

## I-1243 - ANÁLISE DAS DIRETRIZES PARA MANEJO DE LODOS DE ETA NO BRASIL

**Gabriela Nakayama Messa<sup>(1)</sup>**

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) - Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT) – São José dos Campos.

**Fabiana Alves Fiore<sup>(2)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (2002). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (2004). Doutora em Saneamento e Meio Ambiente pela Universidade Estadual de Campinas (2013). Professora em dedicação exclusiva do Departamento de Engenharia Ambiental do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Maestro Egídio Pinto, 158, apt. 108 – São Dimas – São José dos Campos - SP - CEP: 12245-190 - Brasil – Tel.: (11) 98837-5445 - e-mail: [gabriela.n.messa@unesp.br](mailto:gabriela.n.messa@unesp.br)

### RESUMO

O aumento do consumo de água acarreta maior atividade das estações de tratamento de água (ETAs) e, conseqüentemente, na produção de lodos oriundos deste serviço de saneamento. Considerado que o lançamento desses lodos *in natura* nos corpos d'água ainda predomina e que a disposição em aterros sanitários representa a melhor alternativa vigente no Brasil, é possível inferir que há urgência na incorporação de melhores práticas de manejo desses resíduos e que essas diretrizes devem ser incorporadas nos instrumentos legais e planejamentos das diferentes esferas de gestão pública. Esta pesquisa exploratória qualitativa propõe a avaliação da existência de diretrizes públicas para o manejo adequado dos lodos de ETAs (LETAs) nas unidades federativas do Brasil. Para tal, foi realizada uma pesquisa documental em leis e planos estaduais de resíduos sólidos para identificação, em seus conteúdos, de instruções relacionadas à gestão e ao gerenciamento desses resíduos. A análise de conteúdo desses documentos foi realizada a partir dos elementos de gestão e das etapas de manejo previstas na política nacional brasileira de resíduos sólidos e seus resultados foram expressos em matriz de interação cromática. Os resultados obtidos demonstram que os planos estaduais apresentam maior foco para a aplicação de medidas que objetivam a disposição correta do lodo e a educação/capacitação ambiental dos órgãos responsáveis pela gestão desse resíduo. Também foi observada a inexistência de dados relacionados à caracterização e ao volume de geração de LETAs, na maioria dos planos são apresentadas estimativas de geração a partir de referenciais teóricos, que não contempla as especificidades de cada estado. A baixa qualidade dos diagnósticos compromete o planejamento adequado das atividades de manejo e, principalmente, o estabelecimento de diretrizes públicas que corroborem com a mudança do cenário de poluição ainda vigente. A necessidade de elaboração de estudos e pesquisas sobre a temática é recomendada por esse trabalho, considerada a diversidade das situações existentes em cada região do país e os princípios e objetivos do Plano Nacional de Resíduos Sólidos brasileiro.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo de Estação de Tratamento de Água, Manejo e Gestão Pública, Plano Estadual de Resíduos Sólidos.

### INTRODUÇÃO

No Brasil, 27% do volume de águas superficiais é usado pelo setor de abastecimento público de áreas urbanas e rurais. Considerado o aumento populacional e da demanda por água, se justifica a crescente instalação e a ampliação de estações de tratamento de água (ETAs) para suprir a demanda por água potável (ANA, 2022). Nas operações unitárias, adotadas na potabilização de águas superficiais, ocorre a geração de subprodutos como o lodo, que estão diretamente relacionados aos resíduos removidos das águas brutas e aos insumos utilizados nessas etapas de tratamento (HOWE *et al.*, 2016) e no deságue desses resíduos (FIORE *et al.*, 2022).

Como consequência do aumento da demanda por água potável, tem-se uma maior produção de lodo de estações de tratamento (LETAs), cuja composição pode apresentar uma grande variedade de substâncias que são

utilizadas como insumos nos processos adotados em cada ETA ou transferidos pela água bruta (WOLOWIEC, *et al.* 2019). Estima-se que sejam gerados anualmente 78 milhões de toneladas de LETAs no país (MMA, 2022). Em grande parte dos municípios, esses lodos são lançados *in natura* nos cursos d'água, acarretando diversos impactos ambientais (MOTTA *et al.*, 2019).

O LETA é considerado um resíduo sólido (ABNT, 2004), abarcado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) como resíduo dos serviços de saneamento (BRASIL, 2010). A PNRS determina a obrigatoriedade de manejo desses resíduos pelo agente gerador, a partir de atividades descritas em planos de gerenciamento convergentes com os planos de gestão dos municípios (FIORE *et al.*, 2020). O manejo desse produto deve garantir que a coleta, o tratamento e a disposição final sejam realizados de modo a não inferir em impactos ao meio ambiente e à saúde humana (ANDRADE *et al.*, 2014).

