

Destinações ambientalmente adequadas do resíduo gerado no processo de tratamento de água convencional

Environmentally appropriate destinations of waste generated in the conventional water treatment process

DOI:10.34117/bjdv7n3-215

Recebimento dos originais: 08/02/2021

Aceitação para publicação: 10/03/2021

Uedja Tatyane Guimarães Medeiros Lima

Mestra em Gestão Ambiental, Doutoranda PPGEC-UFPE
Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil
Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, CEP: 50741-530, Recife/PE, Brasil
E-mail: uedja.tatyane@ufpe.br

Maria do Carmo Sobral Martins

Doutora em Saneamento Ambiental Technische Universität Berlin, Alemanha
Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil
Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, CEP: 50741-530, Recife/PE, Brasil
E-mail: maria.msobral@ufpe.br

Amanda Tenório da Costa

Graduada Engenheira Civil, Mestranda SOTEPP-UNIT
Centro Universitário Tiradentes, Maceió, Alagoas, Brasil
Av. Comendador Gustavo Paiva, 5017, CEP: CEP 57038-000, Maceió/AL, Brasil
E-mail: amandatdcosta@gmail.com

Janaína Accordi Junkes

Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais UFSC
Centro Universitário Tiradentes, Maceió, Alagoas, Brasil
Av. Comendador Gustavo Paiva, 5017, CEP: CEP 57038-000, Maceió/AL, Brasil
E-mail: janajunkes@hotmail.com

RESUMO

As Estações de Tratamento de Água (ETA) que operam em ciclo completo, produzem resíduo sólido conhecido como lodo, sendo este possível causador de impactos ambientais negativos se não realizada a destinação final ambientalmente adequada. Um exemplo de descarte irregular do lodo de ETA é o lançamento em recursos hídricos, ocasionando impactos ambientais significativos e levando órgãos ambientais a requererem das operadoras de saneamento a implantação de outras alternativas de disposição final ambientalmente adequada desse resíduo. Seu potencial poluidor e contaminante depende, principalmente, das características da água bruta, dos produtos químicos utilizados no tratamento (coagulantes) e das reações ocorridas no processo. O presente estudo tem por objetivo analisar alternativas de destinação final do lodo, sendo estas: aplicação controlada no solo, compostagem, fabricação de material cerâmico, lançamento em sistema de tratamento de esgoto e aterro sanitário. A pesquisa foi desenvolvida de forma qualitativa e quantitativa, por meio de reunião sistemática de

dados contidos em livros, artigos, e publicações dos últimos anos, os quais, foram possíveis concluir que as opções estudadas possuem particularidades ao serem aplicadas, pontos positivos e negativos, devendo ser adequadas a cada especificidade de lodo, resultando em diversas opções ambientalmente favoráveis para solução do problema.

Palavras-chave: impacto ambiental, gestão ambiental, resíduo sólido.

ABSTRACT

Water Treatment Plants (ETA) that operate in a full cycle, produce solid waste known as sludge, which can cause negative environmental impacts if the environmentally appropriate final destination is not carried out. An example of irregular disposal of ETA sludge is the release into water resources, causing significant environmental impacts and leading environmental agencies to require sanitation operators to implement other alternatives for the environmentally appropriate final disposal of this waste. Its polluting and contaminating potential depends mainly on the characteristics of raw water, the chemicals used in the treatment (coagulants) and the reactions that occur in the process. The present study aims to analyze alternatives for final disposal of sludge, which are: controlled application to the soil, composting, manufacture of ceramic material, launching into a sewage treatment system and landfill. The research was developed in a qualitative and quantitative way, through systematic gathering of data contained in books, articles, and publications of the last years, which, it was possible to conclude that the options studied have particularities when applied, positive and negative points, they must be adapted to each specificity of sludge, resulting in several environmentally favorable options for solving the problem.

Keywords: environmental impact, environmental management, solid waste.

1 INTRODUÇÃO

O tratamento de água é um dos serviços oferecidos pelas companhias de saneamento, presente em todos os estados brasileiros, proporciona água potável de boa qualidade dentro dos padrões estabelecidos por legislação à população. Se não planejado e gerenciado corretamente, este serviço ocasiona risco de impacto ao meio ambiente, por gerar resíduo sólido com relevante concentração de produtos químicos, denominado de lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA).

