

LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (LETA): RESÍDUO OU INSUMO?

Gabriela Santos de Paiva, Viviane Teles Goulart Moreira, Alexandra Fátima Saraiva Soares (*)

* Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix. Ministério Público do Estado de Minas Gerais. E-mail: alexandra.soares@izabelahendrix.edu.br

RESUMO

Um dos problemas enfrentados pelas indústrias modernas é a busca pela redução de resíduos gerados nos processos produtivos. O maior desafio da indústria de água potável está na disposição final do lodo sob os pontos de vista técnico, ambiental e econômico. No Brasil, o lodo gerado na indústria de potabilização da água é enquadrado como resíduo sólido pela NBR 10.004/2004, portanto, não deve ser lançado nos corpos d'água sem prévio tratamento. Diante dessa preocupação com a disposição do Lodo de Estações de Tratamento (LETA), estudos têm sido conduzidos para avaliar a aplicação e/ou reaproveitamento (reuso) desse resíduo. Diante disso, esta pesquisa buscou identificar alternativas viáveis para disposição final ou reuso do LETA, transformando-os em insumo para outros processos industriais. Constatou-se que a forma de disposição do LETA mais contemplada nos estudos apresentados foi aplicação na construção civil (incorporação em materiais como cerâmica), sendo que a escolha da solução mais adequada ao caso concreto deverá ser realizada após sua caracterização.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de ETA, reuso, estação de tratamento de água, resíduo sólido industrial, tratamento de água.

INTRODUÇÃO

A pressão antrópica devido ao desenvolvimento das atividades econômicas, ao crescimento exponencial da população urbana e precária prestação dos serviços de saneamento, por exemplo, vem ocasionando danos aos recursos hídricos. Em virtude disso, a qualidade da água está cada vez mais degradada, exigindo maior quantidade de produtos químicos para promover sua potabilização.

Dessa forma, são utilizados diversos processos de tratamento que, mediante a introdução de produtos químicos como os coagulantes, transformam a água bruta, normalmente inadequada nas condições naturais, em água potável. O tratamento adéqua a qualidade da água aos padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011. O processo da indústria de produção de água potável gera como efluente o subproduto denominado “Lodo de ETA ou LETA”, que apresenta potencial para degradar a qualidade da água (SARAIVA SOARES *et al.*, 2009).

Os Estados Unidos estabeleceram que essas estações de tratamento de água para abastecimento são classificadas como indústrias e, portanto, devem ter seus resíduos tratados e dispostos convenientemente (CORDEIRO, 2001). Esse também é o entendimento do Ministério Público de Minas Gerais, que considera as estações de tratamento de água – ETAs como indústrias e, dessa forma, devem atender aos padrões de lançamento exigidos na legislação como qualquer outro empreendimento.

Ademais, o LETA é classificado pela ABNT (2004) como resíduo sólido, havendo, portanto, a necessidade de sua disposição adequada.

Sabe-se que um dos problemas enfrentados pelas indústrias modernas está na redução da geração de resíduos, seu reaproveitamento e destinação adequada, tendo em vista a legislação vigente que regula atividades com potencial poluidor (PAIVA; PARREIRA, 2012). Baseando-se em tal premissa, o maior desafio da indústria de produção de água potável está na disposição final do LETA sob os pontos de vista técnico, ambiental e econômico (JANUÁRIO; FERREIRA FILHO, 2007).

Existem diversos estudos referentes às alternativas de disposição e/ou reaproveitamento desses resíduos, tais como: insumo na agricultura (condicionador do solo), disposição em aterro sanitário, incineração, uso na fabricação de cerâmica, recuperação de área degradada e recuperação do coagulante. No entanto, ainda existem lacunas sobre a melhor maneira de dispor esses resíduos, de forma a causar menor impacto ambiental devido à variação das características do lodo gerado (CORNWELL, 1999; BIDONE *et al.*, 2001; RICHTER 2001; DI BERNARDO E DANTAS, 2005).

Assim, o trabalho objetiva levantar alternativas viáveis para disposição final ou reuso do LETA, transformando-os em insumos.

METODOLOGIA

No período de agosto de 2014 a março de 2015, foram coletados materiais bibliográficos que relatavam sobre a funcionalidade dos coagulantes tradicionais e alternativos, além de buscar instrumentos literários em que fossem correlacionados os impactos da eficiência no processo de coagulação na produção do lodo de ETAs (LETAs). Foram realizadas pesquisas na Biblioteca do Centro Universitário Izabela Hendrix e em plataformas digitais de dados do Scielo (Scientific Electronic Library Online), Google Acadêmico e Portal da Capes.

Para busca, selecionaram-se os descritivos: coagulantes para tratamento de água, lodo produzido em ETAs, impactos ocasionados pelo lodo de ETA.

