mapa Temático

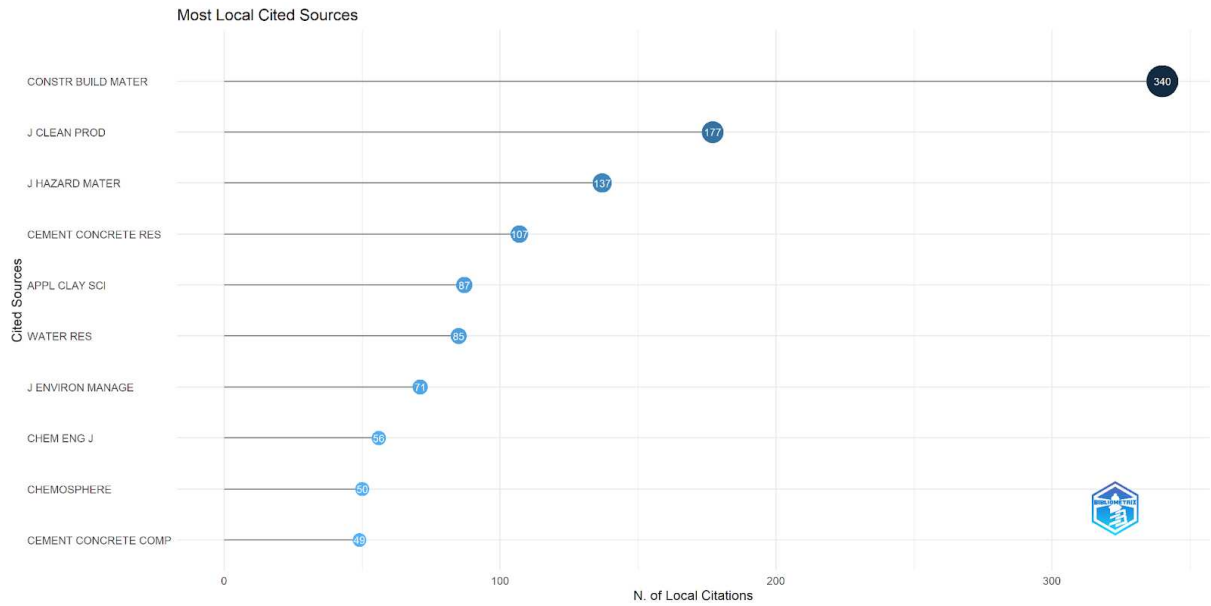


Fonte: Adaptado de software *Bibliometrix* (2024)

Através do Mapa Temático, constata-se que o tema de maior uso na base de dados é representado pelo círculo rosa e composto pelas palavras “*adsorption*”, “*removal*” e “*alum sludge*”, os quais se encontram no quadrante denominado temas motores e significam, respectivamente: adsorção, remoção e lama de alumínio. Os termos “*waste*” e “*concrete*” também aparecem no mapa e do mesmo modo se enquadram em temas motores. Assim, percebe-se que as palavras-chaves apresentadas na nuvem de palavras estão intrinsecamente relacionadas aos temas abordados no mapa temático, demonstrando concordância entre os dados e alinhamento dos objetivos de estudo.

Outro levantamento realizado foi em relação aos Periódicos mais citados dentro dos artigos, destacando-se a Revista *Construction and Building Materials* com 340 citações, seguido de *Journal of Cleaner Production* com 177 menções. O *Journal Hazardous Materials*, assim como se destacou em relação às pesquisas de métodos de tratamento de lodo, também ganhou destaque nos artigos de reaproveitamento de lodo de ETA, aparecendo 137 vezes. A Figura 21 retrata essa relação e demonstra os principais veículos de comunicação citados nos artigos em questão.

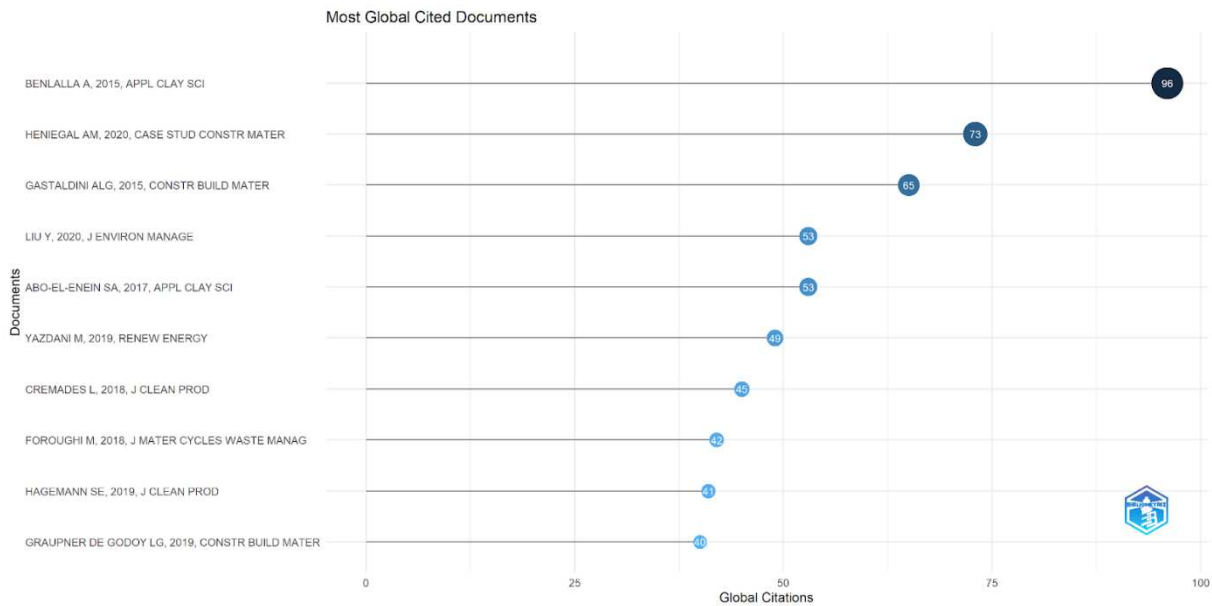
Figura 21 - Veículos mais citados



Fonte: Adaptado de software *Bibliometrix* (2024)

Ainda utilizando a análise cienciométrica, analisou-se a quantidade de menções a autores dentro da base de dados. De um total de 389 citações, 21 correspondem a Antonio Luiz Guerra Gastaldini, 14 de *Mohamed Assafi* e 14 de *A. Benlalla*. A Figura 22 expressa essa relação.

Figura 22 - Citações principais



Fonte: Adaptado de software *Bibliometrix* (2024)

Assim, estabeleceu-se um panorama geral sobre os artigos abordados. A base de dados foi composta por 87 artigos dos anos de 2014 a 2023, com 389 autores em 58 veículos de comunicação, mais de 3000 referências, 329 palavras-chaves e uma média de 4.79 autores por artigo, conforme esquematizado na Figura 23, a qual confirma que o estudo foi embasado em fontes confiáveis e demonstra-se forte e consistente.

Figura 23 - Panorama geral referente ao estudo



Fonte: Adaptado de software *Bibliometrix* (2024)

Por fim, realizou-se um levantamento acerca das principais alternativas de reaproveitamento, reciclagem e reutilização de lodo, e correlacionando as mesmas as características físicas, químicas e biológicas do resíduo em questão, constatou-se a relação expressa no Quadro 16.

Quadro 16 - Relação entre as principais alternativas de reutilização, reciclagem e reaproveitamento do lodo e suas características físicas, químicas e biológicas

Alternativa de reutilização, reciclagem ou reaproveitamento	Características físicas, químicas e biológicas que contribuíram com a finalidade	Autor
Lodo de ETA incorporado em geopolímeros a base de cinzas volantes utilizado na indústria de cimentos	- Melhora no desempenho térmico, com uma redução acentuada da condutividade térmica; - Redução de porosidade; - Aumento de resistência mecânica; - Alternativa mais sustentável que o cimento Portland tradicional.	(Bourzik <i>et al.</i> , 2023)
Catalisador em processos de oxidação avançados para remoção de azul/metileno em soluções aquosas	- Funciona de modo eficaz sob condições de pH neutro; - Considera-se que o lodo de ETA, como material de baixo custo e atóxico, é um bom fotocatalisador econômico e ambientalmente correto.	(Izghri <i>et al.</i> , 2023)
Reagente para remoção de fosfato de efluente	- Efeito da remoção de fosfato depende da dose do lodo, do tempo de contato do lodo com o efluente e do local onde a amostra foi coletada. - Constatou-se que lamas adicionadas na fase inicial do tratamento, antes dos tanques de decantação primário, apresentaram índices mais satisfatórios;	(Kuldeyev <i>et al.</i> , 2023)
Utilização como sorvente eficiente e econômico na remoção de íon Fe (III) de amostras de água	- A adsorção aumenta à medida que o pH aumenta e em solução ácida a adsorção é muito baixa; - A remoção foi mais eficaz com o aumento da dosagem do sorvente e diminuição da concentração inicial de Fe (III).	(Moghadam <i>et al.</i> , 2023)
Uso do lodo de ETA como substituição parcial de argila em tijolos de argila queimados	- Verificou-se que o aumento de WTS aumenta a plasticidade e absorção de água das misturas, entretanto compromete a densidade e a resistência a seco; - Com o aumento da dose de lodo, constatou-se aumento da porosidade e diminuição da densidade aparente; - Tijolos contendo até 20% de lodo de ETA apresentaram resultados satisfatórios.	(Ahmadi <i>et al.</i> , 2023)
Utilização como adsorvente em tratamento	- Capacidade de adsorção altamente influenciada pelas variações de pH e temperatura;	(Letshwenyo; Machola; Mokokwe, 2023)

