
Estimativa da produção de lodo nas ETAs da RMB: impactos e indicação de soluções viáveis e ambientalmente vantajosas

Estimation of sludge production in the RMB stages: impacts and indication viable and environmentally advantageous solutions

Maria de Jesus Barbosa Pereira da Silva

Graduada em Tecnologia de Saneamento Ambiental - IFPA. **Endereço:** Travessa Barão do Triunfo, 828. Sacramenta. CEP.: 66.083-100. Belém/PA. **E-mail:** mbarbosa35@gmail.com.

Joseane Roberta Moraes de Pina

Graduada em Tecnologia de Saneamento Ambiental – IFPA.

Letícia Souza dos Santos

Engenheira Ambiental e Sanitarista, COSANPA, Belém/PA.

Ilka Suely Dias Serra

Professora do Curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental, IFPA - *Campus* Belém. Mestra em Engenharia Civil Com Ênfase em Saneamento pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Márcia Valéria Porto de Oliveira Cunha

Professora do Curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental, IFPA - *Campus* Belém. Doutora em Geologia e Geoquímica pela Universidade Federal do Pará.

RESUMO

As ETAs que operam em ciclo completo produzem um determinado resíduo sólido conhecido como lodo, os quais podem vir a causar impactos ambientais negativos quando seu processamento não ocorre da maneira correta. O principal objetivo do trabalho foi estudar quais ETAs da RMB produzem lodo no seu funcionamento, além de indicar soluções economicamente viáveis e ambientalmente vantajosas para o reuso do respectivo resíduo. O estudo demonstrou que, conforme a especificidade do lodo, é possível aplicar diversas soluções ambientalmente e economicamente favoráveis para solução do problema da destinação final do lodo, tais como: o aproveitamento na agricultura como fertilizantes e na construção civil na produção de cerâmicas, levando-se em conta a produção de lodo das 3 ETAs estudadas que somam em média de 10.869,97 kg/dia.

Palavras-chave: Lodos de ETAs. Reaproveitamento. Impactos Ambientais.

ABSTRACT

ETAs that operate in a full cycle produce a certain solid waste known as sludge, which can cause negative environmental impacts when its processing is not carried out correctly. The main objective of the work was to study which RMB ETAs produce sludge during their operation, in addition to indicating economically viable and environmentally advantageous solutions for the reuse of the respective waste. The study demonstrated that, depending on the specificity of the sludge, it is possible to apply several environmentally and economically favorable solutions to solve the problem of final disposal of the sludge, such as: use in agriculture as fertilizers and in civil construction in the production of ceramics, leading to The sludge production of the 3 ETAs studied is taken into account, which totals an average of 10,869.97 kg/day.

Keywords: ETA sludge. Reuse. Environmental impacts.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional urbano, sobretudo nas grandes metrópoles, gera um aumento da demanda por água potável. Consequentemente há também o aumento da geração de resíduos nas estações de tratamento de água - ETA. Este resíduo – o lodo, é proveniente da remoção de sólidos e outros poluentes da água dos mananciais para a sua potabilização. O lodo se caracteriza como um passivo ambiental nas ETAs, nos casos em que esse lodo é lançado em corpos hídricos. Isto pode causar assoreamento e aumento da concentração de metais na água, dentre outros impactos. Somado a isso, aspectos legais reforçam a necessidade de repensar esta maneira de gerenciar o lodo, sob o ponto de vista de crime ambiental, visto que o lodo caracteriza um passivo ambiental da indústria do saneamento, como citado anteriormente por Libânio, em 2010:

Pode-se citar como impactos no corpo d'água que recebe o lodo de ETA como destino final o aumento da quantidade de sólidos, aumento de cor e turbidez, redução da penetração de luz e, consequentemente, diminuição da atividade fotossintética e concentração de oxigênio dissolvido, assoreamento, aumento da concentração de alumínio e ferro na água, dependendo do coagulante utilizado no tratamento da água bruta, entre outros (LIBÂNIO, 2010, p. 162).

Para que seja um produto de qualidade, a água pode ser submetida, normalmente, a diversos procedimentos técnicos de tratamento de água, que são processos e operações realizados

na água bruta para a obtenção de produto potável físico-químico e bacteriologicamente seguro para consumo humano (CUNHA, 2004). A operação de uma ETA para sua potabilização produz resíduos (lodo) durante o processo, que geralmente são produzidos nas unidades de decantação e filtração.

A disposição do lodo de ETA, no Brasil, é quase sempre realizada em um corpo hídrico (ANDREOLI, 2006). No entanto, essa prática precisa ser modificada, pois vai de encontro a Lei nº 9.605, Lei de Crimes Ambientais, causando transtornos e custos às companhias de saneamento, mas, sobretudo, provocando impactos negativos nos cursos d'água, inviabilizando a oferta de água à atual e futuras gerações, em quantidade e qualidade adequadas para a satisfação das necessidades humanas (MACHADO et al., 2002). Segundo o mesmo autor, a necessidade de dispor esses resíduos de modo econômico e ambientalmente seguro é um requisito moderno, já que estes dejetos são potencialmente poluentes, devido à presença em sua constituição, de impurezas removidas da água bruta durante o processo de tratamento e de compostos químicos, resultantes da adição de coagulantes e condicionantes.