Os parâmetros para seleção dos materiais foram à época de publicação da bibliografia, a localidade dos estudos e sua credibilidade frente à comunidade científica. Estes filtros foram utilizados como critérios para a categorização dos materiais coletados.

Com base neste levantamento bibliográfico, foram analisados os principais impactos negativos do lodo in natura quando lançado nos corpos d' água, possíveis alternativas de reuso/tratamento/disposição desses resíduos; e aspectos da legislação correlata. Elaborou-se um quadro comparativo pautado nos mecanismos de coagulação e a efetividade dos tipos de coagulantes tradicionais e alternativos na fase de clarificação da água.

Além dos dados anteriormente expostos, representou-se de forma gráfica a relação entre o tipo de coagulante e o impacto no lodo formado.

Pesquisou-se também na literatura técnica brasileira e estrangeira pertinentes, normas da ABNT, trabalhos acadêmicos e estudos práticos de órgãos governamentais como o Ministério Público de Minas Gerais (MPMG).

PROCESSOS DO TRATAMENTO DE ÁGUA

Nas ETAs brasileiras o tratamento convencional é o mais utilizado para remoção das impurezas presentes na água bruta e é composto por três processos básicos: clarificação (coagulação, floculação e decantação/flotação), filtração e desinfecção (LIBÂNIO, 2010).

Uma das principais etapas é a coagulação, que resulta de ações físicas e reações químicas entre o coagulante, usualmente o sulfato de alumínio, a água e as impurezas presentes, sendo um processo muito rápido, com duração de segundos (SANTOS et al., 2011). Desse modo, a coagulação assume o objetivo de proporcionar os mecanismos necessários para a desestabilização das partículas coloidais, promovendo uma aproximação entre as mesmas, a fim de agregá-las formando flocos, que devido suas dimensões e densidades irão se separar seja por flotação, sedimentação ou filtração (LIBÂNIO, 2010).

A floculação é o processo físico que tem por finalidade promover a aglutinação das partículas já coaguladas, facilitando o choque entre elas devido à agitação lenta imposta à água (BRASIL, 2002).

Os decantadores são unidades onde a água permanece retida para que os flocos, que contém algas, ovos de parasitas e alguns tipos de micro-organismos, se sedimentem e formem o lodo (CAVINATTO, 2003). Essa etapa é também considerada uma operação unitária e constitui a última fase da clarificação, fornecendo condições que permitam a deposição dos flocos por ação da gravidade. Tal processo reflete a eficiência das etapas que o precedem (LIBÂNIO, 2010).

Segundo Souza et al. (1999), é nos decantadores que ocorre a remoção dos sólidos presentes na água e por tal motivo, são nessas unidades que se gera o lodo. As características quantitativas e qualitativas desse resíduo variam de acordo com a qualidade da água bruta, o tipo e a quantidade de coagulante adicionado na etapa de coagulação, da eficiência dos floculadores e decantadores. O LETA pode também ser composto por resíduos provenientes dos clarificadores, lavagem de filtros, recuperação da água de lavagem ou uma combinação dessas operações.

CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO LETA NAS ESTAÇÕES BRASILEIRAS

Os lodos provenientes de decantadores possuem alto teor de umidade, geralmente superior a 95%, apresentando-se em estado fluido, podendo também, conter elevada concentração de matéria orgânica (CORDEIRO, 1999). Dessa forma, o LETA é desidratado antes da disposição final, podendo esse processo ocorrer em leitos de secagem, adensadores, dentre outros mecanismos.

As características do lodo de decantador estão diretamente relacionadas com tipo de unidade empregada e suas características operacionais. Os decantadores convencionais, que não possuem equipamento de extração do lodo, comumente são limpos em intervalos de tempo de 1 a 4 meses, implicando na geração de resíduos mais concentrados, em comparação com aqueles provenientes de decantadores de alta taxa, que utilizam mecanismo de extração do resíduo, onde a limpeza é mais frequente (SABOGAL-PAZ; DI BERNARDO, 2005).

De acordo com Reali (1999) o lodo que contém sulfato de alumínio apresenta coloração marrom, e possui difícil sedimentação ou flotação em seu estado natural.

Richter (2001) ressalta que os lodos são predominantemente inorgânicos e que a concentração de sólidos totais no lodo, derivado de tanques de decantação, situa-se na faixa de 1.000 a 40.000 mg/L e o lodo proveniente da lavagem de filtros, apresenta menor teor de sólidos, em torno de 40 a 1.000 mg/L. De forma genérica, a Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO oscila de 30 a 300 mg/L. A Tabela 1 apresenta as porcentagens e taxas que compõem o lodo derivado de coagulação com sulfato de alumínio.

Tabela 1. Características de LETA utilizando-se sulfato de alumínio como coagulante.