de água salina para consumo do gado	- O lodo de ETA pode ser usado no processo de pré-tratamento antes do uso de tecnologias convencionais; - Apresentou resultados satisfatórios e ambientalmente corretos.	
Uso como fertilizante de lama tratada com radiação ionizante	- Apto para utilização na agricultura, visto que a radiação ionizante eliminou microrganismos do lodo residual; - As amostras podem ser acondicionadas por meses sem sofrer alterações que prejudiquem sua finalidade; - Apresentou resultados extremamente satisfatórios como fertilizante.	(Rankovic <i>et al.</i> , 2022)
Reutilização como material de enchimento em pavimentos	- O enchimento de lamas de ETA melhorou os vazios no agregado mineral da mistura betuminosa quente, o que é favorável para a construção de pavimentos; - Comparado aos enchimentos convencionais, maior deve ser o grau de compactação da mistura, devido ao aumento dos vazios de ar; - Limitar a substituição do lodo de ETA no enchimento é primordial para minimizar o consumo de betume.	(Oliveira <i>et al.</i> , 2022)
Utilização como coagulante no tratamento primário de águas residuais domésticas	- Eficaz no processo de clarificação em comparação à sedimentação natural; - Alumínio e ferro presentes na lama de ETA atuam como ótimos coagulantes; - Aumento significativo de remoção de matéria orgânica e de fósforo; - Processo simples que dispensa etapas de ativação química; - Processo ambientalmente correto e eficaz.	(Castro-Jiménez <i>et al.</i> , 2022)
Na melhoria de solos arenosos	- Estudos comprovaram que o lodo preencheu as lacunas existentes no solo arenoso; - Recomendam-se pesquisas aprofundadas na área em relação ao potencial impacto do tempo.	(Güner, 2022)
Como material complementar ao cimento Portland	- O lodo de ETA, mesmo após tratamento, apresentou partículas com formato irregular e superfície com certa rugosidade; - Substituições acima de 25% mostraram-se inviáveis, pois exige maior demanda de água e aditivo, dificultando a cimentação e a moldagem; - Não atingiu classificação como material pozolônico, entretanto considera-se uma opção eficaz de reutilização do lodo.	(Ferreira <i>et al.</i> , 2022)
Lodo de ETA como adsorvente de desreguladores endócrinos	- Adsorventes fabricados a partir de lodo de ETA demonstraram eficiência na remoção de 17β Estradiol e 17α Etinilestradiol;	(Martins <i>et al.</i> , 2022)

	- A adição de lodo aumentou a área superficial, o diâmetro dos poros e o volume.	
Lodo de ETA incorporado com lodo de ETE e seu uso na agricultura como condicionador de solo	- A incorporação de lodo de esgoto em lodo de ETA e solo aumentou o fator de biodegradabilidade; - O lodo de ETA, tanto com ou sem o lodo de esgoto, apresentou boa capacidade de fertilização, sendo considerado não tóxico para as plantas; - Lodo de ETA foi considerado um excelente fertilizante, tanto só ou acompanhado de lodo de ETE.	(Franco <i>et al.</i> , 2021)
Como catalisador ecológico e de baixo custo na produção de biodiesel	- Lodo de ETA, após receber tratamentos ácidos e térmicos, apresentou-se como um bom catalisador heterogêneo, eficiente e de baixo custo, o qual desempenhou alta atividade catalítica para síntese de oleato de metila e possibilidade de regeneração, sendo uma boa opção para a síntese de biocombustíveis.	(Pessoa <i>et al.</i> , 2020)
Lodo de ETA adicionado à biomassa para preparação de biocarvão	- Ampliou a quantidade de cinzas e favoreceu a porosidade interna; - O biocarvão apresentou baixo desempenho para uso como combustível, entretanto demonstra aplicabilidade como material adsorvente ou como material pré-filtro em ETAs; - Alternativa de substituição ao carvão antracito; - Demonstrou-se uma alternativa altamente sustentável.	(da Silva <i>et al.</i> , 2019)
Síntese de nanopartículas de ferro utilizadas na melhoria da produção de biogás a partir de águas residuais de matadouros	- Nanopartículas de ferro foram biossintetizadas usando extrato de chá preto e foram analisadas por espectroscopia; - Constatou-se que a adição de nanopartículas de ferro produzidas a partir de lodo de ETA levaram a um aumento de 45% na produção de metano.	(Yazdani <i>et al.</i> , 2019)
Remoção de cobre	- Adsorção de cobre em lodo calcinado; - O lodo mostrou-se um excelente adsorvente e de baixo custo; - Capacidade de sorção diretamente relacionada à concentração inicial do íon cobre; - Sensível a parâmetros como temperatura e pressão.	(Shahin; Mossad; Fouad, 2019)
Desintoxicação de sedimentos marinhos poluídos	- Lodo com alto teor de ferro e alumínio e baixos valores de metais pesados podem ser usados para estabilizar sedimentos marinhos poluídos; - Correção dos sedimentos marinhos com até 30% de lodo; - O tratamento térmico é complementar ao processo;	(Orescanin <i>et al.</i> , 2018)

	- Ainda faltam estudos na área.	
--	---------------------------------	--

Fonte: autoria própria (2024)

Com base no Quadro 16 e demais estudos realizados nos artigos selecionados para a Etapa 2, verifica-se que o lodo pode ser reaproveitado de diversas formas, destacando-se principalmente no setor cimenteiro, o qual lidera em relação ao banco de dados, visto sua multifuncionalidade, já que o mesmo pode ser empregado na confecção de tijolos, telhas e substituir parcialmente o cimento Portland. Entretanto, vale ressaltar que ainda faltam pesquisas relacionadas ao assunto, visto que muitos casos se limitam a escala experimental devido a sensibilidade que o lodo apresenta a parâmetros como temperatura e pH. Outra alternativa de reuso do lodo de ETA que tem ganhado destaque é seu uso como material adsorvente. Diversas pesquisas apontam sua efetividade na remoção de poluentes e metais pesados, entretanto, assim como no ramo cimenteiro, o mesmo se mostra suscetível a variações de pH, temperatura e demais fatores externos. Por fim, um pouco menos abordado, tem-se o uso de lodo como coagulante no tratamento de águas residuais e como fertilizante agrícola. Embora menos tratados na base de dados, ambos se demonstraram eficazes e ambientalmente corretos, apresentando excelentes resultados e não sendo tão suscetíveis a fatores externos como as alternativas abordadas anteriormente.

Assim, conclui-se que existem diversas alternativas de reutilização do lodo, o que se confirma pelo extenso portfólio selecionado, cerca de 87 artigos. Vale ressaltar que o Quadro 16 aborda de maneira simplificada as principais alternativas apresentadas na base de dados, visto a inviabilidade de se descrever detalhadamente os 87 artigos selecionados, além de que muitos destes abordam temáticas similares. Além disso, constata-se que os resultados obtidos neste tópico se contrapõem aos dados expostos no item 2.5 da Revisão Bibliográfica, o qual retrata que o lodo utilizado como adsorvente é o método mais frequente de reutilização. Entretanto, como já comprovado nesta seção, afirma-se que a indústria cimenteira lidera neste quesito.

4.3 Análise e comparação dos resultados obtidos nas etapas 1 e 2

Através da análise dos resultados obtidos para as etapas 1 e 2, constatou-se que existem mais pesquisas voltadas para a reutilização do lodo de ETA do que para o tratamento do mesmo, afirmação esta corroborada pela disparidade do número de

artigos selecionados. Sendo que na etapa 1, a qual trata sobre os métodos de tratamento de lodo do ETA, ocorreram grandes obstáculos quanto à seleção dos artigos, devido à dificuldade de se encontrarem pesquisas concisas que tratem do assunto. Em contraposição, a etapa 2 resultou em um grande portfólio, cerca de 87 artigos, os quais foram retratados de modo sucinto visto a inviabilidade de síntese de cada pesquisa. Além do mais, constatou-se que as pesquisas selecionadas para a etapa 2 apresentaram um crescimento médio anual de 22% em relação aos anos anteriores, em contrapartida à etapa 1, a qual apresentou índice decrescente. Sendo assim, dos 32 artigos selecionados para a etapa 1, extraíram-se 10 métodos de tratamento de lodo de ETA, expressos no Quadro 14; e 18 alternativas de reutilização do lodo de ETA, os quais foram detalhados no Quadro 16 e relacionados às características físicas, químicas e biológicas do lodo. Por fim ressalta-se que ambas as etapas estão ligadas intrinsecamente e que precisam de estudos mais aprofundados, visto que o reaproveitamento do lodo de ETA somente ocorre após o tratamento adequado do mesmo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Revisão Bibliográfica Sistemática realizada neste estudo, apoiada pelo método RBS, forneceu uma análise abrangente dos métodos de tratamento e de reutilização do lodo de Estações de Tratamento de Água e pontuou as principais características físicas, químicas e biológicas do resíduo em questão. A metodologia empregada na busca e seleção dos artigos proporcionou uma revisão de literatura consistente e alinhada aos objetivos estabelecidos.

Por meio da análise cienciométrica foi possível ter uma visão ampla dos resultados obtidos, constatando os anos com mais publicações, as principais áreas de estudos e os países com mais campos de pesquisas. Além disso, a utilização da ferramenta Bibliometrix permitiu um estudo mais detalhado acerca do estudo, identificando os principais autores, periódicos, temáticas e palavras citadas no portfólio, confirmando assim, que o estudo em questão apresentou uma metodologia eficiente e que os resultados obtidos demonstram confiabilidade.

Portanto, dos 32 artigos selecionados para a etapa 1, obteve-se 10 métodos de tratamento de lodo de ETA, expressos no Quadro 14. Destes, os que mais se destacaram foram os processos envolvendo a secagem do lodo e a acidificação com as finalidades de diminuição de volume do resíduo e recuperação de coagulante, respectivamente. Em relação à etapa 2, das 87 pesquisas selecionadas, extraíram-se 18 alternativas de reutilização e reciclagem do lodo de ETA, as quais foram detalhados no Quadro 16 e relacionados às características físicas, químicas e biológicas do lodo. Dentre as alternativas de reúso, as mais abordadas foram as relacionadas à incorporação de lodo de ETA na indústria cimenteira e a utilização como material adsorvente, entretanto, verificou-se a existência de limitações à escala experimental visto a alta sensibilidade do lodo às variações de parâmetros. Alternativas de uso de lodo de ETA como fertilizante agrícola e como coagulante de águas residuais, embora menos abordadas no portfólio, apresentaram resultados mais concisos, sendo considerados mais eficazes e ambientalmente corretos.