Os gestores de ETAs devem preocupar-se, além da qualidade do seu produto final - água potável, com o gerenciamento do lodo, visando sua destinação final adequada sem risco de passivo ambiental (SMIDERLE, 2016). A disposição do lodo, de

acordo com a literatura, pode se dar de várias formas, entre elas: aterros sanitários, reaproveitamento industrial, na fabricação de material cerâmico, a produção de agregado leve para a construção civil, na produção de cimento, no reaproveitamento agrícola, na produção de fertilizantes orgânicos e compostagem e na recuperação de solos degradados.

O trabalho busca identificar e estimar a produção de lodo das três ETAs (ETA são Brás, ETA 5º Setor e ETA Bolonha). Que produzem o lodo na sua rotina de produção de água potável, relatar se existe tratamento de lodo em cada ETA, além dos impactos ambientais causados e, finalmente, indicar soluções economicamente viáveis e ambientalmente vantajosas para o reuso do lodo.

METODOLOGIA

Na primeira parte do trabalho foi feito um levantamento bibliográfico visando identificar soluções economicamente viáveis e ambientalmente vantajosas para o reuso do lodo, as principais características desse resíduo, estimar a produção de lodo em uma ETA e os tipos de tratamento. Posteriormente foi utilizado um questionário para levantar dados sobre o funcionamento da ETA e, através deste, quantificar o lodo produzido em cada ETA da RMB.

DEFINIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO

Foram selecionadas três ETAs Convencionais na RMB que produzem lodo na sua operação. Na Figura 1 estão marcados os locais alvo de estudo e suas localizações geográficas dentro da RMB.



Figura. Localização geográfica das ETAs na RMB.

Fonte: Google Earth (2020).

QUESTIONÁRIO

Foi elaborado questionário com a finalidade de obter as informações de processo e aspectos gerais de cada ETA, bem como sobre a geração de lodo e sua destinação final. No Apêndice consta o questionário enviado a Concessionária de Água da RMB.

REFERENCIAL TEÓRICO

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DO TIPO CONVENCIONAL

Referências na literatura mostram que a maior parte dos mananciais do Brasil, que servem de abastecimento público, é realizado o tratamento convencional.

As estações de tratamento de água (ETA) convencionais são compostas pelas seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação, filtração, cloração, fluoretação e correção do pH, conforme Figura 2.

Esses processos visam, de modo geral, a remover sólidos suspensos e dissolvidos na água, além da inativação de microrganismos.

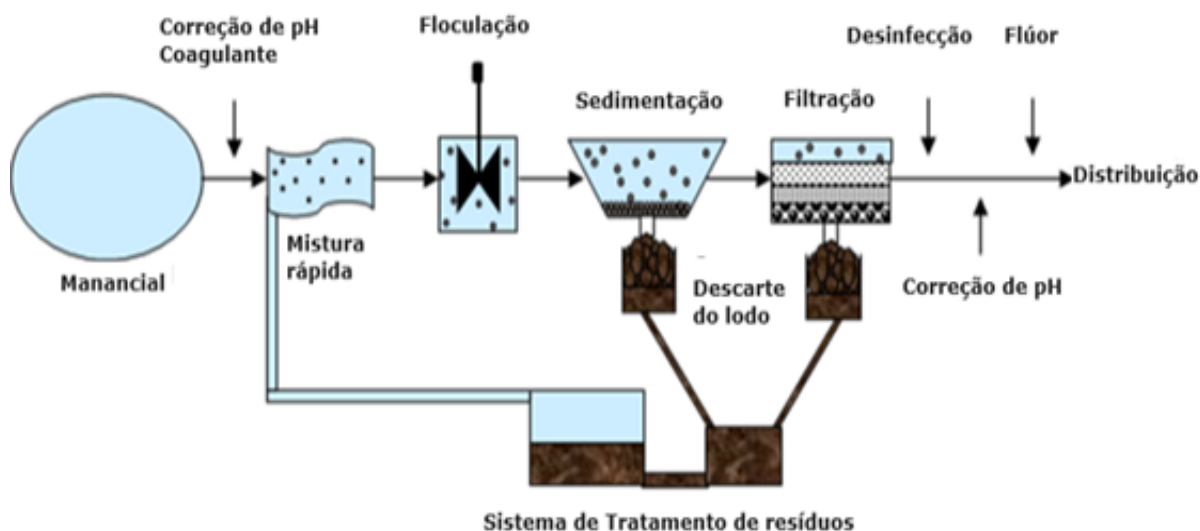


Figura 2. Estação de tratamento de água convencional.

Fonte: Cunha, 2004.

Todo esse processo de potabilidade da água se enquadra ao padrão que foi publicado pelo Ministério da Saúde em 07/05/2021, a Portaria Nº 888, a qual define os padrões de potabilidade de água para consumo humano. Esta legislação substituiu os padrões de Potabilidade definidos no

anexo XX da Portaria de Consolidação Nº 05 de 2017. A Portaria Nº 888 fornece as instruções “sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade” (BRASIL, 2021).