Previsto para ser elaborado pelo poder público nas três esferas de governo, no Brasil, os planos de gestão de resíduos permitem a orientação das ações diretas de manejo, para as classes de resíduos que estão sob responsabilidade do ente público e também estabelece as diretrizes de gerenciamento para todas as demais classes de resíduos sólidos geradas ou destinadas nos territórios (MMA, 2022). Esse instrumento corrobora com o alcance dos objetivos da PNRS, pois estabelece os meios pelos quais devem ser incorporadas práticas de manejo sustentável que garantam a não geração, o reuso, a reintrodução de materiais no ciclo produtivo para garantir a economia circular e ainda a disposição final adequada (BRASIL, 2010).

Conforme estabelece o PNRS, os planos estaduais devem conter um conjunto de requisitos que abrange a realização de diagnóstico, a proposição de cenários, o estabelecimento de metas, diretrizes, programas e normas que orientem o manejo dos resíduos, em convergência com o direcionamento adotado na esfera federal (BRASIL, 2010). Tal instrumento é primordial para subsidiar o planejamento da gestão dos resíduos nos territórios municipais e para o direcionamento das atividades de manejo dos resíduos com responsabilidade de manejo atribuída ao gerador, como é o caso dos LETAs.

## OBJETIVO

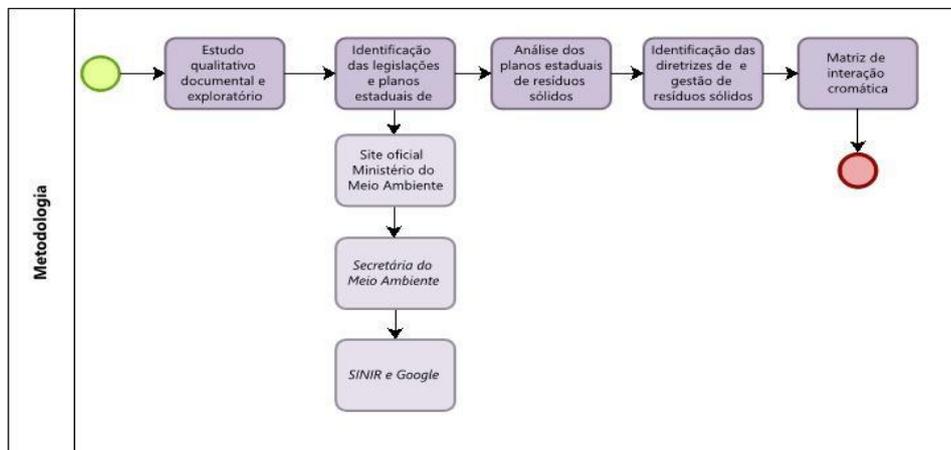
Identificar as diretrizes de manejo de lodos de estações de tratamento de água nas unidades federativas, estados e Distrito federal, do Brasil.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Este é um estudo qualitativo documental exploratório (GIL, 2002), subsidiado por dados divulgados pelo poder público. Para a identificação das legislações e dos planos estaduais de resíduos sólidos foi realizada pesquisa em ambiente virtual, de assembleias legislativas federal e estaduais, por meio do site oficial do Ministério do Meio Ambiente, da plataforma do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) e das respectivas secretarias dos estados brasileiros. Em casos de ausência de especificações a respeito da gestão estadual de resíduos sólidos, foram realizadas pesquisas abertas utilizando a seguinte combinação de palavras-chave: “Política Estadual de Resíduos Sólidos” ou “Plano Estadual de Resíduos Sólidos” acrescido do nome do estado. A busca realizada considerou os dados disponíveis virtualmente entre outubro e novembro de 2022.

Com base na classificação do lodo de ETA como resíduo sólido dos serviços de saneamento (BRASIL, 2010), analisou-se os planos estaduais de resíduos sólidos de cada unidade federativa do país, a fim de identificar as diretrizes de manejo especificadas para tal resíduo, utilizando as palavras-chave: "saneamento", “estação de tratamento” e “lodo de estações de tratamento”. Para a avaliação, critérios de qualidade foram selecionados tendo em vista a aplicação no manejo de lodo de estações de tratamento de água, com o uso de adaptação de proposição realizada por Fiore & Rutkowski (2013), a saber: Em relação à gestão dos resíduos identificou-se a existência de diagnóstico e de dados sobre LETA, o planejamento de ações de educação ou capacitação ambiental e de incentivos a novas tecnologias para tratamento de lodo. Dentre as diretrizes de gerenciamento e gestão dos LETAs, verificou-se a existência de requisitos associados aos atributos citados no PNRS: redução ou minimização dos resíduos, reuso e reciclagem, e disposição final, baseados em suas definições pela legislação e

considerando o exposto nos planos estaduais. A Figura 1 apresenta um fluxograma sintetizando a metodologia utilizada nesta pesquisa.