Deste modo, conclui-se que existem mais pesquisas voltadas para a reutilização do lodo de ETA do que para o tratamento do mesmo, visto a alta complexidade do processo. Entretanto, necessita-se de pesquisas mais aprofundadas em ambas as temáticas, visto que muito ainda se limita a escala experimental ou é dependente de outros processos. Sendo assim, como perspectivas futuras, propõe-

se um estudo mais aprimorado em relação aos métodos de tratamento, a fim de torná-los mais simples, eficazes e independentes de outros processos. Além disso, um maior aprofundamento em relação às alternativas de reaproveitamento de lodo de ETA, com o intuito de otimizá-las e de expandir o seu uso para a escala industrial. Por fim, sugere-se um estudo maior acerca da substituição de coagulantes tradicionais por coagulantes naturais, visto que os mesmos produzem um lodo sem toxicidade, o qual não necessita de tratamento prévio e que pode ser facilmente reutilizado para outros fins.

Em suma, o presente trabalho teve como objetivo abordar os principais processos de tratamento e reutilização de lodo de ETA com o intuito de aprofundar a busca por soluções mais eficientes, sustentáveis e inovadoras, com foco em tecnologias avançadas e reaproveitamento do resíduo, a fim de minimizar o impacto ambiental e promover o desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

ABED, S. N.; ALMUKTAR, S. A.; SCHOLZ, M. Treatment of contaminated greywater using pelletised mine water sludge. **Journal of Environmental Management**, London, v. 197, p. 10-23, 15 jul. 2017. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.03.021. Disponível em: [https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0301479717302190?](https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0301479717302190?via%3Dihub) Acesso em: 31 jan. 2024.

ABO-EL-ENEIN, S. A.; SHEBL, A.; EL-DAHAB, S. A. A. Drinking water treatment sludge as an efficient adsorbent for heavy metals removal. **Applied Clay Science**, Amsterdam, v. 146, p. 343-349, 15 set. 2017. DOI: 10.1016/j.clay.2017.06.027. Disponível em: [https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0169131717302879?](https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0169131717302879?via%3Dihub) Acesso em: 30 jan. 2024.

AMIGO, C.; IRITANI, D.; ROZENFELD, H. Métodos para modelagem do processo de desenvolvimento de produtos: Revisão Bibliográfica Sistemática, *In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 32., 2012, Bento Gonçalves, out. 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/236931931_METODOS_PARA_MODELAGEM_DO_PROCESSO_DE_DESENVOLVIMENTO_DE_PRODUTOS_REVISAO_BIBLIOGRAFICA_SISTEMATICA. Acesso em: 05 jun. 2023.

ANA. **Segurança Hídrica do Abastecimento Urbano**. Brasília: Atlas Águas, 2021.

ANDRADE, C. F.; SILVA, C. M.; OLIVEIRA, F.D.C. Gestão ambiental em saneamento: uma revisão das alternativas para tratamento e disposição do lodo de ETA e seus impactos na qualidade de vida das águas. *In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*, 5., 2014, Belo Horizonte. **Actas do [...]**. Belo Horizonte: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais e Saneamento, 2014. Disponível em: Microsoft Word - IX-004 (ibeas.org.br). Acesso em: 05 mai. 2023

ANDRADE, J. J. D. *et al.* Performance of rendering mortars containing sludge from water treatment plants as fine recycled aggregate. **Journal of Cleaner Production**, Oxon, v. 192, p. 159-168, 10 ago. 2018. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.04.246. Disponível em: [https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652618312885?](https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652618312885?via%3Dihub) Acesso em: 21 fev. 2024.

AGRA, T. M. S *et al.* Characterizing and processing a kaolinite-rich water treatment sludge for use as high-reactivity pozzolan in cement manufacturing. **Applied Clay Science**, Amsterdam, v.236, n.106870, mai.2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2023.106870>. Disponível em: [https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0169131723000571?](https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0169131723000571?via%3Dihub) Acesso em: 8 fev. 2024.

AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM, M. Characterization and constructive utilization of sludge produced in clari-flocculation unit of water treatment plant. **Materials Research Express**, Bristol, v. 5, n. 035511, mar. 2018. DOI: 10.1088/2053-1591/aab23a. Disponível em: <https://iopscience-iop.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1088/2053-1591/aab23a>. Acesso em: 4 fev. 2024.

AHMADI, M. *et al.* Potential Use of Water Treatment Sludge as Partial Replacement for Clay in Eco-Friendly Fired Clay. **Sustainability**, Switzerland, v.15, n. 9389, jun. 2023. DOI <https://doi.org/10.3390/su15129389>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/12/9389>. Acesso em: 7 fev. 2024.

ALEXANDRE, E.; DA LUZ, C. A. Substituição parcial do cimento CPV-ARI por lodo de estação de tratamento de água (ETA). **Materia**, Rio de Janeiro, v. 25, n. e-12586, 2020. DOI: 10.1590/S1517-707620200001.0912. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/S9WvYCH4nfs3JgdYHSwHkFt/?lang=pt>. Acesso em: 13 fev. 2024.

AL-RAWASHDEH, M. *et al.* Performance of Mortar Incorporating Heat-Treated Drinking Water Treatment Sludge as a Silica-Sand Replacement. **Civil Engineering Journal**, Tehran, v.8, p. 1639-1652, ago. 2022. DOI: 10.28991/CEJ-2022-08-08-08. Disponível em: <https://www.civilejournal.org/index.php/cej/article/view/3697>. Acesso em: 1 fev. 2024.

AMORNPUNYAPAT, R.; PANYAKAPO, P.; PANYAKAPO, M. Development of Lightweight Concrete Interlocking Block Panel with Water Treatment Sludge and Expanded Metal Ferrocement. **Engineering Journal- Thailand**, Bangkok, v. 25, p. 81-97, jan. 2021. DOI: 10.4186/ej.2021.25.1.81. Disponível em: [file:///C:/Users/Cliente/Downloads/4122-Article%20Text-19761-1-10-20210131%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Cliente/Downloads/4122-Article%20Text-19761-1-10-20210131%20(1).pdf). Acesso em: 7 fev. 2024.

ANDRADE, J. J. D. *et al.* Feasibility of Using Calcined Water Treatment Sludge in Rendering Mortars: A Technical and Sustainable Approach. **Sustainability**, Basel, v. 11, n. 3576, 1 jul. 2019. DOI: 10.3390/su11133576. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/13/3576>. Acesso em: 1 fev. 2024.

ANSARI, Y. *et al.* Ecological Footprint Assessment of Concrete: Partial Replacement of Cemety by Water Treatment Sludge and Stone Dust. **Sustainability**, Switzerland, v.15, n.7512, mai. 2023. DOI <https://doi.org/10.3390/su15097512>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/9/7512>. Acesso em: 9 fev. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

AYOUB, M.; ABDELFAH, A. A parametric study of alum recovery from water treatment sludge. **Water Science and Technology**, London, v. 74, p. 516-523, jul. 2016. DOI: 10.2166/wst.2016.241. Disponível em: <https://iwaponline.com/wst/article-abstract/74/2/516/19482/A-parametric-study-of-alum-recovery-from-water?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 10 fev. 2024.

BAE, J. *et al.* Characteristics of pellet-type adsorbents prepared from water treatment sludge and their effect on trimethylamine removal. **Korean Journal of Chemical Engineering**, Seoul, v. 31, p. 624-629, abr. 2014. DOI: 10.1007/s11814-013-0272-8. Disponível em: <https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11814-013-0272-8>. Acesso em: 7 fev. 2024.

BAGRIAÇIK, B.; GUNER, E. D. An Experimental Investigation of Reinforcement Thickness of Improved Clay Soil with Drinking Water Treatment Sludge as an Additive. **KSCE Journal of Civil Engineering**, Seoul, v. 24, p. 3619-3627, dez. 2020. DOI: 10.1007/s12205-020-0111-5. Disponível em: <https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s12205-020-0111-5>. Acesso em: 31 jan. 2024.

BALKAYA, N.; ERKAN, E. Phosphate removal from wastewater by using water treatment sludge. *Desalination and Water Treatment*, Hopkinton, v. 172, p. 61-69, dez. 2019. DOI 10.5004/dwt.2019.25087. Disponível em: https://www.deswater.com/DWT_abstracts/vol_172/172_2019_61.pdf. Acesso em: 30 jan. 2024.

BANDIEIRA, M. *et al.* Water treatment sludge in the production of red-ceramic bricks: effects on the physico-mechanical properties. **Materials and Structures**, Dordrecht, v. 54, n. 168, ago.2021. DOI:10.1617/s11527-021-01764-0. Disponível em: <https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1617/s11527-021-01764-0>. Acesso em: 13 jan. 2024.

BARAKWAN, R. A. *et al.* Recovery of Alum from Surabaya Water Treatment Sludge using Electrolysis with Carbon-Silver Electrodes. **Journal of Ecological Engineering**, Lublin, v. 20, p. 126-133, jul. 2019. DOI: 10.12911/22998993/109861. Disponível em: <http://www.jeeng.net/Recovery-of-Alum-from-Surabaya-Water-Treatment-Sludge-using-Electrolysis-with,109861,0,2.html>. Acesso em: 9 fev. 2024.

BARAKWAN, V. A. *et al.* Electrolysis using Pt/SS electrodes for aluminum recovery from drinking water treatment sludge. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, New York, v. 22, p. 2130-2139, nov. 2020. DOI: 10.1007/s10163-020-01097-0. Disponível em: <https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10163-020-01097-0>. Acesso em: 15 fev. 2024.

