

Nota Técnica 9 – Considerações sobre a disposição de lodo de estações de tratamento de água em estações de tratamento de esgoto

Technical Note 9 – Considerations on the disposal of sludge from water treatment plants in sewage treatment plants

Bruna Coelho Lopes¹ , César Rossas Mota Filho^{2*} 

RESUMO

O setor de saneamento no Brasil enfrenta dificuldades crescentes com o gerenciamento dos resíduos gerados, tanto em estações de tratamento de esgoto – ETE (lodo de esgoto) quanto em estações de tratamento de água – ETA (lodo de ETA). A geração de lodo é intrínseca ao tratamento da água, no entanto a sua disposição final precisa ser feita de forma adequada, em razão do seu elevado potencial causador de impactos negativos no meio ambiente e na saúde pública. A disposição de lodo de ETA na rede coletora de esgoto ou na entrada de ETE é uma alternativa que vem sendo utilizada em alguns países, onde as ETE normalmente contam com decantadores primários e os coagulantes presentes no lodo de ETA aumentam a capacidade de separação sólido/líquido ou remoção de nutrientes como o fósforo. Entretanto, o descarte de lodo de ETA em ETE pode ter efeitos negativos naquelas que não contam com decantadores primários, como é o caso da grande maioria das ETE no Brasil. Nesse contexto, esta Nota Técnica aborda os aspectos mais importantes relacionados ao recebimento de lodo de ETA em ETE.

Palavras-chave: disposição final; ETE; lodo de ETA; tratamento de água; tratamento de esgotos.

ABSTRACT

The sanitation sector in Brazil faces increasing difficulties in managing waste, both in sewage treatment plants (WWTPs) and water treatment plants (WTPs). The generation of sludge is intrinsic to water treatment; however, its final disposal needs to be done properly due to its high potential to cause negative impacts on the environment and on public health. The disposal of WTP sludge in the sewage collection network or at the entrance of WWTPs is an alternative that has been used in some countries, where WWTPs usually have primary decanters and the coagulants present in WTP sludge increase the capacity for solid/liquid separation or removal of nutrients such as phosphorus. However, the disposal of WTP sludge in WWTP can negatively affect those that do not have primary decanters, as is the case of the vast majority of WWTP in Brazil. In this context, this Technical Note addresses the most important aspects related to the disposal of sludge from WTPs in WWTPs.

Keywords: final disposal; alum sludge; water treatment; wastewater treatment.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de abastecimento de água é fundamental para fornecer água potável de maneira contínua para os usuários, requerendo tratamento adequado da água bruta para eliminar riscos à saúde pública. Este processo, que envolve diferentes técnicas de potabilização, é determinado pela

fonte de água (superficial ou subterrânea), os riscos sanitários e os custos envolvidos (HELLER e PÁDUA, 2010). A Portaria GM/MS nº 888/2021 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021) estabelece os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano, assim como o seu padrão de potabilidade. Nesse contexto,

¹Médica Veterinária pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre, Doutora e residente pós-doutoral em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte (MG), Brasil.

²Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará. Mestre em Engenharia Ambiental pela University of Nevada. Doutor em Engenharia Ambiental pela North Carolina State University. Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte (MG), Brasil.

*Endereço para correspondência: Avenida Antônio Carlos 6.627 - Universidade Federal de Minas Gerais - Escola de Engenharia - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Bloco 1. Belo Horizonte, MG. CEP: 31270-901. e-mail: cesar@desa.ufmg.br

as estações de tratamento de água (ETA) devem empregar técnicas capazes de atender aos padrões estabelecidos para a produção de água potável.

O processo convencional de tratamento de água, composto de etapas de coagulação, floculação, decantação e filtração, é amplamente utilizado nas ETA brasileiras. Durante essas etapas, vários produtos químicos são empregados, incluindo alcalinizantes (cal hidratada ou hidróxido de sódio), coagulantes (sais de ferro e de alumínio, além de polímeros), desinfetantes ou oxidantes (cloro e seus derivados, ozônio, peróxido de hidrogênio), além de produtos para a correção de dureza e corrosão (cal, carbonato de sódio etc.) (HELLER e PÁDUA, 2010). Durante o tratamento, na etapa de decantação, há acumulação de lodo, que requer uma gestão cuidadosa em função dos impactos ambientais associados ao seu descarte inadequado, pois os produtos químicos utilizados se depositam nos decantadores junto com o material sólido presente na água bruta, formando o chamado lodo de ETA. Conforme a NBR 10004:2004 (ABNT, 2004), o lodo das ETA é classificado como resíduo sólido de Classe IIA, ou seja, não perigoso e não inerte, sendo os prestadores de serviço de abastecimento de água os responsáveis por sua destinação final. Não é permitido seu lançamento *in natura* em águas superficiais.

Estudos revelam que, apesar das regulamentações vigentes, ainda há uma prática generalizada de lançamento de lodo das ETA diretamente em corpos d'água, violando a legislação ambiental (ANDREOLI, 2006; ACHON, BARROSO e CORDEIRO, 2013; KATAYAMA *et al.*, 2015). Essa prática pode acarretar impactos ambientais adversos, incluindo danos à biota aquática, configurando-se como crime ambiental de acordo com o artigo 54 da Lei Federal nº 9.605/98 (BRASIL, 1998).