Tendo em vista a aprovação da Lei nº 14.026/2020, a qual atualizou

o marco legal do saneamento básico, trouxe mudanças na relação regulatória entre a ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico e o setor de saneamento, posto que a ANA passará a editar normas de referência. Estas regras, que possuem caráter geral, deverão ser levadas em consideração pelas agências reguladoras de saneamento infranacionais (municipais, intermunicipais, distrital e estaduais) em sua atuação regulatória.

Segundo a Lei nº 14.026/2020, a ANA terá o papel de emitir normas de referência sobre: padrões de potabilidade, regulação tarifária dos serviços etc.

O novo marco legal do saneamento define também que a ANA passará a emitir normas de referência relacionadas ao manejo de resíduos sólidos e à drenagem de águas pluviais em cidades. As duas atividades integram o saneamento básico, assim como o abastecimento de água, a coleta e o tratamento de esgotos, pois a água é uma só.

DEFINIÇÃO DE LODO E COMPOSIÇÃO DE LODO DE ETA

Define-se como lodo de ETA os resíduos gerados a partir das impurezas retiradas durante o tratamento da água bruta captada, que, caso consumida in natura, podem causar patologias a saúde humana. Segundo Silva e Isaac (2002), “pode se apresentar em estado líquido ao ser agitado e em estado gel quando em descanso, sendo caracterizado como um fluido

não-newtoniano, de grande volume e tixotrópico, ou seja, apresentando alterações em sua viscosidade”.

Lodos de ETAs são os resíduos gerados nas descargas de decantadores, flotadores, na lavagem de filtros, no abrandamento e na remoção de ferro e manganês na água bruta (ASCE, 1996). Segundo Cornwell e colaboradores (1987), os resíduos gerados nas lavagens dos filtros e descarga nos decantadores são mais representativos nas ETAs.

Segundo Grandin *et al.*, (1993), este resíduo é constituído, basicamente, de resíduos sólidos de natureza orgânica e inorgânica provenientes da água bruta, tais como: algas, bactérias, vírus, partículas orgânicas em suspensão, coloides, areias, argilas, siltes, cálcio, magnésio, ferro e manganês. Além dos elementos provenientes da água bruta, também formarão o lodo de ETA os floculantes, hidróxidos de alumínio e ferro (em grande quantidade) e polímeros condicionantes (em alguns casos) também utilizados no processo de potabilização da água (SILVA *et al.*, 2000).

De acordo com Cornwell (2006); DI Bernardo e Dantas (2005),

(...) a quantidade de lodo formado dependerá da qualidade da água bruta captada, que irá interagir com os produtos adicionados durante o tratamento, resultando em resíduos de massas e volumes diferentes. Além disso também dependerá dos objetivos do tratamento na remoção de impurezas, turbidez e dureza da água (CORNWELL, 2006; DI BERNARDO; DANTAS, 2005, v. 11, p. 107, 2006).

LEGISLAÇÃO PERTINENTE

A preocupação com o descarte correto do lodo de ETA teve início na década de 90, com o surgimento da Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) estabelecida pela Lei nº 9.433 (BRASIL, 1997) e com a Lei de Crimes Ambientais nº 9.605 (BRASIL, 1997), em que é considerado crime ambiental o lançamento de lodo proveniente de ETA in natura (SILVEIRA, 2012).

A NBR 10.004 (ABNT, 2004) define resíduo de ETA como resíduo sólido, portanto deve ser classificado quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública e seguir toda a legislação referente a resíduo sólido. Em geral, o resíduo de ETA não apresenta característica de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade. Guimarães (2007) infere, então, que essa característica também seja desprezada para os resíduos de ETA, pois com o tratamento o resíduo é estabilizado. Por outro lado, eles apresentam propriedades de combustibilidade, biodegradabilidade e solubilidade em água, caracterizando-os como resíduos não inertes (GUIMARÃES, 2007). Portanto, o lodo é classificado como resíduo sólido Classe IIA – não inertes.

A Lei 12.305/2010 define resíduos e rejeitos, sendo o primeiro passível de ser reutilizado e reciclado. O lodo de ETA se enquadra como resíduos sólidos e, portanto, precisa ser gerenciado de tal forma a garantir as premissas da PNRS (Lei 12.305/2010). A Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010, instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que dispõe diretrizes relativas

à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos. Também identifica as responsabilidades dos geradores de resíduos e do poder público. Foi regulamentada pelo Decreto 7.404, de 23 de dezembro de 2010, que também criou o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa. Os principais objetivos dessa lei são:

I. Proteção da saúde pública e da qualidade ambiental estimulando padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços com desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas;

II. Não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;

III. Gestão integrada dos resíduos sólidos que busca compartilhar a responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos, envolvendo todos da cadeia de comercialização, como fabricantes, distribuidores, consumidores e órgãos públicos;

IV. Incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;

V. Incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético.

A Resolução CONAMA 357/2005, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Em seu artigo 2º, inciso IV, preconiza as condições de lançamento como "condições e padrões de emissão adotados para o controle de lançamentos de efluentes no corpo receptor", sendo de extrema importância que sejam seguidas as recomendações para a aplicação do lodo e que sempre se realize a correção da acidez do solo para o controle da disponibilidade de metais pesados presentes em sua composição química.