BARROS, L. G.; LANGHI, R. Um estudo cienciométrico da pesquisa em ensino de ciências em espaços não formais em periódicos nacionais da área de ensino (2008-2019). **Investigações em Ensino de Ciências**, [s. l.], v. 28, p. 36-64, ago. 2023. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/3082/852>. Acesso em: 16 mar. 2023.

BENLALLA, A. *et al.* Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics bricks. **Applied Clay Science**, Amsterdam, v. 118, p. 171-177, dez. 2015. DOI: 10.1016/j.clay.2015.09.012. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0169131715301204?via%3Dihub>. Acesso em: 3 fev. 2024.

BOURZIK, O. *et al.* Life cycle assessment and thermophysical properties of a fly ash-based geopolymer containing drinkingwater treatment sludge. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg, v. 30, p. 118989–119000, out./nov.2023. DOI:<https://doi-org.ez48.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11356-023-30736-w>. Disponível em: <https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11356-023-30736-w>. Acesso em: 2 fev. 2024.

BRAGA, F. P. **Avaliação de Desempenho de uma Estação de Tratamento de Água do município de Juiz de Fora- MG**. 2014. 61 p. Monografia de graduação (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Juiz de Fora, [S. l.], 2014. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC-Fernando-Pinto-Braga-2014.pdf>. Acesso em: 17 maio 2023.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasil: Presidência da República, [2007]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasil: Presidência da República, [2010]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Brasil: Presidência da República, [2020]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm#:~:text=%E2%80%9CEstabelece%20as%20diretrizes%20nacionais%20para,11%20de%20maio%20de%201978.%E2%80%9D.

BRASIL. **Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021**. Altera o anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasil: Ministério da Saúde, [2021]. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html.

BUSELLATO, D. M. *et al.* Incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) como agregado miúdo em concretos: avaliação das propriedades físico-mecânicas. **Materia**, Rio de Janeiro, v. 24, n. e-12270, 2019. DOI:10.1590/S1517-707620190001.0645. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/JT4fBKSHc34Lkrt59BvkPKy/?lang=pt>. Acesso em: 5 fev. 2024.

CASTRO-JIMÉNEZ, C. C. *et al.* Primary Treatment of Domestic Wastewater with the Use of Unmodified and Chemically Modified Drinking Water Treatment Sludge. **Sustainability**, Basel, v.14, n. 9827, ago. 2022. DOI: 10.3390/su14169827.

Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/16/9827>. Acesso em: 31 jan. 2024.

CHERIFI, M. *et al.* Effect of sludge pH and treatment time on the electrokinetic removal of aluminum from water potabilization treatment sludge. **Comptes Rendus Chimie**, Paris, v. 19, p. 511-516, abr. 2016. DOI: 10.1016/j.crci.2016.01.010. Disponível em: <https://comptes-rendus.academie-sciences.fr/chimie/articles/10.1016/j.crci.2016.01.010/#article-div>. Acesso em: 8 fev. 2024.

CHI, F. H. *et al.* Potassium alum crystal derived from aluminum salt in water treatment sludge by nanofiltration. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, New York, v. 17, p. 522-528, jul. 2015. DOI: 10.1007/s10163-014-0269-3. Disponível em: <https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10163-014-0269-3>. Acesso em: 14 fev. 2024.

CIMOCHOWICZ-RYBICKA, M. *et al.* Proces współfermentacji osadów ściekowych z osadami z uzdatniania wody. Badania w skali pilotowej. **Przemysł Chemiczny**, Warsaw, v. 100, p. 829-831, set. 2021. DOI: 10.15199/62.2021.9.8. Disponível em: <https://sigma-not.pl/publikacja-133315-2021-9.html>. Acesso em: 28 fev. 2024.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. da. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. In: Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto CBGDP 2011, **Anais [...]**. Porto Alegre, RS: Instituto de Gestão de Desenvolvimento do Produto, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267380020_Roteiro_para_Revisao_Bibliografica_Sistematica_Aplicacao_no_Deenvolvimento_de_Produtos_e_Gerenciamento_de_Projetos.

CREMADES, L. V.; CUSIDÓ, J. A.; ARTEAGA, F. Recycling of sludge from drinking water treatment as ceramic material for the manufacture of tiles. **Journal of Cleaner Production**, Oxon, v. 201, p. 1071-1080, 10 nov. 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.08.094. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652618324363?via%3Dihub>. Acesso em: 10 jan. 2024.

DA SILVA, E. M. *et al.* Manufacturing ceramic bricks with polyaluminum chloride (PAC) sludge from a water treatment plant. **Water Science and Technology**, London, v. 71, p. 1638-1645, 2015. DOI: 10.2166/wst.2015.132. Disponível em: <https://iwaponline.com/wst/article-abstract/71/11/1638/28823/Manufacturing-ceramic-bricks-with-polyaluminum?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 15 fev. 2024.

DA SILVA, F. R. *et al.* Effect of addition of surface water treatment sludge to biomass in biochar porosity. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, Dordrecht, v. 138, p. 3551-3558, dez. 2019. DOI: 10.1007/s10973-019-08462-8. Disponível em: <https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10973-019-08462-8>. Acesso em: 2 fev. 2024.

DAHOU, M. *et al.* Structural Aspects and Thermal Degradation Kinetics of Water Treatment Plant Sludge of Moroccan Capital. **Waste and Biomass Valorization**, Dordrecht, v. 7, p. 1177-1187, out. 2016. DOI:10.1007/s12649-016-9513-5. Disponível em: <https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s12649-016-9513-5>. Acesso em: 22 dez. 2023.

DAHOU, M., EL HAMIDI, A. & EL MOUSSAOUITI, M. Reusing Drinking Water Sludge: Physicochemical Features, Environmental Impact and Applications in Building Materials: a Mini Review. **Chemistry Africa**, v.6, p.1145-1161, 2023. Disponível em: Reutilização de Lodo de Água Potável: Características Físico-Químicas, Impacto Ambiental e Aplicações em Materiais de Construção: Uma Mini Revisão | SpringerLink (capes.gov.br). Acesso em: 15 mai. 2023.

DAI, Q. X. *et al.* Develop a green sludge treatment: Effects of a new additive on sludge properties and co-removal of bound water, organics and toxic elements in sludge. **Journal of Cleaner Production**, Oxon, v. 304, n. 127148, 1 jul. 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.127148. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652621013676?via%3Dihub>. Acesso em: 8 fev. 2024.

DE GODOY, L. G. G. *et al.* Valorization of water treatment sludge waste by application as supplementary cementitious material. **Construction and Building Materials**, Oxon, v. 223, p. 939-950, 30 out. 2019. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.07.333. Disponível em: https://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/19152/2/Valorization_of_water_treatment_sludge_waste_by_application_as_supplementary_cementitious_material.pdf. Acesso em: 26 jan. 2024.

DE SOUSA, S. S. O. *et al.* Políticas Públicas Relativas ao lodo de Estação de Tratamento de Água. **Revista AIDIS De Ingeniería Y Ciencias Ambientales**. Investigación, Desarrollo Y práctica, p.548–558, 2022.

DIAS, R. *et al.* Study of the Potential of Water Treatment Sludges in the Removal of Emerging Pollutants. **Molecules**, Basel, v. 26, n. 1010, fev. 2021. DOI: 10.3390/molecules26041010. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/26/4/1010>. Acesso em: 13 fev. 2024.

DJEKOUNE, L. *et al.* Reuse of sludge from drinking water production in dye wastewater treatment of textile industry. **Desalination and Water Treatment**, Hopkinton, v.277, p.72-84, nov. 2022. DOI 10.5004/dwt.2022.28962. Disponível em: https://www.deswater.com/DWT_abstracts/vol_277/277_2022_72.pdf. Acesso em: 10 jan. 2024.

DUAN, W. W. *et al.* Utilization of Drinking Water Treatment Sludge as Cement Replacement to Mitigate Alkali-Silica Reaction in Cement Composites. **Journal of Composites Science**, Basel, v. 4, n. 171, 2020. DOI:10.3390/jcs4040171. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2504-477X/4/4/171>. Acesso em: 6 fev. 2024.

ERDOGMUS, E. et al. New construction materials synthesized from water treatment sludge and fired clay brick wastes. **Journal of Building Engineering**, Amsterdam, v. 42, n. 102471, out. 2021. DOI:10.1016/j.jobbe.2021.102471. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2352710221003284?via%3Dihub>. Acesso em: 30 jan. 2024.

FAJARDO, P. A.; SILVA, V. F. D. Lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto como matéria prima para a produção de tijolos. **Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente: Avanços, Retrocessos e Novas Perspectivas**, [s. l.], v.2, p.409-420, 2022. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/220107307.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2023.

FENG, J. et al. Recycling of iron and aluminum from drinking water treatment sludge for synthesis of a magnetic composite material (ALCS-Fe-Al) to remove fluoride from drinking water. **Groundwater for Sustainable Development**, Amsterdam, v. 11, out. 2020. DOI: 10.1016/j.gsd.2020.100456. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2352801X20300783?via%3Dihub>. Acesso em: 8 fev. 2024.

FERNANDES, L.F. **Estação de Tratamento de Água em escala Piloto**. 2020. Monografia de graduação (Bacharelado em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2020. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/983/1/TCC2%20LUIZ%20FINAL.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2023.

FERRARI, K. F. H. *et al.* The influence of ozonation and sedimentation on water treatment plant sludge: evaluation of clarified water and thickened sludge. **Desalination and Water Treatment**, Hopkinton, v. 200, p. 241-251, out. 2020. DOI: 10.5004/dwt.2020.26137. Disponível em: https://www.deswater.com/DWT_abstracts/vol_200/200_2020_241.pdf. Acesso em: 15 fev. 2024.

FERREIRA, A. Gestão de resíduos sólidos urbanos em municípios do Paraná. **Revista Capital Científico – Eletrônica (RCCe)**, [s. l.], 2018. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/capitalcientifico/article/view/5172/pdf>. Acesso em: 19 out. 2023.