Sólidos Totais (%)	Al ₂ O ₃ .5H ₂ O (%)	Inorgânicos (%)	Matéria Orgânica (%)	pH	DBO (mg/L)	DQO* (mg/L)
0,1-4	15-40	35-70	15-25	6-8	30-300	30-5.000

DQO*: Demanda Química de Oxigênio.

Fonte: Richter, 2001.

No entanto, as características do lodo são muito variáveis, evidenciando, a necessidade de se analisar, em cada caso o lodo proveniente das ETAs. Essa determinação é de suma importância, pois a partir dela é que se definem a magnitude e o tipo de impacto ambiental gerado e relacionado à disposição do resíduo (subproduto) do tratamento de água.

Além das características supracitadas, há também outros compostos presentes no lodo, decorrentes de processos que antecedem a coagulação, bem como compostos de outros coagulantes, sejam produtos auxiliares do processo de coagulação. No estudo de Cordeiro (1993) foram realizados testes para se determinar a concentração dos metais no lodo na fase sólida. Os lodos analisados foram gerados em três ETAs, localizadas no Estado de São Paulo. Os Resultados da caracterização apresentam-se na Tabela 2, a seguir:

Tabela 2. Presença de Metais no Lodo oriundo de ETA em Fase Sólida.

Metais (mg/L)	ETA 1	ETA 2	ETA 3
Alumínio	3965,00	391	325
Bário	-	0,22	0,18
Cádmio	0,14	0,02	0,02
Cálcio	142,00	-	0,08
Chumbo	2,32	0,20	0,30
Cloreto	-	35,00	36,30
Cobre	1,47	0,12	0,20
Cromo Total	3,82	0,06	0,09
Ferro Total	3381,00	129	166
Ferro Solúvel	0,00	6,14	0,12
Magnésio	27,00	2,87	1,38

Manganês	1,86	7,80	3,44
Manganês Solúvel	-	4,57	1,00
Níquel	2,70	0,14	0,12
Potássio	49,97	7,37	7,55
Sódio	311,00	29,30	63,00
Zinco	2,13	0,70	0,98

Fonte: Cordeiro, 1993 (adaptada).

Cordeiro (1999) considera que, além das proposições determinantes na formação do lodo como a qualidade da água bruta, tipo de coagulante e eficiência da coagulação, é também necessário que a quantidade utilizada de coagulantes seja adequada e determinada de forma experimental¹, e não de forma empírica, como se realiza em muitas ETAs.

Rodrigues (2012) relata que normalmente, há maior produção de lodo no período chuvoso, época em que há piora na qualidade geral das águas dos mananciais, representada pelos parâmetros turbidez e cor, necessitando, conseqüentemente, da aplicação de maiores quantidades de produtos químicos para o tratamento.

De acordo com a norma técnica - NBR 10.004/2004 (ABNT, 2004) - que classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, o lodo gerado na indústria de produção de água potável é enquadrado como resíduo sólido. Ainda segundo essa norma, os resíduos sólidos podem ser definidos como resíduos nos estados sólidos ou semissólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição.

Os resíduos sólidos podem ser classificados quanto aos potenciais riscos ao meio ambiente e à saúde pública, conforme diretrizes estabelecidas na NBR 10004 (ABNT, 2004):

Resíduos classe II A – resíduos não inertes: são aqueles que não apresentam periculosidade, mas apresentam características tais como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;

Resíduos classe II B – resíduos inertes: são aqueles que, submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiveram nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, executando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Para que possa ser gerenciado adequadamente como resíduo sólido, ensaios permitiram definir que o LETA se enquadra como Classe II A, não inerte, portanto, não deve ser lançado nos corpos d'água sem prévio tratamento (PORTELA et al., 2003).

IMPACTOS AMBIENTAIS DO LETA

No processo de tratamento convencional, o uso de insumos contendo metais, como o sulfato de alumínio, pode aumentar a concentração desse metal. Devido a isso, surge a grande preocupação em dispor corretamente o LETA, além do aumento do volume de chorume gerado quando o lodo é disposto em aterros, contribuindo para a geração de impactos negativos ao meio ambiente, quando depositados de forma inadequada (FONTES, 2008).

O sulfato de alumínio é o coagulante mais utilizado nas ETAs brasileiras, pois possui baixo custo em relação aos outros coagulantes utilizados em escala comercial (como, p.ex., cloreto férrico), facilidade de manuseio e transporte, além de eficiência comprovada (FRANCO, 2009). O alumínio (Al) é um componente que afeta a qualidade organoléptica da água, e que tem seu valor máximo permitido de 0,2 mg/L de acordo com o Padrão de Potabilidade do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

Contudo, apresenta desvantagens como as destacadas por Clayton (1989) e McLachan (1995). Clayton op.cit. demonstrou que caso o sulfato de alumínio esteja em concentração acima de 0,2 mg/L na água tratada, o mesmo oferece riscos à saúde. McLachan op. cit. relatou que portadores de Alzheimer possuem grande quantidade de sais de alumínio no organismo, o que pode ser fator crucial para desenvolvimento dessa doença.