**Figura 1: Fluxograma da metodologia.**

Os resultados da análise foram apresentados em matriz de interação cromática, conforme é representado na Figura 2, respeitando-se as seguintes condições para a avaliação das diretrizes:

- não aborda: o texto não faz referência ao critério;
- apenas sugere: pode-se interpretar o critério, que está parcialmente descrito em outras palavras;
- aborda parcialmente: parte do critério está descrito, sem detalhamento específico;
- aborda plenamente: o texto contempla o critério plenamente.

Dados		
Não possui	Estimados	Coleta/Empíricos

Diagnóstico		
Não existe	A ser elaborado	Finalizado

Critérios de avaliação dos aspectos avaliados			
Não Aborda	Somente sugere	Aborda parcialmente	Aborda totalmente

**Figura 2: Matriz de interação cromática.**

## RESULTADOS OBTIDOS

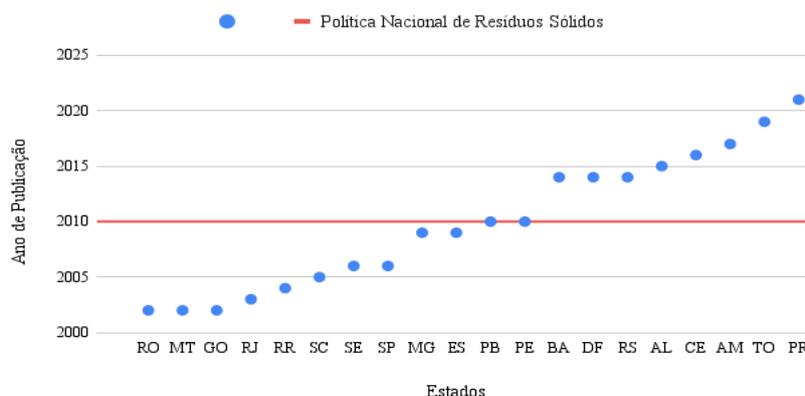
Foram identificados os instrumentos apresentados na Tabela 1, a partir das buscas realizadas conforme procedimento metodológico previamente estabelecido. Todas as análises realizadas no presente trabalho foram subsidiadas por esses documentos.

**Tabela 1: Políticas e Planos Estaduais de Resíduos Sólidos identificados.**

Estado da Federação	Política Estadual de Resíduos Sólidos (Nº da Lei/ data de publicação)	Plano Estadual de Resíduos Sólidos ( <a href="#">link</a> )
Amazonas (AM)	Lei nº4.457/12 de abril de 2017	<a href="#">Plano Estadual AM</a>
Amapá (AP)	–	–
Acre (AC)	–	<a href="#">Plano Estadual AC</a>

Pará (PA)	–	<u>Plano Estadual PA</u>
Roraima (RR)	Lei nº416/14 de janeiro de 2004	–
Rondônia (RO)	Lei nº1.145/12 de dezembro de 2002	<u>Plano Estadual RO</u>
Maranhão (MA)	–	<u>Plano Estadual MA</u>
Piauí (PI)	–	–
Bahia (BA)	Lei nº12.932/07 de janeiro de 2014	–
Ceará (CE)	Lei nº16.032/20 de julho de 2016	<u>Plano Estadual CE</u>
Rio Grande do Norte (RN)	–	<u>Plano Estadual RN</u>
Paraíba (PB)	Lei nº9.260/25 de novembro de 2010	<u>Plano Estadual PB</u>
Pernambuco (PE)	Lei nº14.236/13 de dezembro de 2010	<u>Plano Estadual PE</u>
Alagoas (AL)	Lei nº7.749/13 de outubro de 2015	<u>Plano Estadual AL</u>
Tocantins (TO)	Lei nº3.614/18 de dezembro de 2019	<u>Plano Estadual TO</u>
Sergipe (SE)	Lei nº5.857/22 de março de 2006	–
Mato Grosso (MT)	Lei nº7.862/19 de dezembro de 2002	<u>Plano Estadual MT</u>
Distrito Federal (DF)	Lei nº 5418/24 de novembro de 2014	<u>Plano Estadual DF</u>
Goiás (GO)	Lei nº 14.248/29 de julho de 2002	<u>Plano Estadual GO</u>
Mato Grosso do Sul (MS)	–	<u>Plano Estadual MS</u>
Minas Gerais (MG)	Lei nº 18.031/12 de janeiro de 2009	–
Espírito Santo (ES)	Lei nº 9.264/16 de julho de 2009	<u>Plano Estadual ES</u>
São Paulo (SP)	Lei nº 12.300/16 de março de 2006	<u>Plano Estadual SP</u>
Rio de Janeiro (RJ)	Lei nº 4191/30 de setembro de 2003	<u>Plano Estadual RJ</u>
Paraná (PR)	Lei nº 20607/10 de junho de 2021	<u>Plano Estadual PR</u>
Santa Catarina (SC)	Lei nº 13.557/17 de novembro de 2005	<u>Plano Estadual PR</u>
Rio Grande do Sul (RS)	Lei nº 14.528/16 de abril de 2014	<u>Plano Estadual RS</u>

A identificação das legislações estaduais indicou que, em 2022, 73% dos estados da federação possuíam instrumentos legais que estabeleciam a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) em seus territórios, 78% possuíam Planos Estaduais de Resíduos Sólidos e 59% apresentavam ambos os instrumentos ativos. Conforme pode ser observado na Figura 3, a maior parte dessas legislações foram promulgadas antes mesmo da PNRS, sendo apenas 40% das políticas estabelecidas posteriormente a este marco.