FERREIRA, G. et al. Emprego do lodo de uma estação de tratamento de água beneficiado como material suplementar ao cimento Portland. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.27, p.653-661, ago. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210035>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/Vn5bLK6HjKZQk58SjJyXwCM/?lang=pt#>. Acesso em: 2 fev. 2024.

FERREIRA, S. S.; ALÉM, P. Considerações sobre o tratamento de despejos líquidos gerados em estações de tratamento de água. **Engenharia sanitária e ambiental**, v.3, n.3, p.128-136, 1998.

FOROUGH, M. *et al.* Alum-based sludge (AbS) recycling for turbidity removal in drinking water treatment: an insight into statistical, technical, and health-related standpoints. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, New York, v. 20, p. 1999-2017, out. 2018. DOI:10.1007/s10163-018-0746-1. Disponível em: <https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10163-018-0746-1>. Acesso em: 11 fev. 2024.

FRANCO, N. M. *et al.* Biodegradability of water treatment sludge influenced by sewage sludge, focusing its use in agriculture as soil conditioner. **International Journal of Environmental Science and Technology**, New York, v. 19, p. 9623–9638, out.2021.DOI:10.1007/s13762-021-03792-3. Disponível em: <https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s13762-021-03792-3>. Acesso em: 10 fev. 2024.

GASTALDINI, A. L. G. *et al.* The use of water treatment plant sludge ash as a mineral addition. **Construction and Building Materials**, Oxon, v. 94, p. 513-520, 30 set. 2015. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.07.038. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0950061815300866?via%3Dihub>. Acesso em: 7 fev. 2024.

GENCEL, O. Effects of expanded vermiculite on the properties of fired bricks from water treatment sludge. **International Journal of Applied Ceramic Technology**, Hoboken,v.19,p.1214-1226,mai.2021. DOI:<https://doiorg.ez48.periodicos.capes.gov.br/10.1111/ijac.13979>. Disponível em: <https://ceramics-onlinelibrary-wiley.ez48.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1111/ijac.13979>. Acesso em: 2 fev. 2024.

GOMES, S. D. *et al.* Recycling of raw water treatment sludge in cementitious composites: effects on heat evolution, compressive strength and microstructure. **Resources Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 161, n. 104970, out. 2020. DOI:10.1016/j.resconrec.2020.104970. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0921344920302883?via%3Dihub>. Acesso em: 8 fev. 2024.

GONZÁLEZ, K. B. *et al.* Use of sludge ash from drinking water treatment plant in hydraulic mortars. **Materials Today Communications**, Amsterdam, v. 23, n. 100930, jun. 2020. DOI: 10.1016/j.mtcomm.2020.100930. Disponível em: <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/5970/Use%20of%20sludge%20ash%20from%20drinking%20water%20treatment%20plant%20in%20hydraulic%20mortars%20.pdf;jsessionid=E14B344508785251FC6FCEBF206BE054?sequence=1>. Acesso em: 2 fev. 2024.

GUIMARÃES, M. G. A.; URASHIMA, D. C.; VIDAL, D. M. Dewatering of sludge from a water treatment plant in geotextile closed systems. **Geosynthetics International**, Westminister, v. 21, p. 310-320, 2014. DOI: 10.1680/gein.14.00018. Disponível em: <https://www-icevirtuallibrary.ez48.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1680/gein.14.00018>. Acesso em: 8 fev. 2024.

GUNER, E. D. Experimental Investigation of the feasibility of using drinking water treatment plant sludge in the improvement of sandy soils. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, New York, v. 24, p. 1923-1933, set. 2022. DOI: <https://doi.org.ez48.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10163-022-01448-z>.

Disponível em: [https://link-springer-](https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10163-022-01448-z#author-information)

[com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10163-022-01448-z#author-](https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10163-022-01448-z#author-information)
information. Acesso em: 20 jan. 2024.

HAGEMANN, S. E. *et al.* Synergic effects of the substitution of Portland cement for water treatment plant sludge ash and ground limestone: Technical and economic evaluation. **Journal of Cleaner Production**, Oxon, v. 214, p. 916-926, 20 mar. 2019. DOI:10.1016/j.jclepro.2018.12.324.

Disponível em: [https://www-](https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652618340551?via%3Dihub)

[sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652618340551?](https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652618340551?via%3Dihub)
via%3Dihub. Acesso em: 14 fev. 2024.

HAINES, R. J.; ZHOU, Y. F. Use of alum water treatment sludge to stabilize C and immobilize P and metals in composts. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg, v. 22, p. 13903-13914, set. 2015. DOI:10.1007/s11356-015-4517-4. Disponível em: [https://link-springer-](https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11356-015-4517-4)

[com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11356-015-4517-4](https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11356-015-4517-4). Acesso em: 13 fev. 2024.

HAMZAH, S. *et al.* Integration of water treatment sludge and agriculture waste as low-cost adsorbent for Remazol red dye removal. **Desalination and Water Treatment**, Hopkinton, v. 226, p. 408-418, jun.2021. DOI:10.5004/dwt.2021.27263. Disponível em: https://www.deswater.com/DWT_abstracts/vol_226/226_2021_408.pdf. Acesso em: 6 fev. 2024.

HARJA, M. *et al.* Production and characterization of natural clay-free green building brick materials using water treatment sludge and oak wood ash. **Archives of Civil and Mechanical Engineering**, London, v. 22, n. 79, fev.2022.DOI: 10.1007/s43452-022-00400-0.

Disponível em: [https://link-springer-](https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s43452-022-00400-0)
[com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s43452-022-00400-0](https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s43452-022-00400-0). Acesso em: 8 fev. 2024.

HASAN, M. *et al.* Utilization of sludge from water treatment plant as a filler material in pavements. **Journal of Material Cycles and Waste**, New York, v. 24, p. 2656–2668, nov.2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10163-022-01505-7>.

Disponível em: [https://link-springer-](https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10163-022-01505-7)
[com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10163-022-01505-7](https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10163-022-01505-7). Acesso em: 11 jan. 2024.

HE, Z. *et al.* Recycling hazardous water treatment sludge in cement-based construction materials: Mechanical properties, drying shrinkage, and nano-scale characteristics. **Journal of Cleaner Production**,, v. 290, n. 125832, mar. 2021. DOI:10.1016/j.jclepro.2021.125832. Disponível em: [https://www-](https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652621000524?via%3Dihub)

[sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652621000524?](https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652621000524?via%3Dihub)
via%3Dihub. Acesso em: 1 fev. 2024.

HEDLUND, K. F. S. *et al.* Water treatment waste: comparison between sedimentation and flotation for sludge thickening at a Brazilian water treatment plant. **International Journal of Environment and Waste Management**, Geneva, v. 29, p. 477-493, 2022. DOI: 10.1504/IJEW.2022.124690. Disponível em: <https://www.inderscience.com/offers.php?id=124690>. Acesso em: 4 fev. 2024.

HENDGES, L. T. *et al.* Disposição final de lodo de estação de tratamento de água e de esgoto: uma Revisão. In: Anais do 9º SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO - SIEPE : **Universidade Federal do Pampa**, Santana do Livramento, 21 nov. 2017. Disponível em: https://guri.unipampa.edu.br/uploads/evt/arq_trabalhos/12497/seer_12497.pdf#:~:text=Considerando%20o%20lodo%20de%20ETE,e%20despejo%20em%20aterros%20sanit%C3%A1rios. Acesso em: 16 nov. 2023.

HENIEGAL, A. M. *et al.* Study on properties of clay brick incorporating sludge of water treatment plant and agriculture waste. **Case Studies in Construction Materials**, Amsterdam, v. 13, n. e00397, dez. 2020. DOI: 10.1016/j.cscm.2020.e00397. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2214509520300693?via%3Dihub>. Acesso em: 30 jan. 2024.

HOWE, A. *et al.* Princípios de Tratamento de Água. **Cengage Learning Brasil**, 2016.

ISMAIL, N. *et al.* Water Treatment Sludge Stabilizer Binder by Waste Paper Sludge Ash for Solidification/Stabilisation Technique. **International Journal of Integrated Engineering**, Johor, v. 11, p. 113-119, 2019.

IAT. In: **Portaria IAP Nº 212**. [S. l.]: Curitiba, 12 set. 2019. Disponível em: https://celepar7.pr.gov.br/sia/atosnormativos/form_cons_ato1.asp?Codigo=4252. Acesso em: 4 maio 2023.

IWAKI, G. Destinação final de lodos de etas e etes, 2018. Disponível em: Destinação Final de Lodos de ETAs e ETEs | **Portal Tratamento de Água** (tratamentodeagua.com.br). Acesso em: 24 abri. 2023.

IZGHRI, Z. *et al.* The ability of drinking water treatment sludge to degrade methylene blue in water through combined adsorption/photo Fenton-like process. **Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic / Hazardous Substances and Environmental Engineering**, Philadelphia, v. 58, p.981-990, out./nov. 2023. DOI: <https://doi-org.ez48.periodicos.capes.gov.br/10.1080/10934529.2023.2277622>. Disponível em: <https://www.tandfonline.ez48.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1080/10934529.2023.2277622>. Acesso em: 26 jan. 2024.

JANUÁRIO, G. F.; FILHO, S. S. F. Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos das estações de tratamento de água da Região Metropolitana de São Paulo. **Nota Técnica**, [s. l.], v. 12, n. 2, abr./jun. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/NRGTw5vg8cPgkmt86GW55mg/?lang=pt>. Acesso em: 13 abr. 2023.

KAMIZELA, T.; WORWAG, M. Processing of Water Treatment Sludge by Bioleaching. **Energies**, Basel, v. 13, n. 6539, dez. 2020. DOI: 10.3390/en13246539. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/24/6539>. Acesso em: 8 fev. 2024.