TRATAMENTO DE LODO DE ETA

A ETA é parte fundamental do sistema de abastecimento de água para a população. O sistema convencional ou completo é o mais utilizado, com a remoção de partículas finas em suspensão e em solução presentes na água bruta através do emprego de coagulantes. Geralmente, utilizam-se sais de ferro ou de alumínio, que formam flocos pelos hidróxidos insolúveis, e que são removidos nos decantadores e, uma menor parcela, nos filtros.

Em sua saída da ETA, o lodo está constituído por quase 90% de água e possui composição variada, de acordo com a região onde ela está localizada, com o mês de coleta e com o coagulante usado (RICHTER, 2001). Justifica-se esse fato devido os rejeitos de ETA serem compostos, essencialmente, por partículas do solo (que conferem cor e turbidez à água – os colóides); por material orgânico encontrados na

água bruta; por subprodutos gerados pela adição de produtos químicos no processo de purificação e água (na água superficial normalmente estão presentes metais, como: alumínio, ferro e outros carregados pelo escoamento superficial).

O tratamento do lodo das ETAs, basicamente, envolve os processos de adensamento, desaguamento, estabilização e higienização. O adensamento e o desaguamento visam o aumento da concentração de sólidos e a redução do volume de lodo que se dá perante a retirada de água do mesmo. O lodo que vem de decantadores varia numa faixa de 60 a 95% da quantia total de lodo gerado, em quantidade de sólidos, enquanto a água de lavagem dos filtros varia de 5 a 40% (YUZHU, 1996), sendo que essa quantia total depende da qualidade da água bruta, do tipo e dosagem do coagulante, do projeto das unidades da ETA e da eficiência da operação.

Esses resíduos gerados nas estações possuem elevada umidade e para se trabalhar com eles é necessária a redução de seu volume para facilitar sua disposição diminuindo custos com transportes, com a disposição final e, com isso, os riscos de poluição do meio ambiente. As fases do tratamento do lodo podem ser assim apresentadas:

1. Espessamento de lodo de ETAs: Esta é a primeira etapa de remoção da água de lodo de ETAs. Os tipos mais comuns são os espessadores por: a) gravidade (sedimentadores), sendo o mais antigo e disseminado, onde as unidades podem ser alimentadas continuamente ou por

batelada dependendo da ETA e das particularidades operacionais dos decantadores e b) por flotação (flotação por ar dissolvido), utilizados tanto em ETAs como em lodo de ETEs.

2. Desidratação do lodo: A definição do tipo de sistema de desidratação a ser utilizado depende de vários fatores, podendo ser citados: área necessária para implantação, custo da área, distância da estação até o destino final, condições climáticas, custo de equipamentos, simplicidade de operação, necessidade de condicionamento químico, preparo de recursos humanos para operação, entre outros. Vários são os métodos para remoção de água podemos citar: Sistemas mecânicos: Centrífugas, filtros-prensa e prensa desaguadora; Sistemas naturais: leitos de secagem, lagoas de lodo.

3. A estabilização do lodo tem por finalidade reduzir a quantidade de patógenos, eliminar os maus odores e inibir, reduzir ou eliminar o potencial de putrefação. Na estabilização são adicionados ao lodo produtos que podem inibir a atividade biológica ou oxidar a matéria orgânica. O tratamento químico mais utilizado é a via alcalina, em que uma base, normalmente a cal, é misturada ao lodo, elevando seu pH e destruindo a maior parte dos microrganismos patogênicos;

4. A higienização busca garantir um nível de patogenicidade do lodo que, ao ser disposto no solo, não cause riscos à população e ao meio ambiente. Somente após este processo o lodo estará pronto para ser transportado. O tempo para conclusão da higienização depende do

tipo de processo adotado pela unidade de gerenciamento e de sua eficiência, variando de zero, na secagem térmica, a 30/60 dias na calefação.



Figura 3. Filtro da ETA 5º Setor



Figura 4. Filtro da ETA 5º Setor

APROVEITAMENTO/DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO DE ETA

Estima-se que normalmente ocorre uma maior produção de lodo nas ETA no chamado “inverno amazônico” que é o período chuvoso entre os meses de novembro a março, onde há a piora a qualidade da água dos mananciais da RMB, onde a cor e a turbidez são alteradas e, com isso, há a necessidade da utilização de maior quantidade de produtos químicos para a potabilização dela.

Até o momento, na RMB, o destino mais comum para os resíduos das ETAs são os cursos d’água, ainda

que seja considerado um resíduo sólido. São esses fatores que motivam pesquisas que visam atenuar os problemas causados pelo seu descarte incorreto no meio ambiente.

Uma das soluções viáveis, após os estudos realizados é que se deve rever os procedimentos para remoção do lodo dos decantadores, a fim de se minimizar os desperdícios de água durante essa operação, sendo recomendado a realização de estudos para reduzir o período entre duas remoções consecutivas de lodo, ou ainda, a possibilidade de se poder realizar descargas intermediárias de lodo de fundo, com a finalidade de se manter ou aumentar o período entre as operações de limpeza.