Grandes partes das ETA's brasileiras operam de forma convencional, também conhecida como ciclo completo, em função do elevado índice de turbidez e cor da água bruta. Segundo Achon (2013), são cerca de 7.500 unidades de ETA's distribuídas no território brasileiro, estas estações conferem ao processo de tratamento a seguinte sequência: coagulação, floculação, sedimentação, filtração, desinfecção, correção do pH e adição de flúor, como produto deste processo, há potabilização da água e geração de resíduo sólido (lodo), o qual é produzido nas etapas de decantação/sedimentação e filtração.

O lodo proveniente de ETA vem sendo disposto sem nenhum tipo de tratamento em corpos d'água e em solos, causando problemas ambientais. Prática esta que vem sendo questionada por ambientalistas e por órgãos ambientais, pelos possíveis riscos à saúde pública e dos recursos naturais e pelo não atendimento a legislação brasileira. No Brasil, a maioria das ETA's não foram planejadas de forma a promover a disposição e/ou tratamento dos resíduos de forma adequada e há uma grande dificuldade para realizar a limpeza dos decantadores, a qual muitas vezes, é realizada manualmente por funcionários (KLOC; LAIRD, 2017).

No estado de Pernambuco são contabilizados 9 sistemas de estações de tratamento, sendo elas: Sistema Pirapama, Tapacurá, Jangadinha, Várzea Uma, Botafogo, Alto do Céu, Caixa d'água, Gurjaú e Suape, distribuídos nos municípios operados pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), todos esses sistemas reunidos produzem aproximadamente 12.813 m³/dia de água tratada, gerando quantidade relevante de lodo.

No sistema Pirapama, localizado na cidade de Cabo de Santo Agostinho, abastecendo as cidades de Recife, Cabo de Santo Agostinho, Jaboatão dos Guararapes e indiretamente as cidades de São Lourenço da Mata e Camaragibe, são potabilizados 5,13m³ de água por segundo (COMPESA, 2017). A quantidade de lodo produzido em uma ETA depende da qualidade físico-química da água bruta, dos coagulantes e produtos utilizados durante o processo de tratamento, sendo o volume do lodo diretamente proporcional à dosagem do coagulante, podendo variar de 0,2 a 5% do volume de água tratada pela estação (HOPPEN, 2006).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004) em sua NBR 10004, o lodo é classificado como resíduo sólido, classe II não perigoso, necessitando estudo de disposição final adequado, sendo proibido seu descarte sem tratamento prévio. 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). O crescimento populacional aumenta a necessidade do consumo de um recurso ambiental de múltiplas funções, a água potável. Em paralelo, cresce a necessidade de gerenciamento do resíduo produzido em seu tratamento e com as formas de disposição ambientalmente correta do mesmo.

Os impactos ecológicos não eram considerados nas sociedades primitivas, pois a produção de resíduos era pequena e a assimilação ambiental era grande, com o crescimento tecnológico foi-se começando a surgir as preocupações em relação à sustentabilidade. Para o desenvolvimento sustentável, existe a necessidade de produzir a maior quantidade de bens com a menor quantidade de recursos naturais e a menor poluição, ou seja, o desenvolvimento econômico será desvinculado da geração de impactos ambientais. (BRASILEIRO; MATOS, 2015)

Na maior parte dos casos, não é incluído na fase de projeto as formas de destino do resíduo gerado, que termina sendo gerenciado de forma precária e emergencial pelos operadores, com elevados custos financeiros e ambientais, colocando em risco, em alguns casos, a qualidade e os benefícios de todo o sistema de coleta da água. Sendo assim, a escolha do destino final do lodo é de grande relevância e complexidade, visto que ultrapassa os limites das estações de tratamento e demanda integração com diversos setores da sociedade civil (ANDREOLI, 2001).

Os usos benéficos de maior potencial de utilização para os municípios são: aplicação controlada no solo, compostagem, fabricação de material cerâmico, lançamento em sistema de tratamento de esgoto e aterro sanitário. Este estudo busca analisar alternativas de destinação final para o resíduo lodo, proveniente da clarificação da água para abastecimento, formas estas que visam proporcionar um bom gerenciamento de resíduo sólido evitando possíveis impactos ambientais por meio de descartes inapropriados, soluções economicamente viáveis e ambientalmente vantajosas.