KATO, T. *et al.* Study on ammonia generation from digested sludge by subcritical water treatment. **Water Science and Technology**, London, v. 87, p. 614-619, 1 fev. 2023. DOI: 10.2166/wst.2023.015. Disponível em: <https://iwaponline.com/wst/article/87/3/614/93106/Study-on-ammonia-generation-from-digested-sludge>. Acesso em: 21 fev. 2024.

KHEDHER, M. *et al.* The potential reuse of drinking water treatment sludge for organics removal and disinfection by-products formation control. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Oxon, v. 10, jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108001>. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2213343722008740?via%3Dihub>. Acesso em: 2 fev. 2024.

KIZINIEVIC, O. *et al.* Eco-efficient recycling of drinking water treatment sludge and glass waste: development of ceramic bricks. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, New York, v. 20, p. 1228-1238, abr. 2018. DOI: 10.1007/s10163-017-0688-z. Disponível em: <https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10163-017-0688-z>. Acesso em: 5 fev. 2024.

KRISHNAN, S. *et al.* Photocatalytic degradation of methylene blue dye and fungi *Fusarium equiseti* using titanium dioxide recovered from drinking water treatment sludge. **Biomass Conversion and Biorefinery**, Heidelberg, v. 13, p. 10853–10863, 2021. DOI: 10.1007/s13399-021-01990-0. Disponível em: <https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s13399-021-01990-0>. Acesso em: 9 fev. 2024.

KRUPNOVA, T. G. *et al.* A study on the use of iron rich drinking water treatment sludge to remove orthophosphate from wastewater. **Water**, Sofia, 2016.

KULDEYEV, E. *et al.* Experimental Study on the Application of Sludge from Water Treatment Plant as a Reagent for Phosphate Removal from Wastewater. **Water**, Basel, v.15, n. 2691, ago. 2023. DOI <https://doi.org/10.3390/w15152691>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/15/2691>. Acesso em: 3 fev. 2024.

LEE, Y. E.; KIM, I. T.; YOO, Y. S. Stabilization of High-Organic-Content Water Treatment Sludge by Pyrolysis. **Energies**, Basel, v. 11, n. 3292, dez. 2018. DOI: 10.3390/en11123292. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/12/3292>. Acesso em: 6 fev. 2024.

LEITÃO, Alexandra. Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI. *Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting*, [s. l.], 2015. Disponível em: <https://repositorio.ucp.pt/bitstream/10400.14/21110/1/Economia%20circular-Uma%20nova%20filosofia%20de%20gest%C3%A3o%20para%20o%20s%C3%A9c.%20XXI.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2023.

LETSHWENYO, M. S.; MACHOLA, K.; MOKOKWE, G. Investigation of Water Treatment sludge for the treatment of saline water: Batch Studies.

Heliyon, Oxon, v.9, n. e15040, abr. 2023.

DOI:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15040>.

Disponível em: [https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2405844023022478?](https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2405844023022478?via%3Dihub) Acesso em: 19 jan. 2024.

LIMA, D. P. D. *et al.* Contaminação por metais pesados em peixes e água da bacia do rio Cassiporé, Estado do Amapá, Brasil. **Acta Amzônica**, Macapá, v. 45, p. 405 - 414, out./dez. 2015. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/aa/a/Z4CcssYNZHrBNFCJ8FfF9qmc/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 abr. 2023.

LIMA, J. P. M.; ROLLEMBERG, S. L. S. Técnicas Simplificadas de Tratamento de Água. **Revista Virtual de Química**, [s. l.], 2020. Disponível em: <https://s3.sa-east-1.amazonaws.com/static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v12n2a15.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2023.

LIU, Y. *et al.* Recycling drinking water treatment sludge into eco-concrete blocks with CO₂ curing: Durability and leachability. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 746, n. 141182, 1 dez. 2020. DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.141182.

Disponível em: [https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0048969720347112?](https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0048969720347112?via%3Dihub) Acesso em: 26 fev. 2024.

LIU, Y. *et al.* Utilization of drinking water treatment sludge in concrete paving blocks: Microstructural analysis, durability and leaching properties. **Journal of Environmental Management**, London, v. 262, n. 110352, 15 mar. 2020. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110352. Disponível em: <https://research-repository.griffith.edu.au/bitstream/handle/10072/424250/Huang6395275-Accepted.pdf;jsessionid=C2032B8D43779414B3FE011DDFF20C6C?sequence=2>. Acesso em: 10 fev. 2024.

MACHADO, V. F.; VILLANOVA, D. L. Lodo de Estação de Tratamento de Água: destinação e reciclagem. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 23, ed. 40, p. 113-222, 2022. DOI: 10.31514/rliberato.2022v23n40.p139. Disponível em: <http://www.revista.liberato.com.br/index.php/revista/article/view/804/489>. Acesso em: 13 dez. 2023.

MARASCHIN, M. *et al.* Aluminum sludge thickening: Novel helical pipes for aggregation by dual flocculation and thickening by filtration applied to water treatment plants. **Separation and Purification Technology**, Amsterdam, v. 241, n. 116560, 15 jun. 2020. DOI: 10.1016/j.seppur.2020.116560. Disponível em: [https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0950423020301112?](https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0950423020301112?via%3Dihub)

sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1383586619345514?via%3Dihub. Acesso em: 15 fev. 2024.

MARASCHIN, M.; FERRARI, K. F. H.; CARISSIMI, E. Acidification and flocculation of sludge from a water treatment plant: New action mechanisms. **Separation and Purification Technology**, Amsterdam, v. 252, n. 117417, 1 dez. 2020. DOI: 10.1016/j.seppur.2020.117417. Disponível em: [https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1383586620318918?](https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1383586620318918?via%3Dihub) Acesso em: 21 fev. 2024.

MARGUTI, A. L.; SECKLER, F. F. S; PIVELI, R. P. Full-scale effects of addition of sludge from water treatment stations into processes of sewage treatment by conventional activated sludge. **Journal of Environmental Management**, London, v. 215, p. 283-293, 1 jun. 2018. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.03.072. Disponível em: [https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0301479718303050?](https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0301479718303050?via%3Dihub) Acesso em: 4 fev. 2024.

MARTINS, D. S. et al. Sludge from a water treatment plant as an adsorbent of endocrine disruptors. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, Oxon, v. 10, n. 108090, ago.2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108090>. Disponível em: [https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2213343722009630?](https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2213343722009630?via%3Dihub) Acesso em: 25 jan. 2024.

MASLON, A.; OPALINSKI, I. Use of Post-technological Sludge from Water Treatment to Improve Sedimentation Properties of Activated Sludge. **Rocznik Ochrona Srodowiska**, Koszalin, v. 19, p. 745-759, 2017.

MEERT, R.; HASTENPFLUG, D.; ANDRADE, J. J. O. Contribuição para o uso de lodo de estação de tratamento de água in natura como agregado miúdo em concretos de cimento Portland: Avaliação da consistência, massa específica, porosidade, absorção, resistência à compressão e tração na compressão diametral. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v.26, n. e13025, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620210003.13025>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/Ng9cpFNDQB3MnJwhm6xByzJ/?lang=pt>. Acesso em: 29 jan. 2024.

MENG, Z. *et al.* Optimizing dewaterability of drinking water treatment sludge by ultrasound treatment: Correlations to sludge physicochemical properties. **Ultrasonics Sonochemistry**, Amsterdam, v. 45, p. 95-105, jul. 2018. DOI: DOI10.1016/j.ultsonch.2018.02.027. Disponível em: [https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1350417718302396?](https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1350417718302396?via%3Dihub) Acesso em: 9 fev. 2024.

MICHELAN, D. C. D. S *et al.* Uso do coagulante/floculante emergente à base de moringa no tratamento de água com verificação da composição e toxicidade do lodo produzido: tratamento de água com Moringa e toxicidade do lodo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 26, p. 955-963, set./out. 2021. DOI: 10.1590/S1413-415220200314. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/esa/a/dJ83xbnfQZKHrRMWDzqQL4k/?lang=pt>. Acesso em: 15 fev. 2024.

MIRWAN, A. *et al.* Aluminum leaching from water treatment sludge using hydrochloric acid and kinetic study. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg, v. 27, p. 25553-25562, jul. 2020. DOI: 10.1007/s11356-020-08922-x. Disponível em: <https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11356-020-08922-x>. Acesso em: 7 fev. 2024.

MOGHADAM, D. A. *et al.* Effective Removal of Fe (III) Ions from Water Sample Using Activated Drinking Water Treatment Sludge: Isotherms and Kinetic Studies. **Journal of New Materials for Electrochemical Systems**, Edmonton, v.26, p. 151-154, jul.2023.DOI:<https://doi.org/10.14447/jnmes.v26i3.a02>. Disponível em: <https://iicta.org/journals/jnmes/paper/10.14447/jnmes.v26i3.a02>. Acesso em: 19 jan. 2024.

MONTEIRO, M. Economia Circular. **Empreendedorismo Start e Go**, [s. l.], 2018. Disponível em: <https://www.startandgo.pt/pubs/startgo20.pdf>. Acesso em: 2 jan. 2024.

NAIR, A T.; AHAMMED, M. M. Coagulant recovery from water treatment plant sludge and reuse in post-treatment of UASB reactor effluent treating municipal wastewater. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg, v. 21, p. 10407-10418, set. 2014. DOI: 10.1007/s11356-014-2900-1. Disponível em: <https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11356-014-2900-1>. Acesso em: 5 fev. 2024.

NAIR, A. T.; AHAMMED, M. M. Influence of sludge characteristics on coagulant recovery from water treatment sludge: a preliminary study. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, New York, v. 19, p. 1228-1234, jul. 2017. DOI: 10.1007/s10163-016-0513-0. Disponível em: <https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10163-016-0513-0>. Acesso em: 7 fev. 2024.

NGUYEN, D. D. D. *et al.* The treatment of real dyeing wastewater by the electro-Fenton process using drinking water treatment sludge as a catalyst. **RSC Advances**, Cambs, v. 11, p.27443-27452, ago.2021.DOI:10.1039/d1ra04049a. Disponível em: <https://www-webofscience.ez48.periodicos.capes.gov.br/wos/woscc/fullrecord/WOS:000686721400036>. Acesso em: 9 fev. 2024.