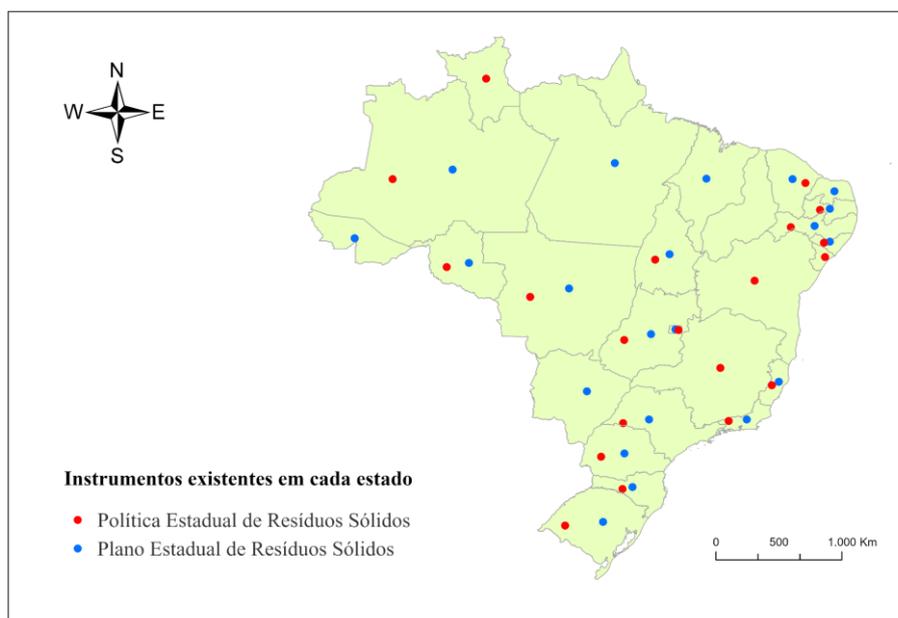


**Figura 3: Ano de publicação das PERS.**

A Figura 4 mostra uma representação da existência de políticas e planos de gestão de resíduos nos estados brasileiros. Observa-se que todos os estados que não apresentam Políticas de Resíduos Sólidos estão localizados nas regiões Nordeste (Rio Grande do Norte, Piauí e Maranhão), Centro-Oeste (Mato Grosso do Sul) e Norte (Amapá, Acre e Pará), sendo estes, nessa sequência, as três macrorregiões com mais unidades lixões no país. Destaca-se que o Nordeste é responsável por 58,2% dos lixões cadastrados no Brasil (SNIS, 2020) e que isso, para além de indicar a desconformidade com o pressuposto para a disposição final ambientalmente adequada no país, evidencia a necessidade de aprimoramento da gestão integrada dos resíduos sólidos, consideradas as suas dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social (BRASIL, 2010).

O Centro-Oeste e Nordeste possuem, respectivamente, 57,4% e 53,3% do total de resíduos sólidos urbanos coletados e destinados à aterros sanitários, os percentuais restantes são destinados à lixões ou aterros controlados, sendo estes locais impróprios para a disposição de resíduos pois não apresentam estrutura nem medidas de segurança necessárias para conter contaminações ou tratamento dos materiais dispostos. Na região Norte, a destinação para aterros sanitários e aterros controlados, é 45,6% e 17,6%, respectivamente, enquanto a disposição final em lixões é a maior dentre as macrorregiões do Brasil, 36,9% dos resíduos gerados (SNIS, 2021).

Por meio da Figura 3 também é possível identificar que 16 estados possuem ambos os instrumentos ativos e 9 estados apresentam apenas política ou plano como instrumento para diretriz de manejo dos LETAs. Verifica-se também que apenas os estados do Amapá e Piauí não possuem ao menos um dos instrumentos norteadores específicos da gestão dos resíduos sólidos em seus territórios. O estado do Amapá possui apenas um aterro sanitário operante localizado em sua capital, Macapá, com os demais municípios utilizando lixões para a destinação de resíduos (SINIR, 2021). Em Piauí, ocorre uma maior presença de aterros sanitários para a disposição correta, porém a quantidade de aterros controlados e principalmente, lixões, ainda é predominantemente, com mais de 140 unidades distribuídas pelo estado (SNIS, 2021).