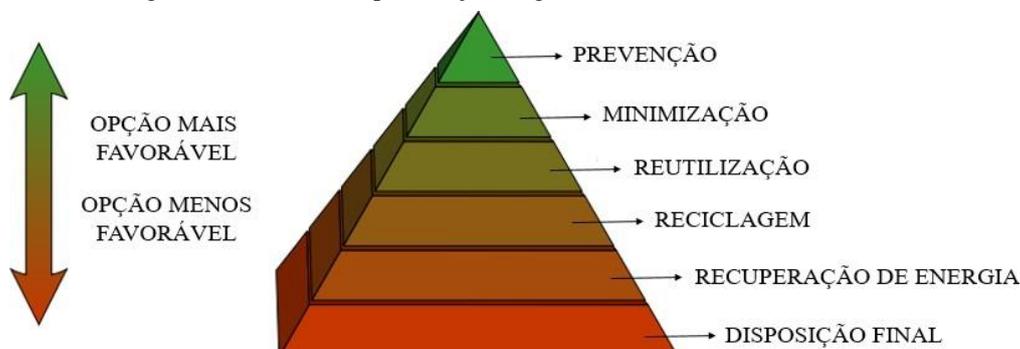
2 FORMAS DE DESTINAÇÃO FINAL DE LODO DE ETA

A procura por soluções economicamente exequível e ambientalmente vantajosas para a disposição final de lodo de ETA continua sendo um desafio em vários estados, onde a temática e estudos sobre o assunto são incipientes. Como passo inicial, deve ser feita a caracterização do lodo, permitindo posteriores avanços, também é importante a realização de uma pesquisa de mercado, na qual possa ser identificado clientes em potencial, os quais possam utilizar o lodo como insumo no processo produtivo e a aceitação do produto final por fabricantes e pelos consumidores. As legislações ambientais pertinentes devem ser consideradas a cada tipo de destinação final desejada.

O Plano de Gerenciamento de resíduo da ETA deve levar em consideração formas variadas para o tratamento e destinação final do lodo, incluindo ao processo

decisório os aspectos econômicos, técnicos, ambientais e sociais de cada um e que preferencialmente obedeça a ordem de priorização de gerenciamento de resíduos sólidos (Figura 1).

Figura 1 – Pirâmide de priorização do gerenciamento dos resíduos sólidos.



Fonte: Autoras.

A gestão de gerenciamento de resíduos sólidos, prevista na Lei Federal nº 12.305 de 02 de Agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Art. 9º (BRASIL, 2010), devem ser observada a seguinte ordem de prioridade: 1º não geração, improvável quando aplicado ao lodo de ETA, pois o processo de captação não exclui a presença de sólidos presente na água, 2º redução, que poderia ser obtido através da preservação do corpo hídrico, mata ciliar, amenizando assoreamento, logo, diminuindo a quantidade de sólidos suspensos e dissolvidos na água, 3º reutilização, como na adição do lodo em solo para compostagem, 4º reciclagem, como na substituição do lodo por argila para fabricação de material cerâmico, 5º tratamento dos resíduos sólidos que não se aplica para recuperação e 6º disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, opção menos favorável por não aproveitar o potencial do resíduo, depositando-o em aterros sanitários. Com a ordem de prioridade, existe maior ordenamento em termos organizacionais para decidir quais as prioridades de destinação do resíduo. Otimizando o gerenciamento, há menor chance de o resíduo ser destinado a aterros sanitários que representam a última opção da ordem de gerenciamento dos resíduos sólidos.

À frente da necessidade de se preservar recursos naturais, ao se destinar corretamente os resíduos sólidos resultantes do tratamento de água, os quais, na maioria das vezes são despejados em corpos hídricos e em solo sem nenhum tipo de tratamento adequado pelas companhias de saneamento, emerge o desafio de obter formas economicamente viáveis e ecologicamente seguras para destinação final, reintegrando

um resíduo visto anteriormente como produto sem valor agregado, incluindo-o em novos processos produtivos. Segundo Sevaios (2016), os resíduos sólidos são classificados de diferentes maneiras, e é importante saber a classificação do resíduo para poder encontrar a melhor destinação final.