Além de problemas que acarretam a saúde humana, constatou-se que por não ser biodegradável, o sulfato de alumínio traz inconvenientes quanto à disposição final do lodo gerado e por tais motivos, países como Japão e China têm adotado

¹ Teste de Jarros – (Jar Test), é o um método utilizado nas Estações de Tratamento de Água, para a determinação das dosagens ótimas dos coagulantes a serem empregados. Consistem em ensaios de simulação da água bruta, variando a dosagem de alcalinidade e do coagulante, conforme diretrizes da NBR 12.216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público.

com mais frequência o uso de coagulantes naturais nos processos de potabilização da água (KAWAMURA et al.,1991). Outro inconveniente no lodo gerado é que ele é menos suscetível à desidratação e o seu lançamento inadequado em corpos d'água tem grande probabilidade de comprometer negativamente a camada bentônica, causando impactos à vida aquática (CAMPOS; CORDEIRO, 1999).

Além de esses lodos conterem metais pesados, apresentam também alta turbidez e elevadas concentrações de sólidos e de DQO. Os sólidos contribuem para o assoreamento de cursos d'água, criação de bancos de lodo, alterações na cor e na composição química, além da interferência na atividade fotossintética, podendo também ocasionar asfixia nos peixes por entupimento das vias respiratórias (CORNWELL et al.,1987).

DISPOSIÇÃO DO LETA NO CENÁRIO MINEIRO

De acordo com Saraiva Soares et al. (2009) que analisaram dados apresentados pela Concessionária Mineira de Saneamento, observou-se que das 175 ETAs de municípios mineiros, 87% das estações lançavam o lodo em corpos d'água sem nenhum tratamento prévio, 6% não informaram, e apenas 3% possuíam unidade de tratamento de resíduos (UTR). Os estudos indicaram, ainda, que 2% das estações avaliadas lançavam seus efluentes brutos (resíduos) na rede pluvial, 1% em ETE e 1% no solo, conforme pode ser visualizado na Figura 1:

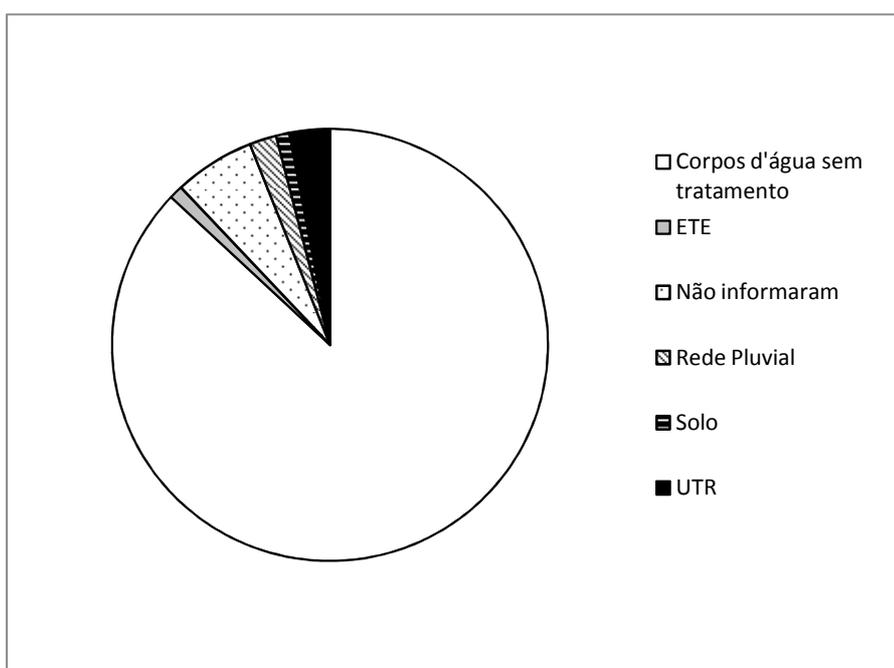


Figura 1-Destinação do Lodo nas ETAs Mineiras. Fonte: Saraiva Soares et al., 2009 (Adaptado).

A reciclagem de resíduos pode ser considerada uma prática ambientalmente correta, pois torna possível o reaproveitamento ou utilização dos resíduos sólidos provenientes de diversas atividades, até então considerados inúteis e problemáticos (ANDREOLI, 2006).