**Figura 4: Existência de instrumentos de gestão de resíduos nos estados brasileiros.**

A Figura 5 apresenta as diretrizes existentes nos planos estaduais de resíduos para o manejo de LETAs em cada uma das unidades federativas.

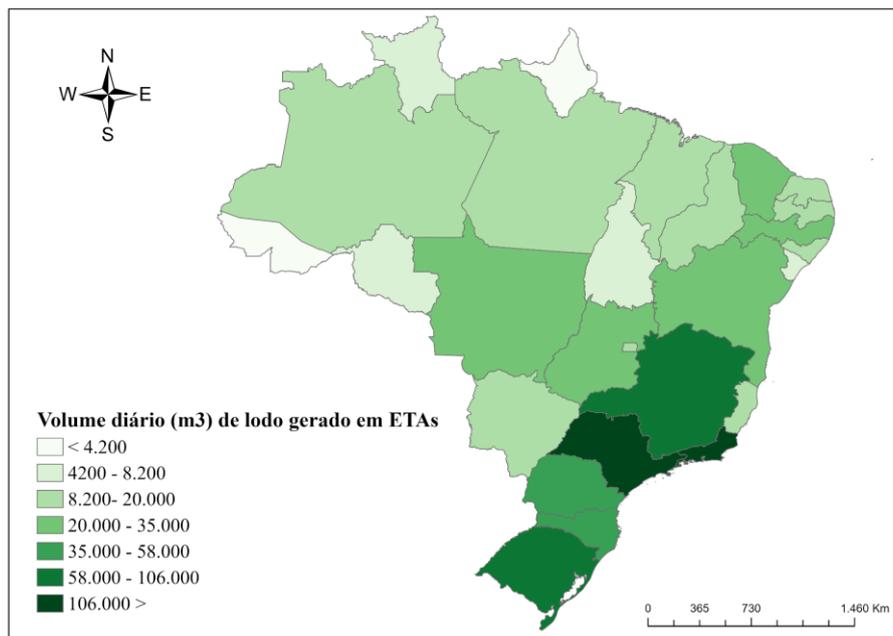
UF	Diagnóstico	Dados de LETA	Redução	Reuso	Tecnologias	Disposição Final	Capacitação
AM	Amarelo	Verde	Vermelho	Vermelho	Verde	Verde	Verde
AC	***						
PA	Amarelo	Vermelho	Laranja	Laranja	Verde	Verde	Verde
RO	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Verde	Verde	Verde	Verde
MA	***						
CE	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Amarelo	Vermelho	Amarelo	Verde
RN	Verde	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Verde
PB	Amarelo	Vermelho	Vermelho	Verde	Verde	Vermelho	Verde
PE	Amarelo	Amarelo	Vermelho	Verde	Verde	Vermelho	Verde
AL	Verde	Vermelho	Vermelho	Laranja	Vermelho	Verde	Amarelo
TO	Verde	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
MT	Verde	Amarelo	Vermelho	Vermelho	Verde	Verde	Amarelo
DF	Verde	Verde	Vermelho	Vermelho	Verde	Verde	Amarelo
GO	Verde	Amarelo	Amarelo	Vermelho	Amarelo	Verde	Verde
MS	Verde	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Verde	Verde
ES	Verde	Amarelo	Vermelho	Verde	Laranja	Verde	Verde
SP	Verde	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Vermelho	Verde
RJ	Verde	Amarelo	Verde	Verde	Laranja	Verde	Verde
PR	Verde	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Verde	Verde	Verde
SC	Verde	Amarelo	Verde	Verde	Laranja	Verde	Amarelo
RS	Verde	Amarelo	Amarelo	Vermelho	Laranja	Verde	Amarelo

\*\*\* Não apresentou especificações para resíduos de saneamento/lodo a partir das palavras-chave pesquisadas.

**Figura 5: Aspectos analisados nos PERS.**

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para o entendimento do cenário de geração de LETA no Brasil, foram considerados os dados de volume de águas tratadas em cada um dos estados da federação, disponibilizados pelo IBGE (2017), e a correlação desse volume com o de LETAs produzidos em estações de ciclo completo descritos por Collins *et al.* (2020). Utilizando-se o valor médio de 2% de volume de lodo para o volume de água total tratada. Com base nos dados calculados, é possível verificar que o estado brasileiro com a maior produção de LETAs é São Paulo, como é representado na Figura 6. Isso converge com o fato de esse ser o estado com a maior população residente e a que possui um dos maiores parques industriais, onde também há demanda de água potável (IBGE, 2021).