Uma prática que tem sido usada em alguns países é o lançamento de lodo de ETA diretamente na rede coletora de esgotos ou na entrada de estações de tratamento de esgotos (ETE) (CARVALHO, 2000). Essa prática possui algumas vantagens, como redução de custos de disposição de lodo de ETA para as companhias de saneamento e proteção dos corpos d'água. A presente Nota Técnica traz uma discussão sobre o descarte de lodo de ETA em ETE, incluindo seus possíveis efeitos no tratamento de esgoto.

2. PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO LODO GERADO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

O tratamento de água visa à remoção de impurezas da água, incluindo o material inorgânico (minerais em suspensão), matéria orgânica, microrganismos e outras substâncias potencialmente prejudiciais à saúde humana. A seleção da tecnologia de tratamento de água é influenciada por diversas variáveis, tais como características da água bruta, dos custos de implantação, manutenção e operação, das características da comunidade e das opções de disposição final do lodo (LIBÂNIO, 2010).

A água bruta, proveniente de mananciais naturais, é submetida a várias etapas durante o processo de tratamento. O tratamento convencional, conforme ilustrado na Figura 1, é amplamente empregado por sua robustez, sendo capaz de lidar com variações significativas nos sólidos presentes na água bruta em comparação com métodos mais simples. Esse processo convencional compreende as etapas de gradeamento, coagulação (mistura rápida), floculação (mistura lenta), decantação e filtração. Por meio de adição de produtos químicos, as impurezas presentes na água são aglutinadas em flocos nas etapas de coagulação e floculação. Esses flocos dão origem ao lodo químico, que é predominantemente removido nos decantadores. As impurezas residuais retidas durante a etapa de filtração são eliminadas no processo de lavagem dos filtros. Além do lodo proveniente dos decantadores e da água de lavagem de filtros, contribuem para a formação do lodo de ETA também os resíduos gerados nas limpezas periódicas dos floculadores e dos tanques de preparo de soluções ou suspensões de produtos químicos, embora em menor proporção. As características da água bruta, tais como cor, turbidez, sabor, odor e a presença de diversos tipos de contaminantes orgânicos e inorgânicos estão associadas a partículas suspensas ou dissolvidas, exigindo o uso de coagulantes e floculantes para sua remoção. Segundo Heller e Pádua (2010), os coagulantes mais frequentemente utilizados em ETA incluem o sulfato de alumínio, o cloreto férrico, o sulfato ferroso clorado, o sulfato férrico e o hidróxi-cloreto de alumínio (HCA ou PAC). As cargas positivas multivalentes desses produtos neutralizam

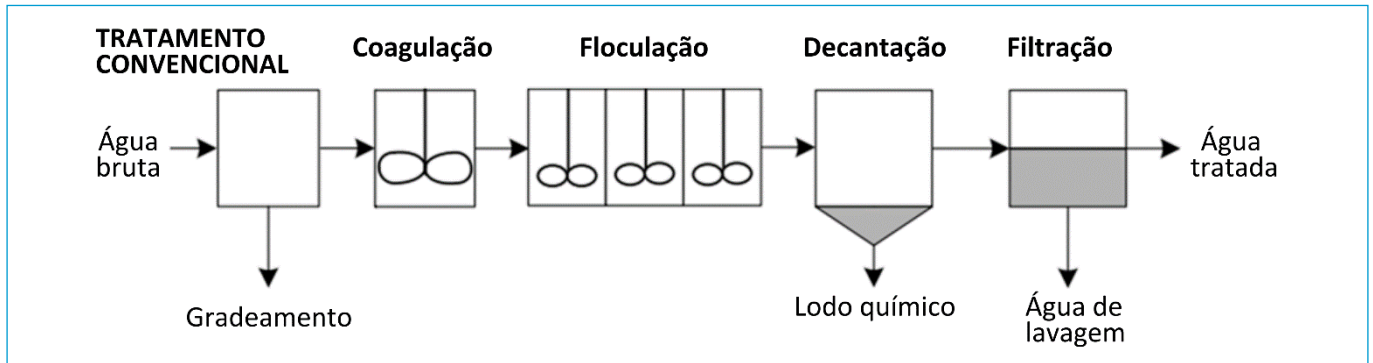


Figura 1 - Etapas do tratamento de convencional e pontos de geração de resíduo.

as cargas negativas presentes no material particulado na água bruta, reduzindo as forças de repulsão entre elas e permitindo a formação de flocos. Para uma atuação mais eficiente dos coagulantes, muitas vezes é necessário ajustar o pH com a adição de agentes alcalinizantes, como a cal hidratada.

À medida que as partículas se agregam em flocos, elas tornam-se mais densas e, por efeito da gravidade, sedimentam no fundo dos decantadores. A quantidade de lodo gerado depende da quantidade de sólidos presentes na água bruta, o que também influencia a dosagem de coagulantes. Durante períodos chuvosos, é comum ocorrer arraste de partículas minerais e orgânicas para os mananciais, o que pode afetar a dosagem de produtos químicos em ETA. Em represas ou lagos, também pode haver proliferação de algas, o que também interfere na dosagem de coagulantes no processo de tratamento (CARVALHO, 2000). A Tabela 1 apresenta uma estimativa da produção de lodo de ETA com base na população atendida.

O ponto central da geração de lodo em uma ETA reside nos decantadores, onde a remoção de sólidos pode ser realizada de maneira mecanizada ou manual, dependendo do porte da ETA. Para o método mecanizado, é necessário que o lodo apresente um teor de sólidos igual ou superior a 2%, valor mínimo requerido para o funcionamento adequado dos equipamentos de desidratação (LOPES e SERRA, 2016).