Destinações adequadas de lodos de ETA estão sendo tratadas como oportunidades de aumentar a receita das companhias, quando realizado o reaproveitamento ou reciclagem, diminuição de custos com destinação a aterros e redução de impactos ambientais. Com aumento das cobranças previstas em Leis, cada vez mais restritivas, aumento das dosagens de produtos químicos por conta da crescente poluição dos corpos hídricos, despertou-se o interesse de pesquisadores e técnicos da área a buscar soluções e inovações economicamente viáveis para a disposição final do lodo. Dentre as várias soluções de disposição o presente estudo analisa: aplicação controlada no solo, compostagem, fabricação de material cerâmico, lançamento em sistema de tratamento de esgoto e aterro sanitário.

2.1 APLICAÇÃO CONTROLADA NO SOLO

A aplicação de lodo de ETA controlada no solo é umas das alternativas de destinação ambientalmente benéfica, não interferindo negativamente no crescimento de espécies vegetais e plantas. O lodo é um resíduo abundante em matéria orgânica, argilas, alumínio e ferro que naturalmente são encontrados em solos. A disposição deve ser controlada devido ao teor de alumínio do resíduo, pois este elemento em altas concentrações pode interferir e reduzir o fósforo do solo, sendo tóxico a uma diversidade de plantas a serem cultivadas.

Segundo Botero et al. (2009), há uma melhoria significativa da qualidade do solo quando é feita a aplicação conjunta de lodo de ETA com lodo de Estação de Tratamento de Efluente (ETE), esta técnica favorece a dinâmica do nitrogênio e eleva a quantidade de determinados nutrientes favoráveis ao solo. De acordo com Bueno (2011), é de extrema importância que sejam seguidas as recomendações para a aplicação do lodo (Resolução CONAMA nº 375, 2006), e que sempre se realize a correção da acidez do solo para o controle da disponibilidade de metais pesados presentes em sua composição química. Espera-se uma melhora em relação à adubação convencional devido a adição de carbono orgânico e dos macros e micronutrientes presentes no nesse resíduo (BUENO, 2010).

Para Gonçalves et al. (2016), uma possibilidade de aplicação do lodo de ETA em solo pode beneficiar o coeficiente de permeabilidade e com isso ser utilizado em aterros, visto que essa aplicação pode gerar barreiras impermeabilizantes. A impermeabilização da fundação e das laterais do aterro sanitário tem a função de proteger e impedir a percolação do chorume para o subsolo e aquíferos existentes (ELK, 2007). Usualmente esse processo é feito utilizando argila compactada ou geomembranas sintéticas (GONÇALVES et al., 2016).

2.2 COMPOSTAGEM

A compostagem surge como uma alternativa viável e eficiente de se reciclar os resíduos sólidos orgânicos. Consiste no processo biológico de decomposição da matéria orgânica contida em restos de origem animal ou vegetal. Seu produto final é um composto orgânico e pode ser aplicado ao solo para melhorar suas características físicas, químicas e biológicas (SANTOS et al., 2015). Segundo Lima (2018), a reciclagem dos resíduos orgânicos ocorre através da ação dos microorganismos presentes nos mesmos, os quais são responsáveis pela decomposição ou até mesmo a estabilização biológica da matéria orgânica, transformando estes resíduos em fertilizante natural, pois disponibiliza macro e micronutrientes ao solo, o que auxilia no desenvolvimento das plantas de forma geral.

Para Filho et al. (2017), o produto resultado da compostagem pode ser aplicado ao solo, favorecendo o plantio agrícola, de trado doméstico e de plantações que necessitem alguma melhoria. Além disso, não irá ocasionar riscos ao meio ambiente. Segundo Pires e Ferrão (2017), a compostagem é uma alternativa que possui benefício no aspecto social e ambiental, contribuindo para a gestão de resíduos sólidos brasileiro, pois destina os resíduos sólidos de maneira a beneficiar a reciclagem sobre o mero aterramento destes resíduos.

A alternativa do lodo ser compostado em conjunto com sobras de resíduos vegetais em sistemas de leiras, tem conferido benefícios como: ajuste de umidade e pH, aumento no fornecimento de minerais, entre outras melhorias. Segundo Silva e Fernandes (1998), a inclusão do lodo de ETA na compostagem não prejudica a atividade do composto, contendo níveis de alumínio na mistura abaixo do padrão máximo para uso agrícola, viabilizando assim seu uso e mostrando um excelente desempenho quando agregado com outros compostos.