Existe a viabilidade econômica do uso desta quantidade de lodo produzida como insumo agrícola, fertilizante ou mesmo na construção civil. Estes são os destinos que são propostos como possíveis soluções viáveis para o aproveitamento do lodo produzido nas ETAs da RMB. Será traçado uma análise deste reuso, iniciando com o uso na agricultura e, posteriormente, como insumo na fabricação de cerâmica, ou tijolos, a serem utilizadas na construção civil. Então, neste sentido, o presente trabalho apresenta uma proposta alternativa de disposição final do lodo gerado nas ETAs da RMB, como veremos no decorrer do trabalho.

VIABILIDADE DE REUSO DO LODO

Segundo a literatura, atualmente

há várias pesquisas para a utilização benéfica dos lodos geradas da ETA, o qual deixou de se conceituado como um “resíduo”, logo sendo conceituado como um produto para beneficiamento, tornando-se assim, a possibilidade da realização de vários estudos, com um diagnóstico mais amplo, buscando uma visão da melhor forma de beneficiamento e viabilidade econômica, e ambientalmente sustentável.

Entretanto, para (SILVA, 2011), “é necessário um tratamento prévio do lodo antes de um possível aproveitamento em processos produtivos”. Inicialmente é necessário realizar o método de adensamento, que consiste na produção de uma torta concentrada de sólidos. Pode ser feito por gravidade, flotação com ar dissolvido ou adensadores mecânicos por tela. Após o adensamento é realizada a desidratação do lodo, onde temos as fases de drenagem, evaporação e transpiração, que dependem do clima, da permeabilidade do solo, das características do lodo, da profundidade da lagoa, da área superficial, entre outros.

O resíduo gerado nas ETAs Bolonha, São Brás e 5º Setor consistem, basicamente, do lodo gerado nestas etapas do tratamento, oriundo principalmente da limpeza dos decantadores e lavagem dos filtros. A caracterização dos resíduos gerados nessas ETAs, assim como sua quantidade, é de grande importância nesse estudo principalmente devido a possíveis impactos ambientais

destes ao meio ambiente, bem como na definição de uma disposição final adequada. De acordo, com o Relatório da Cosanpa (2020), o primeiro projeto de grande porte desenvolvido na RMB para tratamento de resíduos de ETAs, se aplicará em uma UTR, a ser implantada na área denominada Complexo Produtor do Bolonha.

ESTIMATIVA GERAÇÃO DE LODO DAS ETAS DA RMB

Segundo (DI BERNARDO & DANTAS, 2006) a quantidade total de sólidos gerado quando ocorre o processo de coagulação, utilizando o produto sulfato de alumínio é dada pelas Equações 1 e 2.

$$PSS = Q \cdot (4,89 \cdot DAL + SST + DP + D_{CAP} + 0,1 \cdot D_{CAL}) \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

$$PSS = Q \cdot (0,44 \cdot D_{sAL} + SST + DP + D_{CAP} + 0,1 \cdot D_{CAL}) \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

Em que:

PSS: Produção de SST (Kg/dia);

Q: Vazão de água bruta a ser tratada (m³/d);

DAL: Dosagem de sulfato de alumínio (mg Al/L);

SST: concentração de sólidos suspensos totais gerados na ETA (mg/L);

DsAL: Dosagem de sulfato de alumínio com 17,17% de Al₂O₃ (mg Sal/L);

DP: Dosagem Polímero Seco (mg/L);

DCAP: Dosagem de carvão ativado em pó (mg/L);

DCAL: Dosagem de cal hidratada

(mg/L).

O coeficiente presente na **Equação 1**, correspondente a 4,89, refere-se, segundo o autor, a relação molar entre a massa molecular do precipitado Al(OH)₃ x 3H₂O (132 g) e a massa molar do Al (27 g). Com isso temos (132/27), o que significa que 1 mg/L de alumínio produzirá 4,89 mg/L.

Segundo a Ficha de Segurança de Produtos Químicos (FISQP) do produto utilizado nas ETAS para coagulação, o sulfato de alumínio possui 8% de Al₂O₃ (alumina). Sendo assim a equação que deve ser utilizada é a **Equação 2**, fazendo o ajuste de acordo com a concentração de alumina no produto, e retirando as variáveis referentes a produtos que não estão sendo utilizados no tratamento, como o polímero (Dp), carvão ativado (Dcap) e cal hidratada (Dcal). A equação que deve ser utilizada para estimativa da geração de resíduos na Eta está representada pela **equação 3**.

$$PSS = Q \cdot (0,39 \cdot D_{sAL} + SST) \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

O coeficiente 0,39 foi calculado a partir do produto entre o coeficiente 4,89, apresentado na **Equação 1**, e o valor da concentração de Al₂O₃ do sulfato de alumínio utilizado (8%), sendo assim temos, (0,08*4,89).

A dosagem de sulfato de alumínio no período analisado variou de 15 a 27 PPM nas ETAs e para a obtenção do valor de SST foi utilizada a equação que relaciona turbidez a SST conforme presente na **Equação 4**.

$$SST = a \times Tu \quad (4)$$

Em que:

SST: concentração de sólidos suspensos totais gerados na ETA (mg/L);

Tu: Turbidez (uT);

a: coeficiente a ser determinado experimentalmente.