A lavagem dos filtros, por sua vez, geralmente ocorre de forma alternada, com intervalos entre 12 e 48 horas e duração de 4 a 15 minutos. Segundo Scalize (2003) e Acho, Barroso e Cordeiro (2008), em ETA de menor porte, onde a limpeza dos decantadores é realizada manualmente, esse

intervalo pode ser estendido para um período mais amplo, variando de 30 a 180 dias, a depender das características da água bruta. A remoção diária de sólidos apresenta a vantagem de manter o volume de tratamento próximo do máximo, minimizando a sobrecarga na etapa de filtração e reduzindo a ocorrência de maus odores e outros problemas de tratamento (PIZZI, 2010).

O lodo das ETA é essencialmente composto de impurezas presentes na água, abrangendo compostos inorgânicos, como areia, silte e argila, e matéria orgânica, que inclui compostos húmicos, bactérias, algas, entre outros elementos. Além disso, o lodo pode conter produtos adicionados durante o processo de tratamento, principalmente os coagulantes (HELLER e PÁDUA, 2010). Estudos atestam que 20 a 92% dos sólidos contidos em resíduos de ETA resultam da adição de produtos químicos (CARVALHO, 2000); desta forma, eles podem ter grande influência nas características do lodo, na qualidade da água tratada e na seleção do método de disposição final.

A composição físico-química do lodo gerado em ETA é influenciada por diversas variáveis, incluindo as operações de decantação, lavagem de filtro e o tipo de coagulante/floculante utilizados. A Tabela 2 apresenta um resumo das características do lodo de ETA de acordo com esses parâmetros. Vale ressaltar que a composição do lodo de ETA desempenha um papel crucial na definição de sua destinação final, destacando a importância de compreender essas características para a gestão eficaz desse resíduo.

A estimativa da quantidade de sólidos suspensos totais é uma prática comum para avaliar a eficiência do decantador e da lavagem dos filtros em ETA, com o volume de amostra de água utilizado visando produzir uma quantidade

de sólidos na faixa de 2,5 a 200 mg. A concentração final é expressa como percentual de sólidos, em que 1% é igual a 10.000 mg/L (PIZZI, 2010). O teor de sólidos fixos pode variar entre 74 e 89% (AHMAD, AHMAD e ALAM, 2016a).

Em razão da baixa concentração de sólidos suspensos totais no lodo de ETA removido de forma mecanizada, o custo de transporte pode ser significativamente elevado, exigindo assim uma etapa de desidratação do lodo no próprio local. Essa desidratação pode ocorrer de forma natural, como em lagoas de lodo ou leitos de secagem, ou de maneira mecanizada, utilizando equipamentos como filtro prensa ou centrífuga.

Alguns dos metais presentes no lodo de ETA possuem potencial toxicidade para a saúde humana e para o ambiente aquático. A composição desses metais é influenciada pelo uso da bacia hidrográfica na qual ocorre a captação de água (U.S. EPA, 2011; TCHOUNWOU *et al.*, 2012). Esses aspectos destacam a importância de avaliar não apenas a quantidade, mas também a composição do lodo de ETA, visando à gestão adequada do resíduo.

3. IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELO LANÇAMENTO DO LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM CORPOS D'ÁGUA

O lodo proveniente de ETA pode causar impactos ambientais significativos, especialmente por conta das elevadas concentrações de sólidos suspensos, cal, alumínio e outros metais (U.S. EPA, 2011). Quando descartado em cursos

d'água, o lodo pode resultar no acúmulo de sólidos suspensos no leito dos rios, causando o fenômeno de assoamento. Esse acúmulo de sedimentos cria um ambiente anaeróbio que afeta negativamente a comunidade bentônica presente no fundo dos corpos d'água.

Além disso, os sólidos suspensos presentes no lodo podem obstruir a penetração da luz na coluna d'água,

Tabela 2 - Características do lodo de estação de tratamento de água com relação ao tipo de unidade de operação e aos teores de metais pesados.

Parâmetro	Decantador (tipo de limpeza)		Lavagem de filtros
	Mecanizada	Manual	
Periodicidade	Contínua	30 a 180 dias	12 a 48 horas
SST	1 a 4%	10 a 30%	<0,05 a 1,6%
Concentração média de metais pesados no lodo de ETA (mg.kg ⁻¹) com diferentes coagulantes			
	Sulfato de alumínio	Cloreto férrico	
Alumínio	118.700 ± 24.260	61.390 ± 35.920	
Cobre	624 ± 581	46 ± 12	
Ferro	37.000 ± 19.740	220.900 ± 32.200	
Enxofre	6.763 ± 2.955	nd	
Manganês	2.998 ± 1.122	1.088 ± 178	
Sódio	355 ± 142	nd	
Zinco	98 ± 31	36 ± 4	
Cromo	20 ± 7	38 ± 4	
Cádmio	0,12 ± 0,02	nd	
Merúrio	0,46	nd	

Fonte: (PIZZI, 2010; SCALIZE, 2003).

ETA: estação de tratamento de água; nd: não determinado; SST: sólidos suspensos totais.

Tabela 1 - Produção estimada de lodo de acordo com a população atendida pela estação de tratamento de água.