2.3 FABRICAÇÃO DE MATERIAL CERÂMICO

O lodo, em sua maioria é constituído por silte, areia, coagulantes e matéria orgânica, desenvolvendo elevada plasticidade pela presença de argilominerais, sendo um bom substituto para argilas plásticas utilizadas em cerâmicas vermelhas (JUNKES, 2011). Segundo Rodrigues e Holanda (2015), o lodo de ETA é essencialmente composto de Al_2O_3 , SiO_2 e Fe_2O_3 , cerca de 71%. O mesmo possui características físico-químicas similares das argilas utilizadas para fabricação de cerâmica, identificadas pelos métodos de difratometria de raios X e fluorescência de raios X, os quais indicam a composição química do resíduo e as fases cristalinas do material.

Um setor que apresenta enorme potencial para contribuir na solução de problemas ambientais originários nos mais diversos processos industriais é o da cerâmica vermelha. O lodo desenvolve elevada plasticidade pela presença de argilominerais e matéria orgânica presentes em sua composição, sendo um bom substituto para argilas plásticas utilizadas em cerâmicas vermelhas (LIMA, 2016). Há diversas pesquisas que abordam a incorporação de lodo de ETA em determinadas porcentagens em materiais de construção civil diversos.

Um fator de importância para a incorporação no processo é a umidade do lodo a ser utilizado, dá-se preferência ao lodo com teor de sólidos superior a 20%, a distribuição de granulometria do lodo deve ser similar a da argila, para uma melhor aplicabilidade (ANDRADE, 2005). Estudos recentes (JUNKES et al., 2012. RODRIGUES; HOLANDA, 2013), demonstram viabilidade técnica, econômica e ambiental para a substituição da argila pelo lodo de ETA sem comprometimento às características técnicas do produto final, estas características são avaliadas pelos testes de retração linear, absorção de água e ruptura a flexão, todos realizados no material final na cerâmica já processada e queimada. A substituição deste tipo de resíduo por argila pode chegar em até 40% sem comprometer as propriedades dos materiais cerâmicos não estruturais, que possuem finalidade decorativa, como revestimento de parede (tijolo falso, listelo), também podendo ser substituído parcialmente em até 1,25% em peso de solo na fabricação de tijolo solo-cimento. Ainda no tijolo solo-cimento, segundo Khan (2017), o lodo também pode ser substituído em até 10% no solo. Esta prática pode ser considerada como método de redução de impacto ambiental, enriquecendo as alternativas das indústrias cerâmicas e preservando o meio ambiente.

Além disso, a cerâmica vermelha está inclusa nos materiais do setor da construção civil, em que, segundo Motta et al. (2014), está entre os setores que mais consomem recursos naturais e degradam o meio ambiente, estimando-se que em torno de 20 a 50% do total de recursos naturais utilizados pela sociedade são extraídos pelo setor da construção civil, o que torna extremamente necessário a confecção de novos materiais recicláveis para esse setor, dessa forma o consumo de recursos naturais diminuiria.

2.4 LANÇAMENTO EM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO

O lodo de ETA possui características diferentes de esgoto doméstico, sua adição ao sistema pode ocasionar comprometimento do bom funcionamento da ETE e ainda pode ser detectado algum nível de toxicidade no mesmo, podendo impactar negativamente a qualidade do corpo d'água receptor do efluente líquido tratado. Os requisitos cobrados pelas concessionárias para inserção de lodo de ETA em ETE é a equalização do volume que será disposto, ajuste de pH e sólidos totais, metais pesados, sulfetos e sulfatos de acordo com os limites para recebimento de efluentes não domésticos em sistema de esgoto (TSUTIYA, 2001).

Segundo Reis (2006), é uma opção que gera custos adicionais na operação das ETE's, pois as mesmas devem ser preparadas para receber maior volume de lodo a ser processado, os custos de transporte e despejo final, também contabilizados. É uma técnica usual quando as estações de tratamento de água já não possuem espaços disponíveis para tratamento do lodo. É viável se a rede da ETE possuir uma declividade que facilite o carregamento dos sólidos presentes no lodo e estiver operando com folga operacional para incorporar sem prejuízos a vazão adicional do lançamento.

Algumas vantagens são observadas, lodos ricos em ferro e alumínio, inseridos em descargas menores que 200mg/L promovem a remoção de fosforo e aumento da eficiência dos decantadores primários. Como desvantagem, observa-se aumento da sedimentação de lodo nos decantadores primários e inibição ou retardo do processo biológico das bactérias presente no efluente, devido ao aumento de concentração de sólidos dissolvidos advindos do lodo de ETA e aumento de alguns parâmetros como Demanda Química de Oxigênio (DQO), turbidez, Sólidos Suspensos Totais (TSUTIYA, 2001).