Conforme os autores DI BERNARDO & DANTAS, 2006, para água com baixa cor verdadeira, o valor do coeficiente “a” pode variar de 0,7 a 2,2. Os valores de cor da água bruta do lago Bolonha variaram de 26,6 a 89,8 UC entre os anos de 2021 a 2023, enquanto que a variação de turbidez nesse mesmo período foi de 1,76 a 16,8 NTU. Durante a realização da pesquisa a cor e turbidez da água bruta apresentavam os valores de 50 UC e 7,6 NTU, respectivamente. Considerando o coeficiente “a” no valor de 2 para estimar o valor de SST, têm-se o valor obtido como o dobro da turbidez para essa análise. Na **Tabela 1** estão representadas as variáveis utilizadas na composição da **Equação 3**.

REUSO NA AGRICULTURA

Em relação ao reuso de lodo na Agricultura, estudos mostram que o lodo das ETAs, assim como o lodo das ETEs, contém nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento de plantas, sendo que o lodo proveniente das ETAs tem menor concentração de fatores patogênicos em comparação aos provindos das ETEs.

Assim, seu aproveitamento na Agricultura se mostra promissor e de certa eficácia, porém, são necessários estudos corroborando e avaliando os efeitos do mesmo tanto no solo como nas culturas e também estudos sobre os efeitos na fertilidade do solo, pois, de acordo com AWWA (American Water Works Association), plataforma que tem como objetivo a preservação de nossa floresta e recursos naturais por meio da conscientização de toda sociedade (1995), o lodo de ETA possui uma característica mais análoga aos solos do que se comparado com o lodo de ETE, fazendo com que o Nitrogênio e o Carbono orgânico no lodo de ETA sejam mais estáveis, menos reativos e concentrados

Tabela 1. Quantidade de lodo nas ETAs estudadas (2023).

ETAs	Q (m³/dia)	DsAl (mg/L)	SST (mg/L)	PSS (Kg/dia)
Bolonha	377.160	15	15,2	7939,21
5º Setor	48.096	27	15,2	1237,51
São Brás	70.056	23	15,2	1693,25

Na agricultura, o lodo de ETA não é reconhecido como matéria prima na fabricação de fertilizantes orgânicos

ou uma classe que o encaixe na classificação da instrução normativa nº 25, de 23 de julho de 2009 da

EMBRAPA, que descreve quais “os fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos e organominerais de acordo com as matérias primas utilizadas em sua produção”. Vale ressaltar que a classe “D” desta instrução normativa classifica os fertilizantes orgânicos que utilizam qualquer quantidade de matéria prima oriunda de tratamento de dejetos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura, permitindo o uso de lodo de ETE como matéria prima para fertilizantes. Para o reconhecimento do lodo das ETAs como tal, são necessários estudos sobre suas propriedades e como o uso dele contribui para o desenvolvimento de plantas. Estes estudos estão sendo desenvolvidos em várias estações científicas.

Como resultado destes estudos, pesquisadores da área agrícola indicam que o Nitrogênio (N) é, habitualmente, o mais precioso constituinte do lodo, por ser o elemento do qual as culturas agrícolas necessitam em maior quantidade, mas, quando aplicado em concentrações acima da capacidade de absorção destas, pode lixiviar (carrear nutrientes do solo) na forma de nitratos e contaminar o lençol freático. Sendo mais estável e em menor quantidade, o N presente no lodo das ETAs apresentam menor potencial de lixiviação.

SILVA (2005), ao utilizar lodo de ETA em estudos de recuperação de área degradada devido a exploração de Cassiterita (minério de estanho), verificou aumento do pH do solo e dos teores de Cálcio (Ca) e Ferro (Fe). O autor descreve que o uso do lodo de

ETA como fertilizante pode ser viável porque contém determinados nutrientes às plantas, como o próprio Fe e Ca além de outros, que seriam o enxofre (S), magnésio (Mg), cobre (Cu) e manganês (Mn). Análogo a esse estudo, TEIXEIRA et al. (2005) em estudo sobre aplicação de lodo de ETA em solo desgastado, concluiu que este pode ser disposto em áreas degradadas, visto que eleva os teores de macronutrientes e o valor de pH do solo, porém, completou que, em altas doses podem causar a salinidade do solo, mas que pode ser corrigida pelo monitoramento da quantidade aplicada. “O lodo de ETA pode ser usado como fertilizante, aplicando-o nos solos, contanto que o alumínio apareça em concentração acumulada menor do que 25%” (SABAGG, 2004)

Em conformidade com o exposto acima, podemos inferir que a utilização do lodo de ETAs na agricultura é bastante promissor e, em termos de gestão governamental, pode se apresentar com custos baixos e resultados satisfatórios. Apesar desta assertiva, atualmente, no Brasil, há poucos estudos sobre o efeito do lodo de ETA na agricultura, fazendo com que o mesmo não seja reconhecido como matéria prima para fabricação de fertilizantes ou como condicionador de solo.