População atendida	Volume diário médio de tratamento (m ³ /dia)	Valores típicos de produção de lodo diária (m ³ /d)	Média de produção de lodo diária (m ³ /d)
1.001 a 3.300	871	0,03 a 9,84	2,91
3.301 a 10.000	2.650	0,07 a 25,36	7,57
10.001 a 25.000	7.949	0,18 a 67,38	20,06
25.001 a 50.000	18.927	0,42 a 154,82	45,80
50.001 a 75.000	33.312	0,68 a 252,87	74,95
75.001 a 100.000	49.210	0,98 a 365,67	108,26
100.001 a 500.000	102.206	1,93 a 716,96	212,74
500.001 a 1.000.000	454.249	7,95 a 2.952,24	875,57
> 1.000.000	1.022.061	16,28 a 6.044,92	1.792,39

Fonte: U.S. EPA (1993) *apud* U.S. EPA (2011).

limitando o crescimento de plantas aquáticas enraizadas, que por sua vez servem de hábitat para organismos aquáticos como peixes e crustáceos. A obstrução das guelras dos peixes pelo material particulado pode levar à asfixia e até mesmo à morte desses organismos.

Os metais presentes no lodo de ETA, especialmente o alumínio, em concentrações elevadas, apresentam potencial toxicidade para o fitoplâncton, zooplâncton, plantas aquáticas e diversos animais vertebrados, incluindo peixes. Esses metais também têm potencial para bioacumulação e biomagnificação nas cadeias alimentares aquáticas, representando uma ameaça adicional para a saúde dos ecossistemas aquáticos (U.S. EPA, 2011).

4. PRINCIPAIS FORMAS DE DISPOSIÇÃO DO LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

A questão da destinação final do lodo produzido em ETA é um problema global que tem sido objeto de diferentes estudos ao longo dos anos. Anteriormente, práticas pouco sustentáveis, como o envio para aterros sanitários e o lançamento direto em corpos d'água, eram comuns em países desenvolvidos, como se viu no Reino Unido e nos EUA no final do século XX, onde até metade do lodo gerado era destinado a aterros sanitários (SIMPSON, BURGESS e COLEMAN, 2002; KEELEY, JARVIS e JUDD, 2014). No entanto, com o aumento do conhecimento sobre os impactos ambientais dessas práticas e o foco crescente na valorização dos resíduos, houve uma transição para abordagens mais sustentáveis.

Por exemplo, no Reino Unido, o envio de lodo para aterro, que representava 57% do total do lodo gerado em 1998, deve agora atender às normativas ambientais de economia circular. Essas normativas exigem reciclagem, reúso ou reaproveitamento do material inerte, com o objetivo de reduzir o envio de lodo para o aterro a níveis mínimos (KEELEY, JARVIS e JUDD, 2014; OFWAT, 2016). Nos EUA também houve redução no uso dessa prática, com estimativas apontando diminuição de 40% em 2006 para 20% em 2010. No entanto, no Brasil, há escassez de dados sobre a destinação do lodo de ETA.

Apesar dessas mudanças positivas em países desenvolvidos, o lançamento direto do lodo em corpos d'água ainda é comum em algumas regiões, como Brasil, Índia, Indonésia e Egito (AHMAD, AHMAD e ALAM, 2016b; BARAKWAN, TRIHADININGRUM e BAGASTYO, 2019; SOTERO-SANTOS, ROCHA e POVINELLI, 2005). No entanto, essa prática é ambientalmente inadequada.

Nesse contexto, o lançamento do lodo de ETA na rede de esgotos tem sido explorado em países desenvolvidos, embora ainda seja pouco utilizado no Brasil. Isso se deve, em parte, aos desafios operacionais e aos altos custos associados a soluções mecanizadas de tratamento de lodo de ETA, como centrífugas ou filtros-prensa (ACHON, BARROSO e CORDEIRO, 2008).

A inserção do lodo de ETA na rede de esgotos pode ter implicações no processo de tratamento de esgoto e nos corpos d'água que recebem os efluentes das ETE, destacando-se a necessidade de uma análise cuidadosa dessa prática (CARVALHO, 2000). Nos próximos itens, serão discutidas considerações específicas sobre a disposição do lodo de ETA em ETE, com foco particular nas ETE que contam com reatores *upflow anaerobic sludge blanket* (UASB), que são amplamente utilizados no Brasil.

5. TRATAMENTO ANAERÓBIO DE ESGOTOS E CARACTERÍSTICAS DO LODO GERADO

Entre os diversos métodos de tratamento de esgoto comumente empregados no Brasil, os reatores UASB destacam-se pela sua robustez, sendo capazes de receber o esgoto bruto diretamente após o tratamento preliminar, sem a necessidade de um decantador primário. Funcionando com fluxo ascendente, esses reatores permitem o contato direto entre o esgoto e a biomassa anaeróbia presente no leito de lodo, localizado no fundo do reator. Acima do leito de lodo densamente concentrado, encontra-se a manta de lodo, caracterizada por uma concentração de sólidos com velocidade de sedimentação mais reduzida. Como parte do processo, o lodo estabilizado presente no reator UASB deve ser removido periodicamente.

6. OS EFEITOS DO DESCARTE DE LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

A disposição do lodo de ETA em ETE pode ser uma opção viável, dependendo dos processos utilizados no tratamento de esgoto, especialmente para ETA de pequeno porte, graças aos custos reduzidos. No entanto, é crucial considerar diversos fatores, sobretudo na compatibilidade com os processos biológicos de tratamentos de esgoto e os requisitos legais para a disposição final do lodo de ETE, como os níveis de metais e outros componentes inorgânicos, para garantir a conformidade com a legislação atual vigente (U.S. EPA, ASCE e AWWA, 1996). Além disso, é importante notar que essa prática transfere a responsabilidade e os custos do gerenciamento do lodo da ETA para a ETE. O transporte do lodo das ETA para as ETE pode ser realizado por meio do lançamento na rede coletora de esgotos ou da disposição direta na ETE, sendo necessário um adensamento prévio do lodo na ETA antes do transporte, no segundo caso.