NGUYEM, M. D. *et al.* Reuse of aluminium-based water treatment sludge for phosphorus adsorption: Evaluating the factors affecting and correlation between adsorption and sludge properties. **Environmental Technology e Innovation**, Amsterdam, v.27, n.102717, ago.2022.DOI: 10.1016/j.eti.2022.102717. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2352186422002322?via%3Dihub>. Acesso em: 2 fev. 2024.

NIWAGABA, C. B. *et al.* Possibilities for the use of sludge from a drinking water treatment plant at Ggaba III in Kampala, Uganda. **Detritus**, Padova, v. 6, p. 59-67, jun. 2019. DOI:10.31025/2611-4135/2019.13824.

Disponível em: <https://digital.detritusjournal.com/articles/possibilities-for-the-use-of-sludge-from-a-drinking-water-treatment-plant-at-ggaba-iii-in-kampala-ug/228>. Acesso em: 10 fev. 2024.

OLIVEIRA, F. C. **Reaproveitamento e disposição final do lodo de estações de tratamento de água**: estudo de caso da ETA de Itaguara – Minas Gerais. 2011. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9ASHRB/1/universidade_federal_de_minas_gerais_monografia.pdf. Acesso em: 24 abr. 2023.

OLIVEIRA, I. Y. Q. **Gerenciamento do lodo de estação de tratamento de água em Mato Grosso do Sul**: Uma análise crítica, 2016. Disponível em: Gerenciamento do lodo de estação de tratamento de água em Mato Grosso do Sul uma análise crítica.pdf (ufms.br). Acesso em 20 abr. 2023.

ONU. Relatório Anual. **25% da população mundial não tem acesso a água potável, alerta ONU**. [S. l.], 26 out. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/204766-25-da-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-n%C3%A3o-tem-acesso-%C3%A1gua-pot%C3%A1vel-alerta-onu>. Acesso em: 5 abr. 2023.

OOI, T. Y. *et al.* Optimization of aluminium recovery from water treatment sludge using Response Surface Methodology. **Journal of Environmental Management**, London, v. 228, n. 13-19, 15 dez. 2018. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.09.008. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S030147971830999X?via%3Dihub>. Acesso em: 7 fev. 2024.

ORESCANIN, V. *et al.* Detoxification of polluted marine sediments using water treatment sludge. **Journal of Environmental Science and Health, Part A: Hazardous Substances and Environmental Engineering**, Philadelphia, v. 53, p. 771-776, 2018. DOI:10.1080/10934529.2018.1444974. Disponível em: <https://www-tandfonline.ez48.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1080/10934529.2018.1444974>. Acesso em: 7 fev. 2024.

ORLOV, A.; BELKANNOVA, M. Y.; RYMAR, R. K. The impact of the formation conditions and properties of the water treatment plants sludge on its usage in the ceramic bricks production. **IOP Publishing**, Bristol, v. 962, n. 022003, 2020. DOI: 10.1088/1757-899X/962/2/022003. Disponível em: <https://iopscience-iop.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1088/1757-899X/962/2/022003>. Acesso em: 8 fev. 2024.

PARRA, M. R.; COUTINHO, R. X.; PESSANO, E. F. C. Um breve olhar sobre a cienciometria: origem, evolução, tendências e sua contribuição para o ensino de ciências. **Revista Contexto e Educação**, [s. l.], 2019. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/contextoeducacao/article/view/7267>. Acesso em: 10 jan. 2024.

PEREIRA, S. L. D. M. **Características físicas, química e microbiológicas do lodo das lagoas da ETA gramame**. 2011. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011. Disponível em:

<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/5450/1/arquivototal.pdf>. Acesso em: 8 fev. 2024.

PESSOA, W. A. G. *et al.* Application of water treatment sludge as a low-cost and eco-friendly catalyst in the biodiesel production via fatty acids esterification: Process optimization. **Energy**, Oxford, v. 213, n. 118824, dez. 2020. DOI: 10.1016/j.energy.2020.118824. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0360544220319319?via%3Dihub>. Acesso em: 1 fev. 2024.

PETTERLE, A. R. *et al.* Placas cerâmicas contendo lodo de ETA e cinza de casca de arroz: Correlação de suas propriedades físico-químicas com sua microestrutura. **Química Nova**, São Paulo, v. 41, p. 1117-1126, dez. 2018. DOI: 10.21577/0100-4042.20170288. Disponível em: <https://s3.sa-east-1.amazonaws.com/static.sites.s bq.org.br/quimicanova.s bq.org.br/pdf/AR20180174.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2024.

PINTO, R. R. Tratamento de alta temperatura em lodo de tratamento de água (ETA) e suas aplicações: uma revisão. In: NUNES, Matheus Simões (Org.). **Estudos em Direito Ambiental: Desenvolvimento, desastres e regulação**. Campina Grande: Editora Licuri, 2022, p. 174-184.

PLONKA, I. *et al.* Solidification as a process of treatment of post- Coagulation Sludge from the water treatment plant. **Ecological Chemistry and Engineering A: Chemia I Inzynieria Ekologiczna A**, Opole, v. 26, p. 85-97, 2019.

POORMAND, H.; LEILI, M.; KHAZAEI, M. Adsorption of methylene blue from aqueous solutions using water treatment sludge modified with sodium alginate as a low cost adsorbent. **Water Science and Technology**, London, v. 75, p. 281-295, jan. 2017. DOI:10.2166/wst.2016.510. Disponível em: <https://iwaponline.com/wst/article-abstract/75/2/281/28681/Adsorption-of-methylene-blue-from-aqueous?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 29 jan. 2024.

POOWANCUM, A.; NIMWINYA, E.; HORPIBULSUK, S. Development of Room Temperature Curing Geopolymer from Calcined Water-Treatment-Sludge and Rice Husk Ash. **Calcined Clays for Sustainable Concrete**, Dordrecht, v. 10, p. 291-297, 2015. DOI: 10.1007/978-94-017-9939-3_36. Disponível em: https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/chapter/10.1007/978-94-017-9939-3_36. Acesso em: 6 fev. 2024.

PROSAB, I. **Aproveitamento do Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Água e Esgotos Sanitários, inclusive com a Utilização de Técnicas Consorciadas com Resíduos Sólidos Urbanos**, 2001. Disponível em: [Residuos-Solidos-do-Saneamento-Processamento-e-Disposicao-Final.pdf](#) Acesso em 16 mai. 2023.

QIN, J. et al. Recycling of water treatment sludge into magnesium potassium phosphate cement component by a combination of silica fume. **Journal of Building Engineering**, Amsterdam, v.51, jul.2022.DOI: <https://doi.org.ez48.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jobbe.2022.104308>. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2352710222003217?via%3Dihub>. Acesso em: 20 jan. 2024.

QUANG, H. H. P. et al. Using ZrO₂ coated sludge from drinking water treatment plant as a novel adsorbent for nitrate removal from contaminated water. **Environmental Research**, San Diego, v. 212, set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113410>. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S001393512200737X?via%3Dihub>. Acesso em: 1 fev. 2024.

RAJANIEMI, K. et al. Use of Fe and Al Containing Electrocoagulation Sludge as na Adsorbent and a Catalyst in Water. **Journal of Environmental Engineering**, Reston, v. 149, n. 04022097, mar. 2023. Doi: <https://doi-org.ez48.periodicos.capes.gov.br/10.1061/JOEEDU.EEENG-6973>. Disponível em: <https://ascelibrary-org.ez48.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1061/JOEEDU.EEENG-6973>. Acesso em: 2 fev. 2024.

RAMANDÃ, H.; EL SAYED, A. A. Optimization of alum recovery from water treatment sludge-case study: Samannoud water treatment plant, Egypt. **Water and Environment Journal**, Hoboken, v. 34, p. 464-473, ago. 2020. DOI: 10.1111/wej.12481. Disponível em: <https://onlinelibrary-wiley.ez48.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1111/wej.12481>. Acesso em: 13 fev. 2024.

RANKOVIĆ, B. et al. Possibility of using ionizing radiation treated sludge from drinking water treatment plant as a fertilizer in agriculture: Effects of aging. **Applied Radiation and Isotopes**, Oxford, v. 192, n. 110602, fev. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2022.110602>. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0969804322004870?via%3Dihub>. Acesso em: 7 fev. 2024.

RANKOVIC, B. et al. Utilization of gamma and e-beam irradiation in the treatment of waste sludge from a drinking water treatment plant. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 177, n. 109174, dez. 2020. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2020.109174. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0969806X20302486?via%3Dihub>. Acesso em: 15 fev. 2024.

RASHED, M. N.; EL TAHER, M. A. E. D.; FADLALLA, S. M. M. Adsorption of methylene blue using modified adsorbents from drinking water treatment sludge. **Water Science and Technology**, London, p. 1885-1898, out. 2016. DOI: 10.2166/wst.2016.377. Disponível em: <https://iwaponline.com/wst/article->

abstract/74/8/1885/19172/Adsorption-of-methylene-blue-using-modified?redirectedFrom=fulltext. Acesso em: 4 fev. 2024.

REN, W. C *et al.* A cost-effective method for the treatment of reject water from sludge dewatering process using supernatant from sludge lime stabilization. **Separation and Purification Technology**, Amsterdam, v. 142, p. 123-128, 4 mar. 2015. DOI: 10.1016/j.seppur.2014.12.037. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1383586615000143?via%3Dihub>. Acesso em: 7 fev. 2024.

REZENDE, M. A. M *et al.* Evaluation of Reinforcement Corrosion in Cementitious Composites Modified with Water Treatment Sludge. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v.34, n.8, p. 1100-1108, 2023. DOI: <https://dx.doi.org/10.21577/0103-5053.20230023>. Disponível em: <https://s3.sa-east-1.amazonaws.com/static.sites.sbq.org.br/jbcs.sbq.org.br/pdf/2022-0331AR.pdf>. Acesso em: 7 fev. 2024.