**Figura 6: Estimativa de volume diário de lodo em estados brasileiros.**

Ao comparar os resultados da identificação de políticas e planos estaduais de resíduos sólidos, representados na Figura 5, com o contexto de geração de lodo em cada região, disposto na Figura 6, é possível verificar que os estados de Roraima, Amapá e Sergipe, que não possuem planos estaduais, são aqueles com os menores volumes diários de LETAs gerado. Isto pode implicar na redução da prioridade de problemáticas de LETAs nesses estados, já que não estão presentes na mesma magnitude do que nos demais estados da federação. Contudo, é ressaltado o caso de Minas Gerais que apresenta um dos maiores volumes de lodo gerado diariamente no país, porém não possui plano estadual para gestão de resíduos sólidos. De acordo com as informações públicas disponíveis, a inexistência de diretrizes em Minas Gerais está sendo resolvida com a atual elaboração de seu primeiro plano para avanço da gestão de resíduos (SEMAD, 2022).

Ao analisar Figura 5, evidencia-se que nos planos estaduais há escassez de dados relacionados aos LETAs gerados e gerenciados em cada região. Na maioria dos planos são utilizadas estimativas com base na literatura ou em órgãos responsáveis no estado. Apenas 2 estados realizaram coleta de dados, outros 10 utilizaram estimativas a partir de estudos referenciais teóricos. A fragilidade dos dados dificulta o planejamento das medidas de gestão, pois o comportamento do LETA é variável de acordo com suas características sendo necessário um estudo aprofundado particular em cada estado para a adoção de ações efetivas (SILVA, 2021). Assim, os diagnósticos existentes apresentam defasagens sobre as informações das características dos LETAs, sendo estas essenciais para a determinação de medidas de manejo do resíduo. Isto é evidenciado ao observar que apesar de 62% dos planos possuírem diagnósticos, o conteúdo apresentado não demonstra de forma específica e completa a situação dos LETAs nos estados.

Dentre as três principais diretrizes analisadas nos planos estaduais, a disposição final é a mais mencionada e especificada para o manejo do lodo, buscando atender a destinação ambientalmente correta de acordo com as normativas vigentes. Entende-se que a maior facilidade de aplicação desta medida está relacionada com a existência de recomendações de disposição final e com a existência de aterros em grande parte dos territórios. As diretrizes de aterramento dos LETAs, presentes nos planos estaduais de resíduos, não advêm dos requisitos de licenciamento ou controle das ETAs e sim da observância da PNRS que reconhece os aterros como disposição final ambientalmente adequada.

A redução ou minimização de geração desses resíduos não foi abordada pela maioria dos planos estaduais e, nos casos em que houve sua menção, não foram apresentados detalhamentos para a aplicação de ações com este objetivo, diminuindo assim a viabilidade de sua aplicação já que não há auxílio para sua execução prática. As

diretrizes de reuso e reciclagem foram mencionadas em parte dos planos, como ação necessária e orientadora das estratégias de manejo que devem figurar nos planos de gerenciamento, no entanto, também não há nesses planos especificações de técnicas ou tecnologias aplicáveis a esse fim. Tendo em vista esses achados, entende-se que ainda existam significativos desafios para a gestão sustentável de LETAs, uma vez que a tomada de decisão requer conhecimentos específicos dos processos realizados nas estações de cada região, assim como dados de caracterização e manejo dos lodos (SILVA, 2021).

A Figura 5 mostra que a educação ambiental está prevista como medida de controle em todos os planos estaduais para garantir a gestão adequada dos LETAs. Na maioria dos planos, os programas propostos abarcam a capacitação das organizações da área de saneamento geradoras desses resíduos, por meio de incentivos para a adoção de medidas de tratamento e disposição corretas nas instalações e a formação dos funcionários para novos processos. No entanto cabe destacar que as ETAs são empreendimentos passíveis de licenciamento ambiental, assim havendo critérios para que o seu funcionamento ocorra dentro das conformidades estabelecidas (BRASIL, 1997). Dentre os requisitos exigidos para o processo de licenciamento de acordo com a Resolução CONAMA n° 237, deve haver o estudo das potencialidades poluidoras da instalação e, a partir deste diagnóstico, implementadas medidas para prevenir e mitigar o impacto ambiental gerado. Desse modo, apesar de nos planos constar a capacitação dos funcionários a respeito dos procedimentos, esta ação já deveria ser realizada nestes empreendimentos para atender aos requisitos do licenciamento.

No que tange às tecnologias verificou-se que os planos que descrevem formas de tratamento para reaproveitamento e reciclagem do lodo, as possibilidades exemplificadas ou detalhadas para aplicação, em sua maioria se resumem ao uso para aproveitamento energético e biodigestão. Aqui destaca-se que essas soluções são aplicáveis a lodos de estações de tratamento de esgotos e não para LETAs, pois estes possuem baixo potencial energético, tendo em vista seu teor alto de sólidos inorgânicos e baixa concentração de substâncias voláteis (COSTA & SOUZA, 2019), em comparação com lodo de estações de tratamento de esgoto (ETEs) que apresentam maior carga orgânica, podendo ser melhorado através de combinações e pré-tratamentos (CARNEIRO *et al.*, 2017). A biodigestão também apresenta o mesmo desafio para o uso de LETA já que o processo requer a degradação de matéria orgânica, enquanto o lodo possui baixa degradabilidade, sendo necessário sua composição com mistura de lodos de ETEs para a eficiência desta técnica (BORN, 2017). As tecnologias propostas pelos planos estaduais não contemplam alternativas de tratamentos com viabilidades significativas para o lodo de ETA, uma vez que são mais aplicadas para lodos com maior teor de carga orgânica, como o lodo de estações de esgoto, demonstrando a necessidade de maior conhecimento específico dos LETAs.