REUSO DO LODO NA FABRICAÇÃO DE CERÂMICA

Considerando que o volume de lodos gerados nas ETAs é ininterrupto e os desafios para a correta destinação

final, bem como o reuso deste material são permanentes, é praticável analisar seu aproveitamento na fabricação de cerâmica, ou de tijolos para a utilização na construção civil e sua viabilidade econômica.

Assim, estudos conduzidos por Paixão (2005), revelaram que com a adição do lodo na mistura de argila, “os corpos cerâmicos produzidos exibiam alterações nas propriedades mecânicas em relação aos corpos produzidos somente com argilas puras”. O autor destaca ainda que, “as partículas de lodo atuaram como inclusões amorfas na massa argilosa até 1000° C, o que influenciou a fratura do corpo cerâmico, diminuindo assim a resistência”. Paixão (2005). No entanto, afirma o autor que foi possível incorporar até o limite de 10% de lodo como matéria-prima na fabricação da cerâmica, garantido as propriedades requeridas para a cerâmica vermelha na construção civil.

Em outros estudos, vamos encontrar Ramires et al. (2005), que mostraram que blocos cerâmicos fabricados com adição de 2% de lodo, da região de São Leopoldo – RS, apresentaram resultados em conformidade com as normas vigentes para este tipo de material. Aqueles autores observaram ainda um acréscimo na resistência à compressão dos blocos conformados com 2% de lodo. Já Andrade (2005), avaliou a possibilidade da adição de lodo da ETA Cubatão na argila para fabricação de bloco cerâmico nas proporções de 1:4; 1:5; 1:8 e 1:10. Com os ensaios, concluiu-se que a incorporação de

7% em massa de lodo não alterou consideravelmente as características de esquadro, absorção de água e de resistência dos blocos.

Os resultados dos experimentos realizados com os tijolos cerâmicos confeccionados a partir da incorporação do lodo de ETA, permitiram concluir que este tipo de lodo pode ser reciclado no processo de fabricação de tijolos cerâmicos. Entretanto, a sua incorporação deve ser feita em até 10% a fim de evitar danos durante o processamento e na qualidade final do tijolo produzido. Este é o experimento feito em pequena escala em Laboratórios de Pesquisa. A retração linear da massa cerâmica diminui com o incremento de lodo, no entanto, adições superiores a 10% em peso de lodo de ETA, aumenta ligeiramente a absorção de água e diminui a resistência mecânica à compressão.

Dispondo dos resultados obtidos, futuros trabalhos podem ser realizados a fim abordar a viabilidade da aplicação desta técnica em escala real. Acredita-se, porém, ser viável a aplicação, mas esbarra nos poucos estudos e experimentos nesta área, além dos custos extras que poderão advir da implantação de projetos científicos voltados a esta pesquisa, pois o experimento de maiores, ou menores proporções de adição de lodo às misturas de argila para fabricação de cerâmica iria demandar tempo, elevadas verbas públicas, ou iniciativa privada e mão-de-obra especializada. Então, economicamente se tornaria quase inviável, principalmente quando

se fala de gestão local e a dificuldade de captação de recursos nesta área de produção científica.

REUSO DO LODO NA PRODUÇÃO DE MATERIAIS CIMENTÍCIOS

Diante das pesquisas sobre a utilização de lodo em materiais cimentícios, estudos mostram que o lodo adicionado a esses materiais tem função de calcinação, mistura de moagem, redução de poluição lançada aos corpos d'água, redução da vegetação suprida na atividade de extração da argila, além de diminuir a utilização dos demais materiais, como a argila e o xisto.

Para a utilização do lodo na produção de materiais cimentícios é necessário que o preparo seja seco ou moído, pois ele precisa ter uma granulação adequada para ser misturado com os outros materiais que também deverão estar com uma granulação adequada.

Os resultados preliminares permitiram aferir que as adições de lodo com melhor desempenho localizavam-se na faixa de adição entre 1% e 5% de lodo seco em relação ao agregado miúdo. Em relação aos valores obtidos com o concreto referência, utilizando agregados naturais (areia e brita 1), o concreto com adição de 3% do lodo (em relação à massa do agregado miúdo) apresentou uma redução insignificante dos valores aos 7 e 28 dias de cura. Por isso, em termos de resistência mecânica, a adição de 3% de lodo em relação ao agregado miúdo natural possibilita a obtenção de concretos com características mecânicas similares às do concreto usual (MEGDA, 2005, p. 6).

Como o lodo das ETAs possuem alta concentração de matéria orgânica, esta característica vem a comprometer a qualidade do produto final, ou até mesmo inviabilizar o uso para tal finalidade, como refere Megda (2005).