Devido à preocupação com a disposição do LETA, vêm sendo estudadas aplicações para este resíduo. A disposição no solo deve ser avaliada, principalmente em função das características físicas e químicas do lodo e o tipo de aplicação ou cultura a qual este resíduo será adicionado, por existir nutrientes benéficos às diversas culturas como também por apresentar teores mais elevados de alguns metais, principalmente o alumínio (COUTO, 2011). As características ambientais (da área onde se pretende dispor o LETA) também devem ser avaliadas, tais como propriedades do solo e relevo, nível do lençol freático, distância de cursos d'água, dentre outros.

Conforme suas características, o LETA pode ser utilizado para recuperação de áreas degradadas (condicionador de solo), fabricação de materiais da construção civil como tijolos e fabricação de materiais cerâmicos (CORNWELL, 1999; BIDONE et al.,2001; DI BERNARDO; DANTAS, 2005). Além disso, segundo Richter (2001), pode ser utilizado na pavimentação de estradas e na produção de cimento. Tsutuya e Hirata (2001) citam que o lodo também pode ser

utilizado no cultivo de grama comercial, sendo aplicado na fase líquida ou após sua desidratação proporcionando aumento na aeração e na capacidade de retenção de líquido no solo, além de fornecer nutrientes às plantas.

ANÁLISE DA DESTINAÇÃO DO LODO EM DIVERSOS ESTADOS BRASILEIROS

A Tabela 3 apresenta, de forma sucinta, o resultado dos dezenove estudos levantados acerca da destinação e do reuso do LETA, em vários estados brasileiros, principalmente na região sudeste. Os relatos datam dos últimos quinze anos, sendo o mais antigo de 1999.

Foram descritos o local de estudo, as vantagens e desvantagens das tecnologias estudadas para disposição do lodo, e os autores.

Tabela 3 - Compilação produzida com base em informações obtidas sobre diversos estudos relativos à disposição do LETA no Brasil, nos últimos 15 anos.

LOCAL	TÉCNICAS DE DISPOSIÇÃO DO LODO		FONTE
	VANTAGENS	DESvantagens	
REDUÇÃO DO LODO			
São Cristóvão, SE	Baixo custo do coagulante sulfato de alumínio. Controle de dosagem de coagulante, reduzindo também a carga de resíduos.	Parâmetros de sólidos acima dos previstos na CONAMA 357/2005. Grandes variações de DBO e DQO. Al, Pb, Mn sofreram variações de concentração. Caracterizado como potencial poluidor, por possuir altas concentrações de metais pesados.	SOUZA (2009)
REVESTIMENTO RODOVIÁRIO			
Ponta Grossa, PR	Comprovada a possibilidade de emprego do lodo para aplicação em revestimento rodoviário.	Lodo mais frágil e com menor resistência. A adição como parte do solo reduz a qualidade do mesmo, sendo necessária adicionar mais cimento para obter um desempenho ideal, encarecendo o material solo cimento.	FADANELLI e WIECHETECK (2010)
ENCAMINHAMENTO PARA ETE / ATERRO			
Belo Horizonte, MG	Possui baixo custo e é de melhor gestão. Transformando o lodo em insumo, há redução dos efeitos impactantes no meio ambiente e gera renda e redução de custos na produção.	O destino final do lodo desidratado ainda constitui uma incógnita. O aterro ainda parece ser o caminho natural, desde que executado levando em conta as peculiaridades referentes a cada lodo.	FILHO e VIANNA (2012)