O uso benéfico de LETAs é tema de diversas pesquisas realizadas no Brasil e no mundo, e dentre os usos com viabilidade técnica já comprovadas estão: a utilização de seus componentes químicos, como o alumínio, para adsorção de fósforo e outras substâncias, devido ao seu comportamento em condições controladas, apresentando uma tecnologia alternativa para aplicações de pequenas escalas (DASSANAYAKE *et al.*, 2015), usos alternativos para construção civil através da produção de cimento, agregados e tijolos, devido à sua composição que apresenta teores significativos de sílica, com presença mineralógica de quartzo, calcita e outros minerais que auxiliam nas propriedades similares ao concreto (SANTOS *et al.*, 2018; MEERT *et al.*, 2021; BOSCOV *et al.*, 2021). No entanto, para que essas tecnologias sejam empregadas e propiciem a reintrodução desses materiais no ciclo produtivo, ainda se fazem necessários estudos dos impactos ambientais das aplicações e o empenho político da inclusão de diretrizes que determinem a obrigatoriedade da reciclagem, com priorização dos indicadores ambientais em relação àqueles da viabilidade econômica. Mesmo porque não se justifica a equiparação de custos de cenários de tratamento com o da disposição ilegal vigente na atualidade.

## CONCLUSÕES

O lançamento inadequado de LETAs em corpos d'água é prática recorrente no Brasil e isso causa poluição e impactos ainda imensuráveis ao meio ambiente e à saúde humana. Em vista disso, o aumento da demanda hídrica e do tratamento de água torna a problemática de destinação ambientalmente adequada dos lodos cada vez mais urgente. O país possui requisitos legais que orientam à redução e reversão de resíduos, mas a despeito dos estudos de viabilidade técnica há que se garantir a viabilidade econômica e ambiental dessas aplicações.

Os planos de gestão de resíduos sólidos são instrumentos públicos para garantia do alcance dos objetivos da PNRS e deveriam nortear o manejo que é realizado pelos geradores de resíduos gerados em atividades

específicas, como é o caso do serviço de saneamento. No entanto, os resultados dessa pesquisa evidenciam que para os lodos de ETA, os planos estaduais do Brasil abarcam apenas questões de disposição final, diagnóstico e capacitação.

Os resultados dessa pesquisa evidenciam a inexistência de dados e de controle dos LETAs gerados no Brasil, por parte dos estados brasileiros, sendo observado padrões entre estados localizados em uma mesma macrorregião e deficiências nos planos estaduais. Como é destacado nos estados da região Sul e Sudeste que apresentam diagnósticos elaborados com estimativas de dados, enquanto no Norte e Nordeste ainda devem desenvolver tais informações para o conhecimento do panorama estadual.

Em vista dos resultados dessa pesquisa, se evidencia a necessidade de realização de novas pesquisas que ampliem os conhecimentos sobre os lodos de estações de tratamento de água, para que seja possível traçar planos de gestão que sejam condizentes com o comportamento e impactos desses resíduos no meio ambiente e para o ser humano. A partir destas informações base, é preciso que haja capacitação e investimentos para que os agentes públicos estabeleçam diretrizes adequadas de manejo desses resíduos e previnam a poluição em seus territórios e elaborem estratégias viáveis e eficientes para a aplicação dos mesmos, consideradas as especificidades de cada território. Também é enfatizada a possibilidade de futuras análises que considerem demais aspectos para a avaliação dos planos estaduais, considerando outros fatores de influência, como as metas propostas para o gerenciamento dos resíduos, para entendimento da situação em cada estado observando suas possíveis relações.