Entre as principais preocupações relacionadas à disposição de lodo de ETA em ETE estão os potenciais impactos negativos na atividade biológica do tratamento secundário pela presença de metais pesados e pelo aumento de sólidos suspensos inertes em reatores biológicos. Esses problemas estão associados a diversas complicações adicionais, como

a formação de zonas mortas nos reatores biológicos, um aumento na produção do lodo da ETE, resultando em sobrecarga nos decantadores secundários e nas operações de desidratação de lodo (SUNDEFELD JUNIOR, 2007). No entanto, alguns estudos (CHAO, MORITA e FERRAZ, 2009) sugerem que a presença de coagulantes no lodo de ETA pode aumentar a remoção de nutrientes via precipitação química em ETE com decantadores primários. Para garantir a eficácia e segurança desse processo, é essencial estabelecer limites rigorosos, como: i) taxas máximas de descarga do lodo de ETA na rede de esgotamento; ii) limites máximos de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) no lodo de ETA; iii) concentração máxima de sólidos totais no lodo de ETA; iv) limite diário de massa de sólidos totais; e v) pré-notificação de ocorrência de valores anormais (U.S. EPA, ASCE e AWWA, 1996). A Tabela 3 resume os resultados de três estudos nacionais que investigaram os efeitos do descarte do lodo proveniente das ETA na rede coletora de esgotos.

A seguir, são discutidos alguns fatores relevantes sobre os impactos do lodo proveniente de ETA no tratamento de esgotos.

6.1. Efeito da carga de sólidos presente no lodo de estação de tratamento de água

O descarte de lodo de ETA não é um processo contínuo e, em alguns casos, ocorre o adensamento do lodo ao longo

Tabela 3 - Estudos de caso sobre as vantagens e desvantagens do lançamento do lodo de estações de tratamento de água em estações de tratamento de esgoto e os impactos no tratamento biológico de esgoto.

Sistema - escala	Período de avaliação	Pontos positivos	Pontos negativos
UASB-Piloto ^(a)	100 dias	<ul style="list-style-type: none"> A adição de 50-75 mg/L de lodo de ETA ao reator UASB não resultou em redução da eficiência do reator em relação à DQO nem em aumento de sólidos no reator UASB. 	<ul style="list-style-type: none"> Não foram identificados.
UASB/lagoa polimento-escala real ^(b)	160 dias	<ul style="list-style-type: none"> A vazão de lodo da ETA representou 3,2% da vazão total da ETE. Embora tenha ocorrido deterioração na qualidade do efluente do UASB, a lagoa de polimento foi capaz de manter a eficiência global de SST entre 92 e 96%. 	<ul style="list-style-type: none"> Aumento significativo de SST no efluente do UASB.
Lodos ativados-escala real ^(c)	70 dias	<ul style="list-style-type: none"> Redução nas concentrações de fósforo solúvel no efluente do reator. A eficiência de remoção de DBO e DQO diminuiu apenas 4%. 	<ul style="list-style-type: none"> O aumento de 73% na concentração de SST no efluente final destaca a importância de unidades de desidratação do lodo, embora não tenha afetado negativamente o sistema em questão.

DQO: demanda química de oxigênio; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; SST: sólidos suspensos totais; UASB: reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente.

^(a)Asada *et al.* (2010); ^(b)Wagner, Wiechetech e Széliga (2019); ^(c)Sundefeld Junior (2007).

de meses para aumentar sua concentração de sólidos. Nesse contexto, é necessário considerar o tipo, volume e periodicidade do descarte do lodo de ETA no sistema de esgotamento sanitário. As ETE que recebem esse lodo podem requerer a equalização do fluxo de lodo de ETA para que o lodo seja descartado de forma contínua e uniforme (U.S. EPA, ASCE e AWWA, 1996).

O aumento da carga de sólidos nas ETE que recebem lodo de ETA é inevitável e pode afetar negativamente o tratamento de esgoto, conforme discutido anteriormente. Assim, a relação entre o porte da ETE e a respectiva produção de lodo na ETA é um fator crítico. A carga de sólidos no lodo de ETA depende da qualidade da água bruta, que pode sofrer variações significativas durante o ano (ASADA *et al.*, 2010; WAGNER, WIECHETECH e SZÉLIGA, 2019).

6.2. Efeito na atividade biológica do sistema de tratamento de esgotos

Uma preocupação do lançamento de lodos de ETA em ETE diz respeito aos possíveis danos que esses resíduos podem causar ao tratamento biológico, incluindo a inibição da atividade biológica de organismos responsáveis pela remoção da matéria orgânica, principalmente em razão da presença de metais pesados (U.S. EPA, ASCE e AWWA, 1996).