INCORPORAÇÃO EM CERÂMICA VERMELHA			
Ouro Preto, MG	Possibilidade de aproveitamento do LETA em cerâmica vermelha para adições de até 10% do lodo à argila.	Partículas de lodo atuam como inclusões que favorecem a fratura do corpo causando diminuição dos valores de Tensão de Ruptura à Flexão dos corpos de prova.	PAIXÃO (2005)
Presidente Prudente, SP	O lodo pode ser inserido no material de fabricação da cerâmica.	É preciso que haja estudo aplicado ao lodo a ser utilizado, pois as variações influenciam diretamente na qualidade do material produzido, principalmente na resistência, plasticidade e absorção de água.	TEIXEIRA, <i>et al.</i> (2006)
Campos dos Goytacazes, RJ	Pode ser incorporado o LETA no processo, uma vez que a composição do lodo estudado é semelhante à mineralogia das argilas utilizadas na fabricação da cerâmica.	A incorporação do lodo de até 10% em peso com uma argila aumenta ligeiramente a absorção de água e diminui a resistência mecânica após a fase de queima da argila.	MARGEM (2008)
Rio de Janeiro, RJ	Reaproveitado como matéria-prima na indústria cerâmica, na proporção máxima de 10% em massa de lodo.	A incorporação do lodo altera as propriedades físicas e tecnológicas do material levando a uma redução na qualidade das peças obtidas.	COUTO (2011)
São Paulo, SP	Produzir tijolos pelo processo de extrusão foi viável ao receber porcentagens admissíveis de lodo à massa nas condições de umidade reais de saída da centrífuga.	Adições de lodo superiores a 8% alteram negativamente as propriedades físico-mecânicas nas peças cerâmicas,	TARTARI, <i>et al.</i> (2011)
Rio de Janeiro, RJ	Potencial para incorporar o lodo em massas argilosas na fabricação de cerâmica.	Pode ser incorporado em quantidades moderadas devido ao seu elevado valor de limite plástico.	PINHEIRO, <i>et al.</i> (2014)
INCORPORAÇÃO EM MATERIAL DE CONSTRUÇÃO CIVIL			
São Carlos, SP	Viabilidade do LETA como agregado miúdo em concretos para recomposição de calçada, além de ter potencial para utilização em concreto para fins mais nobres.	Sugere-se que a quantidade de lodo utilizada em torno de 10% e que a espessura do concreto para calçadas deve ser de aproximadamente 5 cm.	COSTA (2011)
Salvador, BA	O LETA tem potencial como matéria prima para confecção de blocos.	Não teve pontos negativos no artigo estudado.	SANTOS (2011)
São Paulo, SP	Tijolos ecológicos foram confeccionados com a incorporação de cinzas de carvão de usinas termelétricas e de LETA atendendo aos requisitos quanto à compressão e absorção de água.	As partículas do LETA evidenciaram frágil desagregação quando seco e com baixa interação química entre si.	SILVA (2011)

São Paulo, SP	Alternativa em substituição parcial em peso de solo na fabricação de tijolo solo-cimento.	Dificuldade em incorporar grande quantidade do LETA na mistura solo-cimento. Tende a aumentar o teor de partículas finas, matéria orgânica e plasticidade da mistura solo-cimento, interferindo na hidratação do cimento.	RODRIGUES e HOLANDA (2013)
RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS - RAD			
Brasília, DF	O LETA pode ser disposto em áreas degradadas, visto que eleva os teores de macronutrientes e o valor de pH do solo.	Em altas doses pode causar a salinidade do solo. Para fins de recuperação, sua aplicação deve estar associada a um resíduo.	TEIXEIRA, et al. (2005)
Brasília, DF	O LETA torna-se promissor ao se avaliar os teores de P e de matéria orgânica.	Não foi determinado pelo autor.	MOREIRA <i>et al.</i> (2007)
Brasília, DF	O LETA é compatível com o uso em RAD situadas em regiões com características geológicas e hidroquímicas semelhantes.	A lixiviação do LETA contribuiu com o aumento da concentração de sólidos dissolvidos para o lençol freático. Porém, após 10 anos de disposição de LETA, o impacto ambiental nas águas subterrâneas pode ser considerado pequeno, pois não houve sequer alteração da fácies da água subterrânea.	MOREIRA, <i>et al.</i> (2009)
Rio de Janeiro, RJ	O LETA não alterou as características do solo quanto às variáveis analisadas. Na presença do lodo de esgoto, a aplicação de LETA foi favorável à dinâmica do N no solo até a dose de 37 mg.ha ⁻¹ ; A aplicação do lodo de ETE neutralizou o Al e alterou pH, Ca, H ⁺ Al, C, P e V% do solo.	A aplicação do LETA não apresentou potencial de melhoria nos atributos de fertilidade do solo.	BITTENCOURT, <i>et al.</i> (2012)
REMOÇÃO DO FÓSFORO EM EFLUENTES DE ETE			
São Paulo, SP	Reaproveitamento e encaminhamento do LETA utilizando sulfato de alumínio para remoção de fósforo do efluente final.	A presença de polímeros no LETA ocasionou redução da capacidade de adsorção do fósforo do efluente da ETE.	CHAO, <i>et al.</i> (2009)
REUTILIZAÇÃO DO SULFATO DE ALUMÍNIO			
Vitória, ES	Para as populações de 20.000 e 50.000 habitantes, a regeneração de coagulantes e sua reutilização na própria ETA ou em ETE é economicamente viável.	Para ETAs de grande porte os processos de regeneração em reatores em batelada possivelmente não serão econômicos, devendo ser avaliada a utilização de reatores em regime contínuo.	GONÇALVES <i>et al.</i> (1999)

As técnicas de disposição de resíduos descritas na Tabela 3 podem ser visualizadas na Figura 2.