2.5 DISPOSIÇÃO EM ATERRO SANITÁRIO

Para disposição em aterro sanitário é necessário que sua classificação não seja a de resíduo perigoso, que de acordo com a norma NBR 10004 (ABNT, 2004), são resíduos que não possuem características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade. Deve-se também garantir que não existam líquidos livres, evitando assim contaminação de solo e água por percolação. O tratamento deste resíduo resume-se a segregação de sólido-líquido, por meio de clarificação, adensamento e desidratação, resultando na redução de volume ocupado, obtendo maior teor de sólidos, dessa forma pode-se dispor a fração sólida em aterros e reutilizar ou dispor a água removida de forma adequada (SILVEIRA, 2012)

Apesar do descarte de lodo de ETA em aterro sanitário ser uma alternativa viável e a mais utilizada pelas companhias de saneamento, este método trata o resíduo, com potencial para reaproveitamento, como rejeito, entrando em desacordo com a PNRS (BRASIL, 2010), na qual diz que rejeitos são resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.

Segundo Hoppen (2004), a presença de alguns compostos químicos, especificamente, íons metálicos, utilizados no processo de coagulação da água, pode oferecer resistência para os aterros que não recebem materiais sólidos, tornando esta operação limitada. Ademais, pela grande quantidade de disposição de lodo de ETA produzido, promovem redução da capacidade do aterro, tal como aumenta a necessidade do monitoramento de água subterrânea da região e de água de lixiviação (SILVEIRA et al., 2013).

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada baseou-se em uma abordagem quanti-qualitativa, estruturada em duas fases distintas e consecutivas, sendo a primeira, realização de levantamento de dados secundários, pesquisa bibliográfica, utilizando como referência bases de dados de periódicos, artigos, livros, revistas, sites oficiais, como também Leis e Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), utilizando como descritores: lodo de estação de tratamento de água, tratamento de lodo, destinação final de resíduo de ETA. As pesquisas às bases de dados foram realizadas no mês de abril de

2018. A segunda etapa consistiu na triagem e compilação dos dados encontrados e selecionado os que podem ser aplicados a realidade do lodo do estado de Pernambuco. Para tal, estabeleceu-se indicadores com vistas a avaliar e qualificar as publicações científicas que abordam o tema.

O presente estudo pretende analisar alternativas de destinação final para o lodo e dessa forma proporcionar sugestão de mudanças na realidade do gerenciamento do resíduo de ETA, a partir do momento que foi realizado levantamentos de dados concretos que poderão subsidiar outros estudos e contribuir para fins práticos na questão da destinação correta dos resíduos sólidos, amparar alterações necessárias nas legislações vigentes, para real execução da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A grande maioria das ETA brasileiras ainda lançam o lodo nos corpos d'água sem tratamento, gerando um ciclo vicioso e contraditório, no qual os rios são provedores de água para as ETA e também são receptores dos resíduos gerados por ela (OLIVEIRA; RONDON, 2016). O lançamento de lodo de ETA nos corpos d'água eleva a concentração de sólidos suspensos, conseqüentemente, aumenta a turbidez e diminui o teor de transparência de água.

A presença de turbidez em água bruta altera as condições de iluminação e alcance de radiação luminosa, influenciando negativamente na fotossíntese, no desenvolvimento de plantas aquáticas e de plânctons, ocasionando também redução na camada eutrófica, sombreamento da macrófitas, soterramento de bentos e hiperplasia das brânquias dos peixes (VIEIRA, 2015).

Este método de disposição tem sido restringido e proibido pelos órgãos responsáveis. Com isso, torna-se necessário uma mudança de gestão dos resíduos por parte das concessionárias de tratamento de água. Existem inúmeras alternativas ambientalmente corretas para a destinação do lodo de ETA. A primeira alternativa na priorização do gerenciamento dos resíduos sólidos é a não geração que como abordado, é improvável, visto que o lodo é proveniente do processo de tratamento da água bruta.