O monitoramento da eficiência de remoção da matéria orgânica pelo tratamento biológico é realizado por meio da análise de remoção da demanda química de oxigênio (DQO) e DBO. Estudos demonstram que o contato com o sulfato de alumínio (coagulante comumente presente em lodo de ETA) pode causar inibição significativa em bactérias acetogênicas e nas arqueias metanogênicas (CABIROL *et al.*, 2003). Ainda não há consenso sobre a concentração de coagulante que seria inibitória para essa comunidade, havendo relatos na literatura de valores entre 85 mg AL.L⁻¹ (KINDZIERSKI e HRUDEY, 1986) e 58.682 mg AL.L⁻¹ (GIMENES, 2014).

6.3. Efeitos positivos na remoção de nutrientes e no desague do lodo de estações de tratamento de esgoto

As ETE brasileiras raramente são projetadas para remover nutrientes, mantendo o potencial de causar problemas de

eutrofização em corpos receptores mesmo após o tratamento secundário do esgoto. O descarte de lodo de ETA em ETE pode resultar na remoção significativa de nutrientes presentes no esgoto, especialmente o fósforo. O alumínio, presente em coagulantes frequentemente utilizados em ETA brasileiras (como o sulfato de alumínio), possui forte afinidade com o fósforo e pode resultar em elevadas taxas de remoção deste (MUISA *et al.*, 2020). O benefício da remoção de nutrientes pode ser obtido especialmente em ETE que contam com decantadores primários. Nesse caso, o lodo de ETA pode ser descartado na rede de esgotamento sanitário ou na entrada da ETE. O decantador primário apresentará melhor desempenho na remoção de nutrientes e protegerá as unidades de tratamento subsequentes dos efeitos prejudiciais do descarte de lodo de ETA. Outra opção consiste na aplicação do lodo de ETA junto com o lodo secundário de esgoto nas unidades de desidratação do lodo de esgoto, que pode resultar em remoção de nutrientes do líquido gerado no desague e maiores teores de sólidos no lodo resultante.

7. OUTRAS SOLUÇÕES PARA A DISPOSIÇÃO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

A disposição direta do lodo proveniente das ETA nos corpos d'água, apesar de ainda ser prática comum, representa potencial risco ambiental e para a saúde pública. Essa prática não está alinhada com as diretrizes estabelecidas na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), regida pela Lei Federal nº 12305/2010. A PNRS tem como objetivo promover a gestão integrada e o correto gerenciamento dos resíduos sólidos, com foco na não geração, redução, reutilização, reciclagem e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos.

Conforme os princípios da PNRS, a disposição inadequada do lodo de ETA pode acarretar danos ao meio ambiente e à saúde humana, além de contrariar os preceitos de sustentabilidade e responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. Na Tabela 4, são apresentadas diversas alternativas para a disposição final do lodo de ETA, destacando-se suas vantagens e desvantagens, em conformidade com os princípios e diretrizes da PNRS.

Tabela 4 - Alternativas para a disposição final de lodo de estações de tratamento de água.

Forma de disposição	Vantagens	Desvantagens	Referências
Aterro sanitário	<ul style="list-style-type: none"> • Evita a poluição causada pelo lançamento em corpos d'água 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de desidratação do lodo para a redução de volume • Altos custos 	Godoy <i>et al.</i> (2019)
Incineração	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do volume de lodo • Imobilização de metais pesados • Destruição de patógenos 	<ul style="list-style-type: none"> • Produção elevada de cinzas (que devem ser adequadamente dispostas) 	Godoy <i>et al.</i> (2019)
Aplicação no solo	<ul style="list-style-type: none"> • Estabilizador de solo 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de grandes áreas de disposição • Necessidade de desidratação do lodo para a redução de volume • Custo elevado com transporte 	U.S. EPA, ASCE e AWWA (1996)
Produção de material cerâmico	<ul style="list-style-type: none"> • Evita a poluição causada pelo lançamento em corpos d'água • Sustentabilidade ambiental • Potencial redução de custos no processo de produção desses materiais 	<ul style="list-style-type: none"> • Lodos provenientes de ETA que utilizam coagulantes contendo alumínio são mais prejudiciais às propriedades da cerâmica em relação àqueles de ETA que utilizam coagulantes contendo ferro • Aumento da absorção de água nos tijolos 	Teixeira <i>et al.</i> (2011) Rodrigues e Holanda (2015)

ETA: estação de tratamento de água.

A PNRS estabelece um conjunto de princípios fundamentais para a gestão adequada dos resíduos sólidos no Brasil. Esses princípios incluem a prevenção e precaução, a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a adoção de medidas preventivas mesmo diante de incertezas científicas, a promoção dos 3Rs (redução, reutilização e reciclagem), a inclusão social e a geração de renda, a valorização econômica dos resíduos, o reconhecimento do resíduo como recurso e a promoção da economia circular. Esses princípios norteiam as políticas e ações relacionadas à gestão de resíduos sólidos, visando à proteção do meio ambiente e à promoção do desenvolvimento sustentável.

No contexto da gestão do lodo, é fundamental considerar diversas formas de disposição, como o aterro sanitário, a incineração, a aplicação no solo e a produção de material cerâmico. Todas essas abordagens compartilham o objetivo de evitar o despejo direto do lodo em corpos d'água, contribuindo assim para a prevenção da poluição ambiental. No entanto, cada método enfrenta desafios específicos.

O aterro sanitário enfrenta desafios relacionados aos altos custos de disposição e transporte, enquanto a produção de material cerâmico ainda carece de avanços com relação à qualidade do material resultante. Por outro lado, a incineração, reconhecida por sua eficácia na redução do volume de resíduos e na criação de um material

relativamente inerte, enfrenta preocupações com a lixiviação de metais por meio das cinzas, dependendo dos níveis iniciais de metais no lodo de ETA. Além disso, os custos mais altos e as preocupações com as emissões atmosféricas têm diminuído o interesse por esse método (U.S. EPA, ASCE e AWWA, 1996).