## AGRADECIMENTOS

O autor principal usufruiu de bolsa de pesquisa da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (Processo: 2022/04891-6). Agradecemos também ao ICT/UNESP pela concessão do transporte.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA E SANEAMENTO BÁSICO. Conjuntura de Recursos Hídricos Brasil 2021: Relatório Pleno. Distrito Federal, Brasília, 2022.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 1004. Resíduos Sólidos-Classificação. 2004.
3. ANDRADE, Cynthia Franco *et al.* Gestão ambiental em saneamento: uma revisão das alternativas para tratamento e disposição do lodo de ETA e seus impactos na qualidade das águas. V Congresso de Gestão Ambiental. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2014.
4. BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Casa Civil. 2010.
5. BORN, Betina. Codigestão de lodo de uma ETA composto por tanino e sulfato de alumínio com lodo de ETE. Trabalho de Conclusão de Curso da Universidade do Vale do Taquari para o curso de Engenharia Ambiental. 2017. Disponível em: <<https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/e4b71bac-6769-4789-aad7-66bf71f192d5/content>>. Acesso em 20 de janeiro de 2023.
6. BOSCOV, Maria E. G. *et al.* Beneficial Use of Water Treatment Sludge in Geotechnical Applications as a Sustainable Alternative to Preserve Natural Soils. *Sustainability*, 13, 9848, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13179848>.
7. BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1997. Resolução CONAMA nº237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. Ministério do Meio Ambiente, 1997.
8. CARNEIRO, Martina; *et al.* Determinação da quantidade de energia térmica liberada em diferentes misturas de lodo e espuma de estações de tratamento de esgoto e de água visando otimizar o aproveitamento energético do lodo seco. Congresso ABES, 2017. Disponível em: <<https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2018/10/II-310.pdf>>. Acesso em 13 de janeiro de 2023.
9. COLLINS, Fiona; *et al.* A critical review of waste resources, synthesis, and applications for Zeolite LTA. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2020.
10. COSTA, G. C.C.; SOUZA, D. R. . Estudo da caracterização do lodo de ETA visando aplicações em processos catalíticos. Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Uberlândia/MG. 2019. Disponível em: <[http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-](http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-9)

1. [amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobecic2019/ERC45.pdf](http://amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobecic2019/ERC45.pdf)>. Acesso em 20 de janeiro de 2023.
11. DASSANAYAKE *et al.* *A review on alum sludge reuse with special reference to agricultural applications and future challenges.* *Waste Management*, v. 38, p. 321-325, 2015.
  12. FIORE, Fabiana Alves; RUTKOWSKI, E. W. . *Política Nacional Brasileira de Resíduos Sólidos: O que mudou nos Estados Brasileiros?*. São Paulo. Anais da III Conferência Internacional de Gestão de Resíduos na América Latina. 2013.
  13. FIORE, Fabiana Alves *et al.* *Qualidade de água superficial e geração de lodos em estações de tratamento de água.* *Revista Ambiente & Água*, v. 15, n. 5, 2020.
  14. FIORE, Fabiana Alves *et al.* *Water sludge reuse as a geotechnical component in road construction: Experimental study.* *Cleaner Engineering and Technology*, v. 9, 2022.
  15. GIL, Antonio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa.* Vol. 4. São Paulo: Atlas, 2002.
  16. HOWE, Kerry J. *et al.* *Princípios de Tratamento de Água.* Cengage Learning Brasil, 2016.
  17. MEERT, Rúbia *et al.* *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*, v. 26, n. 03, 2021.
  18. MOTTA, Maurício Alves da *et al.* *Geração, tratamento e disposição final dos resíduos das estações de tratamento de água do estado de Pernambuco.* *Engenharia Sanitária e Ambiental.* v. 24, n. 04, pp. 761-771, 2019.
  19. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Plano Nacional de Resíduos Sólidos.* Secretaria de Qualidade Ambiental. Brasília, 2020.
  20. SANTOS, Gressica Z. B. *et al.* *Perspectivas de aplicações tecnológicas de lodo gerado no processo de tratamento de água dos rios Negro e Solimões.* *Revista Matéria*, v. 23, n.03, 2018.
  21. SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.SEMAD. *Estado inicia processo de elaboração do primeiro Plano Estadual de Resíduos de MG. Meio Ambiente - Minas Gerais, 2022.* Disponível em: <<http://www.meioambiente.mg.gov.br/noticias/5307-estado-inicia-processo-de-elaboracao-do-primeiro-plano-estadual-de-residuos-solidos-de-mg>>. Acesso em 20 de novembro de 2022.
  22. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES DE SANEAMENTO BÁSICO. SNIS Painel. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/painel>>. Acesso em 13 de janeiro de 2023.
  23. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES DE RESÍDUOS SÓLIDOS. SINIR. *Atlas de Destinação Final.* 2021. Disponível em: <<https://sinir.gov.br/mapas/abetre/>>. Acesso em 13 de janeiro de 2023.
  24. SILVA, Luana Ribeiro da. *Gestão de resíduos gerados no tratamento de água: diagnóstico, desafios e oportunidades para a Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ).* Universidade Estadual de Campinas. *Dissertação de Mestrado, Engenharia Civil.* Campinas, 2021.
  25. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - Tabelas.* 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html?=&t=resultados>>. Acesso em 20 de novembro de 2022.
  26. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. *Cidades e Estados - São Paulo.* 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/sao-paulo.html>>. Acesso em 20 de novembro de 2022.
  27. WOLOWIEC, Magdalena *et al.* *Removal of Heavy Metals and Metalloids from Water Using Drinking Water Treatment Residuals as Adsorbents: A Review.* *Minerals*, 9, 487, 2019.