No entanto, existem tecnologias para a redução de lodo produzido nas ETA, mediante remoção de água livre e nos interstícios dos sólidos, podendo ser classificadas como: Sistemas Mecânicos (centrífugas, filtros-prensa, prensa desaguadora, filtros a vácuo) e Sistemas Naturais (lagoas de lodo e os leitos de secagem). (ACHON et al., 2008). Tais opções requerem alto custo de investimento ou grandes áreas para a sua

implementação. Com base nessa informação, trabalhou-se com as possibilidades de reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final, todas aplicáveis a realidade da produção de lodo no estado de Pernambuco.

A aplicação controlada no solo é uma ótima opção por ter no solo, elementos presentes no lodo, porém deve-se controlar o teor de alumínio. Com a compostagem há o ajuste do pH, aumento e no fornecimento de minerais. É uma opção excelente para a agricultura, além disso, após a compostagem, o lodo também pode ser aplicado ao solo, seguindo os mesmos parâmetros anteriormente mencionados.

A fabricação de material cerâmico opção interessante, pois não só recicla o lodo, como o transforma em uma matéria-prima ao substituir a argila em sua formulação. Dessa forma, o resíduo obtém uma destinação nobre e, segundo Silva (2017), diminui os impactos ambientais causados pela retirada de vegetação através das atividades extrativistas da argila e redução da poluição de corpos d'água. O lançamento em sistema de tratamento de esgoto pode comprometer o bom funcionamento da ETE, por isso deve ser feito de forma equalizada, de modo que possam beneficiar o sistema com a remoção de fósforo do efluente, aumentando a eficiência dos decantadores primários.

A disposição do lodo em aterros sanitários é uma opção correta, porém não há aproveitamento do potencial do resíduo, e por isso, está em último lugar na lista de prioridades do gerenciamento de resíduos sólidos. É importante explorar as possibilidades do lodo, através da caracterização para poder decidir entre a disposição no aterro ou outra alternativa. Segundo Achon et al. (2008), a disposição de lodo de ETA em aterros é uma solução para o resíduo, entretanto, o volume é elevado e os custos de disposição e transporte também se tornam altos.

Das opções estudadas (aplicação controlada no solo, compostagem, fabricação de material cerâmico, lançamento em sistemas de tratamento de esgoto e disposição em aterro sanitário) deve existir cuidados específicos em cada uma. Tendo pontos positivos e negativos, quando não realizado corretamente. Na literatura foi possível obter um gráfico das alternativas sugeridas em porcentagem, de acordo com a quantidade de vezes em que a opção foi sugerida (Figura 2). Com isso, pode-se perceber que a alternativa mais aclamada foi a fabricação de material cerâmico.

Figura 2 – Alternativas que a literatura revisada oferece (em porcentagem)



Fonte: Autoras.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho conferiu algumas opções de disposição final do lodo proveniente de ETA, das quais estão sendo discutidas atualmente. Os resultados obtidos trazem a partir da revisão de literatura meios de destinar o lodo proveniente de ETA de forma que reduza impactos ambientais e tragam a valorização desse resíduo, obedecendo a ordem de prioridade estabelecida pela PNRS (não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final) e aplicáveis à realidade da produção de lodo de ETA do estado de Pernambuco.

Foi possível concluir que o lodo de ETA tem um grande potencial de valorização, e as alternativas de destinação são inúmeras. No estudo realizado, a fabricação de materiais cerâmicos a partir de incorporação de lodo de ETA, é a opção mais abordada e viável, seguida de aplicação no solo e demais opções.

REFERÊNCIAS

ACHON, C.L. et al. Leito de Drenagem: Sistema natural para redução do volume de lodo de estação de tratamento de água. Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 13 – Nº 1, Rio de Janeiro. p. 54-62, jan/mar 2008.

ACHON, C.L.; BARROSO, M.M.; CORDEIRO, J.S. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISSO 24512: desafio do saneamento brasileiro. Engenharia Sanitária e Ambiental. v.18 n.2, Rio de Janeiro. p.115-122, abr/jun 2013.

ANDRADE, P. S. Avaliação do impacto ambiental da utilização de resíduo de estação de tratamento em indústria de cerâmica vermelha: estudo de caso. [Dissertação de Mestrado]. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Campinas, 2005.

ANDREOLI, Cleverson Vítório. Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: RiMa/ABES, 2001. 282 p. Disponível em: <<https://www.fi-nep.gov.br/images/apoioe-financiamento/historico-de-programas/prosab/CLeverson.pdf>>. Acesso em: 15 de abril 2018.