Os lodos de ETAs que utilizam coagulantes durante o processo de tratamento, normalmente contêm outros elementos orgânicos que são adicionados durante o processo de fabricação do cimento, e por isso, o lodo é introduzido no processo de fabricação do cimento na fase de pré homogeneização das matérias primas. O teor de sólidos necessário para esta aplicação é de no mínimo 50%, valores menores comprometem a qualidade do cimento (MEGDA, 2005, p. 6)

CONCLUSÃO

Considerando a enorme quantidade de resíduos provenientes do tratamento de águas nas ETAs na região metropolitana de Belém e o excedente despejado no meio ambiente, é importante a continuação e disseminação do conhecimento sobre a utilização do lodo gerado, cujo objetivo é buscar alternativas de aplicabilidade e interação deste resíduo na fabricação de cerâmicas, na produção de materiais cimentícios e na agricultura, principalmente. Neste trabalho foram analisadas alternativas de destinação final para os lodos produzidos em ETAs e estudada a viabilidade econômica e ambientalmente vantajosas, destas opções destacadas no trabalho, como destino para o lodo das ETAs da RMB.

Vale destacar que a COSANPA está implantando uma UTR na área do Bolonha, resultado de adequação dos resíduos gerados nas ETAs a

legislação vigente no Brasil. A partir do funcionamento da UTR, propõem-se a realização de novos estudos para se definir a caracterização desse lodo e ao melhor destino do mesmo.

REFERÊNCIAS

ACHON, C. L. **Ecoeficiência de Sistemas de Tratamento de Água a Luz dos Conceito da ISO 14.001**. Dissertação de doutorado USP – 2008.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil**. Caderno de Recursos Hídricos, Brasília, SPR. 2006.

ANDRADE, P. DE S. **Avaliação do impacto ambiental da utilização de resíduos de estações de tratamento de água em indústrias de cerâmica vermelha: Estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, 2005.

ANDREOLI, C. V. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

ANDREOLI, C. V. **Alternativas de uso de resíduo do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. Projeto PROSAB.

BRASIL. **Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997**. Brasília: Diário Oficial da União, 1997.

BRASIL. **Lei 9.605 de 13 de fevereiro de 1998**. Brasília: Diário Oficial da União, 1998.

BRASIL. Leis et al. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Diário Oficial da União, 2010.

CORNWELL, D.A. **Water treatment residuals engineering**. Denver: AWWA Research Foundation and American Water Works Association, 2006.

COSANPA. **Relatório de Informações Gerenciais 2013**. Belém, 2013.

COSANPA. **Relatório de Informações Gerenciais 2020**. Belém, 2020.

DANTAS, E. **Entrevista realizada pessoalmente em julho de 2016**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2016.

DIAS, Genebaldo Freire. **Mudança climática e você: cenários, desafios, governança, oportunidades, cinismos e maluquices**. São Paulo: Gaia, 2014.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.

Métodos e Técnicas de tratamento de água de Campos dos Goytacazes em corpos cimentícios para uso em tijolo solo- Tratamento de Água. 2. ed. São Carlos: RiMa Editora, v. 2. 1584 p, 2005

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 11, p. 107-107, 2006.

DIBERNARDO, L.; PAZ, L. P. S. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água.** São Carlos: LDiBe Editora, v. II, 2008.

GRANDIN, S. R.; ALEM SOBRINHO, P.; GARCIA JR., A. D. **Desidratação de Lodos Produzidos em Estações de Tratamento de Água.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17., 1993, Natal. Anais... Natal: ABES, 1993. v. 2, p. 324-341.

GUIMARÃES, G. C. **Estudo do adensamento e desidratação dos resíduos gerados na ETA- Brasília.** Brasília: [s.n.], 2007. Dissertação (mestrado), Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília.

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

MACHADO, L. C. G. T.; PEREIRA, J. A. R.; PONTE, M. X.; LOPES, L. de N. **Caracterização do Lodo Gerado nos Decantadores da ETA Bolonha.** In: VI SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2002, Anais

MEGDA, Cláudia Regina. **Propostas de Aproveitamento de Lodos Gerados em ETAs.** São Carlos: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

RICHTER, C. A. **Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água,** Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 2001.

SABAGG, M. G., MORITA, D. M. **Incorporação de lodo de estações de tratamento de água em blocos cerâmicos.** Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004. SILVEIRA, C. Desaguamento de lodo de estações de tratamento de águas por leito de drenagem / secagem com manta geotêxtil. Dissertação (Mestrado) –Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012. 136 p

SANEPAR. **Sistema Corporativo de Controle Industrial.** Foz do Iguaçu, PR. 2014.

SILVA, E. T.; MELO, W.J.; TEIXEIRA, S.T. **Chemical attributes of a degraded soil after application of**

water treatment sludges. Scientia Agricola, Piracicaba, 2005, vol.62, n.6, pp. 559-563.

SILVA JR., A. P. da. ISAAC, R. de L.
Adensamento por Gravidade de Lodo de ETA Gerado em Decantador Convencional e Decantador Laminar.
In: CONGRESSO INTERAMERICANO

SMIDERLE, Juliana Jerônimo, **Estudo de Viabilidade para Destinação Final do Lodo da ETA Laranjal/RJ - UFRJ/Escola Politécnica**, 2016.

SILVEIRA, C. **Desaguamento de lodo de estações de tratamento de águas por leito de drenagem/secagem com manta geotêxtil.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012. 136 p.

TEIXEIRA, S. T.; MELO, W.J.; SILVA, E.T. (2005) **Aplicação de lodo da estação de tratamento de água em solo degradado.**

YUZHU, W. **Condicionamento de lodo de estação de tratamento de água: estudo de caso.** Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 1996