RICHTER, C. A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. Disponível em: Minha Biblioteca, Editora Blucher, 2001.

RUVIARO, A. S. *et al.* Use of calcined water treatment plant sludge for sustainable cementitious composites production. **Journal of Cleaner Production**, Oxon, v. 327, dez.2021. DOI: <https://doi.org.ez48.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jclepro.2021.129484>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652621036635?via%3Dihub>. Acesso em: 9 fev. 2024.

SAHU, V. *et al.* Development of eco friendly brick using water treatment plant sludge and processed tea waste. **Journal of Engineering Design and Technology**, W Yorkshire, v. 18, p. 727-738, 22 nov. 2019. DOI:10.1108/JEDT-06-2019-0168. Disponível em: <https://www.emerald.ez48.periodicos.capes.gov.br/insight/content/doi/10.1108/JEDT-06-2019-0168/full/html>. Acesso em: 12 fev. 2024.

SANTOS, G. Z. B. *et al.* Synthesis of water treatment sludge ash-based geopolymers in an Amazonian context. **Journal of Environmental Management**, London, v. 249, n. 109328, 1 nov. 2019. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109328. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0301479719310369?via%3Dihub>. Acesso em: 9 fev. 2024.

SARABIA-GUARÍN, A.; SÁNCHEZ-MOLINA, J.; BERMÚDEZ-CARRILLO, J. C. Effect of use residual sludge from water treatment plants as a partial substitute for clay for refractory bricks production. **Revista UIS Ingenierías**, Bucaramanga, v. 20, n. 1, p. 11-22, 2020. DOI:10.18273/revuin.v20n1-2021002. Disponível em: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias/article/view/10914/11024>. Acesso em: 30 jan. 2024.

SECKLER, S. **Tratamento de Água - Conceção, Projeto e Operação de Estações de Tratamento**. Disponível em: Minha Biblioteca, Grupo GEN, 2017.

SHAHIN, S. A.; MOSSAD, M.; FOUAD, M. Evaluation of copper removal efficiency using water treatment sludge. **Water Science and Engineering**, Amsterdam, v. 12, p. 37-44, mar. 2019. DOI:10.1016/j.wse.2019.04.001. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1674237019300225?via%3Dihub>. Acesso em: 13 fev. 2024.

SHEN, K. L. *et al.* Dewatering of drinking water treatment sludge by vacuum electro-osmosis. **Separation Science and Technology**, Philadelphia, v. 51, p. 2255-2266, 2016. DOI: 10.1080/01496395.2016.1201111. Disponível em: <https://www-tandfonline.ez48.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1080/01496395.2016.1201111>. Acesso em: 22 fev. 2024.

SILVEIRA, C. *et al.* Desaguamento do lodo de estações de tratamento de água por leito de drenagem/secagem. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 20, p. 297-306, abr./jun. 2015. DOI: 10.1590/S1413-41522015020000082264. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/rD4h8m8V9mt8psMQgYqmkMx/?lang=pt>. Acesso em: 14 fev. 2024.

SOUZA, A. G. *et al.* **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**, 1998. Disponível em: Iniciais.p65 (finep.gov.br). Acesso em: 16 mai. 2023.

SOUZA, L. R. R. *et al.* Reduction of bioaccessibility and leachability of Pb and Cd in soils using sludge from water treatment plant. **International Journal of Environmental Science and Technology**, New York, v. 16, p. 5397-5408, out. 2019. DOI:10.1007/s13762-018-2042-y. Disponível em: <https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s13762-018-2042-y>. Acesso em: 12 fev. 2024.

SPINAK, E. **Dicionario enciclopédico de bibliometría, cienciometría e informetría**. Caracas: UNESCO, 1996.

SUMAN, A.; AHMAD, T.; AHMAD, K. Dairy wastewater treatment using water treatment sludge as coagulant: a novel treatment approach. **Enviroment Development and Sustainability**, Dordrecht, v. 20, p. 1615-1625, 2018. DOI: 10.1007/s10668-017-9956-2. Disponível em: <https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10668-017-9956-2>. Acesso em: 1 fev. 2024.

TAFAREL, N. F. *et al.* Avaliação das propriedades do concreto devido à incorporação de lodo de estação de tratamento de água. **Materia**, Rio de Janeiro, v. 21, p. 974-986, out./dez. 2016. DOI: 10.1590/S1517-707620160004.0090. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/GgR9NvqtH7KBQyH5KGZJJJKQ/?lang=pt>. Acesso em: 14 fev. 2024.

TARANTSEVA, K.; FAYUSTOVA, Y. A.; TIRANTSEV, K. Efficiency of water treatment sludge in processes of wastewater purification from copper and iron ions. **Fibre Chemistry**, New York, v.56, p.406-408, mar.2022. DOI: 10.1007/s10692-022-10314-5.

Disponível em: [https://link-springer-](https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10692-022-10314-5)

[com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10692-022-10314-5](https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10692-022-10314-5). Acesso em: 2 fev. 2024.

THARSHIKA, S.; THAMBOO, J. A.; NAGARETNAM, S. Incorporation of untreated rice husk ash and water treatment sludge in masonry unit production. **Sustainable Environment Research**, London, v. 29, n. 10, 17 abr. 2019. DOI:10.1186/s42834-019-0010-y.

Disponível em: [https://sustainenvironres-biomedcentral-](https://sustainenvironres-biomedcentral-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/articles/10.1186/s42834-019-0010-y)

[com.ez48.periodicos.capes.gov.br/articles/10.1186/s42834-019-0010-y](https://sustainenvironres-biomedcentral-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/articles/10.1186/s42834-019-0010-y). Acesso em: 26 jan. 2024.

THOMAS, T. N.; AHAMMED, M. M. Removal of Chromium Using Water Treatment Sludge. **Recent Developments in waste management**, Singapore, v. 57, p. 299-308, 2020. DOI: 10.1007/978-981-15-0990-2_23. Disponível em: [https://link-springer-](https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/chapter/10.1007/978-981-15-0990-2_23)

[com.ez48.periodicos.capes.gov.br/chapter/10.1007/978-981-15-0990-2_23](https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/chapter/10.1007/978-981-15-0990-2_23). Acesso em: 1 fev. 2024.

TONG, Z. G. *et al.* Research on enhanced coagulation test for sludge water recycling in water treatment plant in Ganjiang River Nanchang Section. **Desalination and Water Treatment**, Hopkinton, v. 232, p. 9-15, ago. 2021. DOI: 10.5004/dwt.2021.27457. Disponível em: https://www.deswater.com/DWT_abstracts/vol_232/232_2021_9.pdf. Acesso em: 8 fev. 2024.

TRANG, N. T. M.; HO, N. A. D.; BABEL, S. Reuse of waste sludge from water treatment plants and fly ash for manufacturing of adobe bricks. **Chemosphere**, Oxford, v.284, n.131367,dez.2021.DOI:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131367>.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653521018397?via%3Dihub>. Acesso em: 3 fev. 2024.

VÁCLAVÍK, V. *et al.* Utilization of sludge from mine water treatment plant in the segment of thermal insulation mortars. **Archives of Environmental Protection**, Warszawa, v. 40, p. 51-59, 2014. DOI: 10.2478/aep-2014-0004. Disponível em: <http://archive.sciendo.com/AEP/aep.2014.40.issue-1/aep-2014-0004/aep-2014-0004.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2024.

VICKERS, E. Economia Circular. *In*: **Economia Circular**. GBC Brasil, 27 ago. 2019. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/economia-circular/>. Acesso em: 8 fev. 2024.

VIRGA, R. H. P.; GERALDO, L. P.; SANTOS, F. H. D. Avaliação de contaminação por metais pesados em amostras de siris azuis. **Food Science and Technology**, Campinas, p. 779-785, dez. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000400017>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cta/a/dHWCfH7Tvsb9HtTQgmKSbQy/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 1 jul. 2023.

YAN, A. L. *et al.* Centrifugal dewatering of blended sludge from drinking water treatment plant and wastewater treatment plant. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, New York, v. 20, p. 421-430, jan. 2018. DOI: 10.1007/s10163-017-0597-1. Disponível em: <https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10163-017-0597-1>. Acesso em: 13 fev. 2024.

YANG, J. *et al.* Thermally Activated drinking water treatment sludge as a supplementary cementitious material: Properties, pozzolanic activity and hydration characteristics. **Construction and Building Materials**, Oxon, v.365, n.130027, fev. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130027>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0950061822036832?via%3Dihub>. Acesso em: 25 jan. 2024.

YAZDANI, M. *et al.* Improvement of biogas production from slaughterhouse wastewater using biosynthesized iron nanoparticles from water treatment sludge. **Renewable Energy**, Oxford, v. 135, p. 496-501, mai. 2019. DOI: 10.1016/j.renene.2018.12.019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0960148118314502?via%3Dihub>. Acesso em: 4 fev. 2024.

XU, H. *et al.* Removal of aluminum from drinking water treatment sludge using vacuum electrokinetic technology. **Chemosphere**, Oxford, v. 173, p. 404-410, abr. 2017. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.01.057. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S004565351730067X?via%3Dihub>. Acesso em: 8 fev. 2024.

ZEM, L. S. **Cienciometria e análise de conteúdo da bibliografia disponível sobre os botos (Inia spp.) presentes na bacia Tocantins-Araguaia**. 2021. Monografia de graduação (Bacharelado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Tocantins, Porto Nacional, 2021. Disponível em: <https://repositorio.uft.edu.br/bitstream/11612/3646/1/Loise%20Schmitz%20Zem-%20Monografia.pdf>. Acesso em: 14 set. 2023.

ZHOU, Z. W. *et al.* Characterization of drinking water treatment sludge after ultrasound treatment. **Ultrasonics Sonochemistry**, Amsterdam, v. 24, p. 19-26, mai. 2015. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2014.11.007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez48.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1350417714003411?via%3Dihub>. Acesso em: 16 fev. 2024.