A aplicação no solo emerge como opção promissora diante das restrições regulatórias e ambientais crescentes, com possíveis aplicações em setores agrícolas, silviculturais e de recuperação de terras. No entanto, existem desafios como o aumento da concentração de metais no solo e a adsorção de fósforo, além de possíveis efeitos adversos pela aplicação de sólidos de alumínio mal cristalizados. A utilização do lodo de ETA na fabricação de tijolos representa uma solução sustentável, eliminando resíduos industriais e promovendo o desenvolvimento regional. Essa prática demonstra a importância das práticas de produção mais limpa (P+L) na promoção de inovação e sustentabilidade (WOLFF, SCHWABE e CONCEICAO, 2015).

Assim, é essencial avaliar cuidadosamente esses aspectos ao decidir sobre a melhor opção para a disposição do lodo, considerando-se tanto os aspectos ambientais quanto os econômicos.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme indicado nesta Nota Técnica, o descarte de lodo de ETA em ETE é uma questão complexa em razão

da grande variabilidade das características do lodo de ETA e dos impactos que pode causar no tratamento de esgotos. Entre as principais preocupações relacionadas à disposição de lodo de ETA em ETE, destacam-se o aumento de sólidos suspensos, que resulta em um volume maior de lodo a ser descartado e na formação de zonas mortas em reatores biológicos, e os efeitos inibitórios na atividade biológica das unidades de tratamento secundário, resultando em menor eficiência de remoção de poluentes nas ETE.

Alguns estudos sugerem que a disposição de lodo de ETA em ETE pode aumentar a eficiência de remoção de nutrientes em decantadores primários pela presença de coagulantes no lodo de ETA. No Brasil, a maioria das ETE não conta com decantadores primários. Há evidências limitadas indicando que reatores UASB podem absorver a carga decorrente do descarte do lodo de ETA, desde que parâmetros operacionais sejam monitorados com maior frequência no tratamento.

Para locais onde o tratamento de esgotos ainda não está plenamente desenvolvido, outras formas de disposição

do lodo de ETA são apresentadas, como aterros sanitários, incineração, disposição no solo e reciclagem em processos de fabricação de tijolos e outros materiais de construção. Essas alternativas devem ser cuidadosamente avaliadas e consideradas de acordo com as características locais e as diretrizes regulatórias, visando minimizar os impactos ambientais e promover práticas de gestão de resíduos sustentáveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio recebido do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico — CNPq, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — CAPES, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais — FAPEMIG e do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto — INCT ETEs Sustentáveis.

Este trabalho faz parte da série de publicações do INCT ETEs Sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ACHON, C.L.; BARROSO, M.M.; CORDEIRO, J.S. Leito de drenagem: sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 13, n. 1, p. 54-62, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522008000100008>

ACHON, C.L.; BARROSO, M.M.; CORDEIRO, J.S. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: Desafio do saneamento brasileiro. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 18, n. 2, p. 115-122, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522013000200003>

AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM, M. Characterization of water treatment plant's sludge and its safe disposal options. *Procedia Environmental Sciences*, v. 35, p. 950-955, 2016a. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.088>

AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM, M. Sustainable management of water treatment sludge through 3R' concept. *Journal of Cleaner Production*, v. 124, p. 1-13, 2016b. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.073>

ANDREOLI, C.V. *Alternativas de uso dos resíduos do saneamento*. Rio de Janeiro, Brasil: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 2006.

ASADA, L.N.; SUNDEFELD JR, G.C.; ALVAREZ, C.R.; FERREIRA FILHO, S.S.; PIVELI, R.P. Water treatment plant sludge discharge to wastewater treatment works: effects on the operation of upflow anaerobic sludge blanket reactor and activated sludge systems. *Water Environment Research*, v. 82, n. 5, p. 392-400, 2010. <https://doi.org/10.2175/106143009x12487095236838>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 10004: Resíduos sólidos — Classificação*. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p.

BARAKWAN, R.; TRIHADININGRUM, Y.; BAGASTYO, A. Characterization of Alum Sludge from Surabaya Water Treatment Plant, Indonesia. *Journal of Ecological Engineering*, v. 20, n. 5, p. 7-13, 2019. <https://doi.org/10.12911/22998993/104619>

BRASIL. Casa Civil. *Lei nº 9605, de 12 de fevereiro de 1998*. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília, DF, 1998.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021*. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS no 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF, 2021.

CABIROL, N.; BARRAGÁN, E.J.; DURÁN, A.; NOYOLA, A. Effect of aluminium and sulphate on anaerobic digestion of sludge from wastewater enhance primary treatment. *Water Science and Technology*, v. 48, n. 6, p. 235-240, 2003. <https://doi.org/10.2166/wst.2003.0407>

CARVALHO, E.H. *Disposição de resíduos gerados nas estações de tratamento de água em estações de tratamento de esgoto com decantação primária*. 2000. 225 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

CHAO, I.R.S.; MORITA, D.M.; FERRAZ, T.H. Reciclagem de lodo de estações de tratamento de água para remoção de fósforo de efluente de sistema de lodos ativados. *Revista SANEAS*, v. 32, n. jan./fev./mar., p. 45-50, 2009.