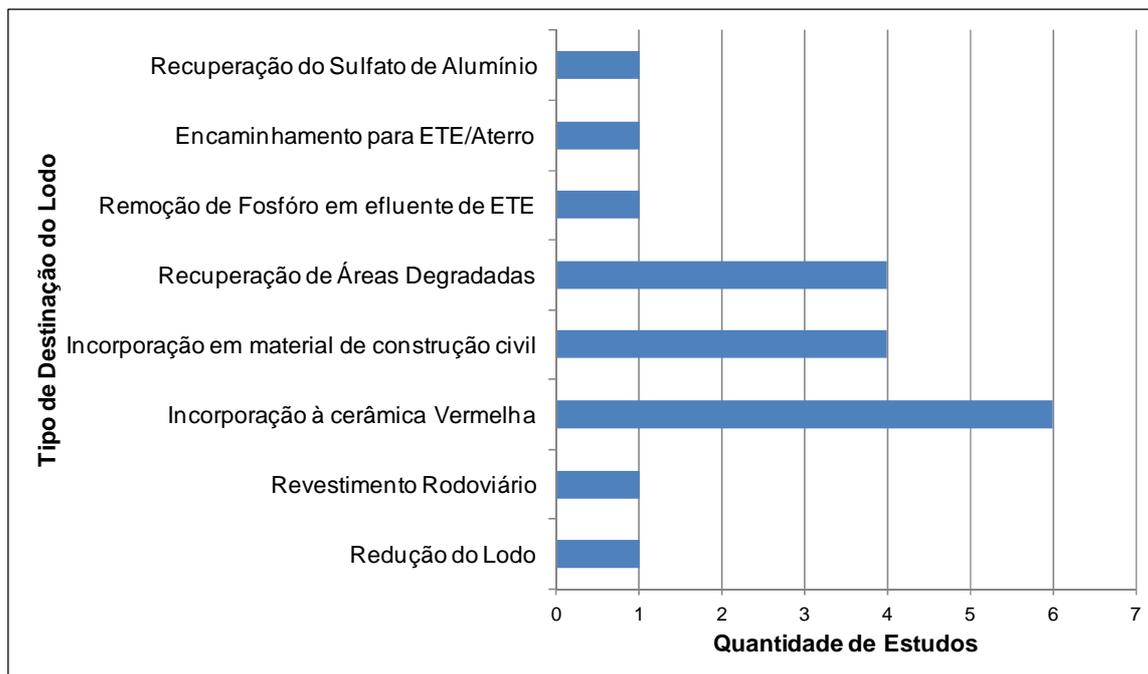


Figura 2 - Formas e Quantidade de estudos para disposição do LETA. Fonte: Elaborado a partir das informações constantes no Quadro 1.

A forma de disposição do LETA mais contemplada nos estudos apresentados foi a aplicação na construção civil (incorporação em materiais como cerâmica).

Como pontos positivos, as principais abordagens foram baixo custo na incorporação do material, substituindo de 8 a 10% da argila utilizada na fabricação do produto, além de contribuir para a economia na adição de água no processo de produção de cerâmica vermelha por extrusão.

Entretanto, as variações nas características do lodo produzido nas ETAs, influenciam na qualidade do material a ser produzido caso a incorporação não seja conduzida em proporções corretas e aplicando-se a metodologia adequada, os lodos tornam a cerâmica pouco resistente, favorecendo surgimento de trincas e deformações nas peças, tornando o material muito absorvente, com consequente perda de qualidade.

Em seguida, os artigos científicos apresentaram a incorporação do LETA em materiais agregados na construção civil, apresentando bons desempenhos nos resultados, já que o lodo é similar à granulometria e às características dos demais componentes. Porém, como a composição do LETA é variável, a logística de incorporação desse resíduo é complicada, por não se ter sempre a mesma composição e qualidade oriunda dos processos de tratamento de água. Outro fator interessante no estudo de incorporação do LETA em materiais da construção civil é que além do lodo, podem ser incorporados resíduos de outros setores, como as cinzas de uma usina termelétrica, reduzindo assim, o volume de material descartado na natureza. Cabe esclarecer que a aplicação de resíduos na fabricação de materiais para construção civil, embora bastante contemplada nos estudos científicos, deve ser avaliada com cautela para não trazer inconvenientes à saúde especialmente dos moradores dos imóveis edificados com esses materiais. Essa avaliação justifica-se pelo contato frequente com esses materiais que, dependendo do caso, podem liberar substâncias maléficas à saúde.

Na mesma quantidade de estudos, encontram-se as aplicações de LETA em áreas degradadas, enaltecendo o potencial para tal aplicação. Contudo, Bittencourt *et al.* (2012), destacou que o lodo de ETA não modificou nem positiva e nem negativamente os parâmetros estudados em sua aplicação do solo, fazendo referência, mais uma vez, no tocante da variação das concentrações químicas componentes do LETA.