GIMENES, G. *Disposição do lodo de estação de tratamento de água em reator UASB*. 2014. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

GODOY, L.G.G.; ROHDEN, A.B.; GARCEZ, M.R.; COSTA, E.B.; DALT, S.; ANDRADE, J.J.O. Valorization of water treatment sludge waste by application as supplementary cementitious material. *Construction and Building Materials*, v. 223, p. 939-950, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.333>

HELLER, L.; PÁDUA, V.L. *Abastecimento de água para consumo humano - volume 2*. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

KATAYAMA, V.T.; MONTES, C.P.; FERRAZ, T.H.; MORITA, D.M. Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: uma análise crítica. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 20, n. 4, p. 559-569, 2015. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020040105046>

KEELEY, J.; JARVIS, P.; JUDD, S.J. Coagulant recovery from water treatment residuals: a review of applicable technologies. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 44, n. 24, p. 2675-2719, 2014. <https://doi.org/10.1080/10643389.2013.829766>

KINDZIERSKI, W.B.; HRUDEY, S.E. Effects of phosphorus removal chemicals upon methane production during anaerobic sludge digestion. *Canadian Journal of Civil Engineering*, v. 13, n. 1, p. 33-38, 1986. <https://doi.org/10.1139/l86-005>

LIBÂNIO, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 3. ed. Campinas: Editora Átomo, 2010. 444 p.

LOPES, B.C.; FIGUEIREDO, R.S.; ARAÚJO, J.C.; MATOS, A.T. Bacterial community dynamics in tropical soil after sewage sludge amendment. *Water Science and Technology*, v. 82, n. 12, p. 2937-2947. 2020. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.523>

LOPES, J.C.; SERRA, J.C.V. Adensamento mecânico e desidratação do lodo da eta-6 por filtro prensa. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, v. 13, n. 1, p. 126-132, 2016.

MINISTÉRIO PÚBLICO DE MINAS GERAIS (MP-MG). *Informações técnicas referentes aos danos ambientais decorrentes do lançamento de lodo in natura, pelas Estações de Tratamento de Água, no ambiente - Parecer Técnico*. Belo Horizonte: MP-MG, 2009.

MUISA, N.; NHAPI, I.; RUZIWA, W.; MANYUCHI, M.M. Utilization of alum sludge as adsorbent for phosphorus removal in municipal wastewater: a review. *Journal of Water Process Engineering*, v. 35, n. 2014, p. 101187, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101187>

PIZZI, N.G. *Water treatment plant residuals*. Guia de bolso. Denver, Colorado: American Water Works Association, 2010. 71 p.

RODRIGUES, L.P.; HOLANDA, J.N.F. Recycling of water treatment plant waste for production of soil-cement bricks. In: International Congress of Science and Technology of Metallurgy and Materials, SAM - CONAMET 2013. *Procedia Materials Science*, v. 8, p. 197-202, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.04.064>

SCALIZE, P.S. *Disposição de resíduos gerados em estações de tratamento de água em estações de tratamento de esgotos*. 2003. 171 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SIMPSON, A.; BURGESS, P.; COLEMAN, S.J. The management of potable water treatment sludge: present situation in the UK. *Water and Environment Journal*, v. 16, n. 4, p. 260-263, 2002. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2002.tb00413.x>

SOTERO-SANTOS, R.B.; ROCHA, O.; POVINELLI, J. Evaluation of water treatment sludges toxicity using the Daphnia bioassay. *Water Research*, v. 39, n. 16, p. 3909-3917, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.06.030>

SUNDEFELD JUNIOR, C.G. *Efeitos do recebimento do lodo da estação de tratamento de água pelo sistema de tratamento de esgoto por lodo ativado em bateladas e aeração prolongada do município de Juitiba - SP*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

TCHOUNWOU, P.B.; YEDJOU, C.G.; PATLOLLA, A.K.; SUTTON, D.J. Heavy metal toxicity and the environment. *EXS*, v. 101, p. 133-164, 2012. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6

TEIXEIRA, S.R.; SANTOS, G.T.A.; SOUZA, A.E.; ALESSIO, P.; SOUZA, S.A.; SOUZA, N.R. The effect of incorporation of a Brazilian water treatment plant sludge on the properties of ceramic materials. *Applied Clay Science*, v. 53, n. 4, p. 561-565, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2011.05.004>

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S. EPA); AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). *Management of water treatment plant residuals*. U.S. EPA/625/R-95/008. Cincinnati, USA: U.S.EPA, 1996. 306 p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S. EPA). *Drinking water treatment plant residuals management technical report: summary of residuals generation, treatment, and disposal at large community water systems*. EPA 820-R-11-003. Washington: U.S. EPA, 2011. 378 p.

WAGNER, L.F.; WIECHETECH, G.K.; SZÉLIGA, M.R. Evaluation of wastewater treatment plant with anaerobic reactor receiving sludge from water treatment plant actiflo®. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 24, n. 4, p. 709-717, 2019. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019145633>

WATER SERVICES REGULATION AUTHORITY (OFWAT). *Water 2020: our regulatory approach for water and wastewater services in England and Wales*. Birmingham: OFWAT, 2016. Disponível em: <https://www.ofwat.gov.uk/wp-content/uploads/2016/05/Water-2020-our-regulatory-approach-for-water-and-wastewater-services-in-England-and-Wales.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2023.

WOLFF, E.; SCHWABE, W.K.; CONCEICAO, S.V. Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics. *Journal of Cleaner Production*, v. 96, p. 282-289, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.018>