O estudo de Filho e Vianna (2012) cita o encaminhamento do LETA para aterros sanitários e para estações de tratamento de efluentes. No que diz respeito a dispor o lodo em aterro sanitário, é necessário enfatizar que o lodo, em muitos casos, é encaminhado para ser aterrado em discordância com os parâmetros vigentes na legislação ambiental, o que vem a acarretar em impactos ambientais posteriores. Já o encaminhamento para ETAs faz com que o lodo seja equalizado com o efluente resultante, fazendo com que sejam atendidos os parâmetros ambientais. Embora essa metodologia atenda aos critérios ambientais, a mesma não trata o lodo como insumo, não trazendo benefícios econômicos e ainda sim,

acarretando em maior acúmulo de resíduos dispostos no meio ambiente.

Já no estudo apresentado para a aplicação do lodo no revestimento rodoviário, embora Fadanelli e Wiechetch (2010) tenham comprovado a possibilidade da utilização do lodo para este uso, concluíram que para que seja eficiente a adição do mesmo, será necessário um consumo muito maior de cimento, elevando os custos. O mesmo inconveniente econômico foi constatado no estudo da extração do sulfato de alumínio do LETA, no qual para ETAs de grande porte, também foi inviável. Chao *et al.* (2009) demonstrou viabilidade para se utilizar o lodo na remoção do fósforo em ETAs, desde que não sejam adicionados polímeros, pois os mesmos reduzem a capacidade de adsorção do fósforo.

CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que no cenário mineiro predomina o lançamento *in natura* do LETA nos corpos de água, ocasionando dano ambiental, devido sua composição química. Foram apresentadas diversas alternativas para disposição e reuso do LETA, que pode passar de *resíduo* a *insumo* de outro processo produtivo.

A forma de disposição do LETA mais contemplada nos estudos apresentados foi aplicação na construção civil (incorporação em materiais como cerâmica), sendo que a escolha da solução mais adequada ao caso concreto deverá ser realizada após sua caracterização.

REFERÊNCIAS

1. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.004: (2004). Resíduos sólidos – Classificação.** Rio de Janeiro: ABNT, 71 p.
2. ANDREOLI, C. V. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento.** Curitiba: Rio de Janeiro: ABES, 2006. 398 p. (PROSAB).
3. BIDONE, F., SILVA, A. P., MARQUES, D. M. **Lodos Produzidos nas Estações de Tratamento de Água (ETAs):** Desidratação em Leitões de Secagem e Codisposição em Aterros Sanitários. In: ANDREOLI, Cleverton Vitorio (coordenador). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final /** Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001. p. 215-244.
4. BITTENCOURT, S. *et al.* **Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado.** Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, Set. 2012.
5. BRASIL. Ministério da Saúde. **Saúde Ambiental e Gestão de Resíduos de Serviços de Saúde/Ministério da Saúde.** Brasília: Ministério da Saúde, 2002. 450 p.: il.
6. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** Brasília. 12 dez. 2011.
7. CAMPOS, J. R.; CORDEIRO, J.R. **O impacto ambiental provocado pela indústria da água.** Revista Saneamento Ambiental. São Paulo, n.56, p.52, set./out. 1999.
8. CAVINATTO, V. M. **Saneamento Básico: fonte de saúde e bem-estar.** São Paulo: Ed. Moderna. 2003. 88 p.
9. CHAO, I. R. S.; MORITA, D. M.; FERRAZ, T. H. F. **Reciclagem do lodo de ETA para remoção de fósforo de efluente de sistema de lodos ativados.** Saneas, Ano X - Nº 32 - Jan./Fev./Mar. 2009.
10. CLAYTON, B. E. **Report of the lowermoor incident advisory group.** American Journal of Industrial Medicine, London, v. 40, n. 3, p. 301-304, 1989.
11. CORDEIRO, J. S. **O problema dos lodos gerados nos decantadores em estações de tratamento de água.** São Carlos, 341p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1993.
12. CORDEIRO, J. S. **Importância do Tratamento e Disposição Adequada dos Lodos de ETAs.** In: REALI, Marco Antonio Penalva (Coord.). **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de ETA.** Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, p.1-19, 1999.
13. CORDEIRO, J. S. **Processamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água (ETAs).** In: ANDREOLI, Cleverton Vitorio (Coord). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final.** Rio de Janeiro : RiMa, ABES, 2001.

14. CORNWELL, D. A. Water treatment plant residuals. In: AWWA. **Water Quality and Treatment.** 5ª ed. Denver, USA:AWWA, 1999.
15. COSTA, Á. J. C. **Análise de viabilidade da utilização de lodo de ETA coagulado com cloreto de polialumínio (PAC) composto com areia como agregado miúdo em concreto para recomposição de calçadas:** estudo de caso na ETA do município de Mirassol-SP. 2011. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-11052011-095145/>>. Acesso em: 04 abr 2015.