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

BOTERO, W. G.; et al. Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: perspectivas de aplicação agrícola. Quim. Nova, Vol. 32, No 8, 2018-2022, 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde – Portaria nº 2.914, 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Publicado no Diário Oficial da União - DOU de 16.05.2011.

BRASIL. Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e dá outra providencias. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9605.htm>. Acesso em: 09 de abril 2018.

BRASIL. Lei 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art.21 da constituição Federal, e altera o art.1 da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 21 de abril 2018.

BRASIL. Lei 12.305, 02 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. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 09 de abril 2018.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J.M.E. Revisão Bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. *Cerâmica*. vol.61 no.358. São Paulo. p.178-189. 2015.

BUENO, J. et al. Chemical and microbiological attributes of na oxisol treated with successive applications of sewage sludge. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 35, p. 1461-1470. 2011.

BUENO, J. Qualidade do solo após sucessivas aplicações de lodo de esgoto para o cultivo do milho. 2010. 72f. (Dissertação de Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico, Campinas, SP. 2010

COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO- COMPESA, 2017. Abastecimento de água. Disponível em:< <http://servicos.compesa.com.br/abastecimento-de-agua/>>. Acesso em: 20 de abril 2018.

ELK, A. Redução de emissões na disposição final (Mecanismo de desenvolvimento limpo aplicado a resíduos sólidos). 40p. Rio de Janeiro: IBAM, 2007.

FILHO, R. C. S. et al. O aproveitamento de resíduos sólidos urbanos, por meio do processo de compostagem aeróbia enriquecida com casca de sururu para aproveitamento na construção civil. *Ciências exatas e tecnológicas*. v.4. n.2. Alagoas. p. 125-134. 2017

GONÇALVES, F. et al. Incremento de lodo de ETA em barreiras impermeabilizantes de aterro sanitário. *Revista DAE*. v.65. n. 205. p.5-14. 2016.

HOPPEN, C.; et al. Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento portland para reduzir o impacto ambiental. *Quim. Nova*, v.. 29, No. 1, 79-84, 2006.

JUNKES, J. A.; et al. Ceramic Tile Formulation from Industrial Waste. *INTERCERAM* 60. p.36-41, 2011.

JUNKES, J.A.; et al. Combining mineral and clay-based wastes to produce porcelain-like ceramics: An exploratory study. *Applied Clay Science* 69. p. 50-57. 2012.

KHAN, T. A. et al. Production of soil-cement bricks using sludge as a partial substitute. *Earth Science Malaysia (ESMY)*. 1 (2). p. 10-12. 2017.

KLOC, A.; LAIRD, Y. Avaliação do impacto de lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) na qualidade das águas do arroio Pilão de Pedra. 2017. 75f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

LIMA, T. et al. Comportamento dos parâmetros físicos e químicos em uma leira de compostagem, durante a fase ativa. *Resíduos sólidos: Tecnologias e Boas Práticas de Economia Circular*. Recife, PE, 1 ed. EDUFRPE, p. 413-422, 2018.

LIMA, U. T. G. M. Utilização do Lodo de ETA como matéria prima alternativa para a indústria cerâmica. Trabalho de Conclusão de Curso - [Bacharel em Engenharia Ambiental]. Centro Universitário Tiradentes. 2016. 47f.

MOTTA, J. C. S. S. et al. Tijolo solo-cimento: análises das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. *e-xacta*. v.7, n.1, Belo Horizonte. p.13-26. 2014.

OLIVEIRA, I.; RONDON, O. Diagnóstico da gestão de lodo de estação de tratamento de água em Mato Grosso do Sul. *INTERAÇÕES*, Campo Grande, MS, v. 17, n. 4, p. 687-698, out./dez. 2016.

PIRES, I. C. G. & FERRÃO, G. E. Compostagem no Brasil sob a perspectiva da legislação ambiental. *REVISTA TRÓPICA: Ciências Agrárias e Biológicas*. ISSN 1982-4881. p.01-18, v.09, n.01, 2017.

REIS, E. L. T. Abordagem sistêmica do sistema de tratamento de água de Registro, São Paulo, com ênfase na avaliação do impacto do descarte dos resíduos na bacia hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape. São Paulo: IPEN/USP. 191 p, 2006.

RODRIGUES, L.P.; HOLANDA, J.N.F. Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológico de tijolo solo-cimento. *Cerâmica*. vol.59 no352. São Paulo. p.551-556. 2013.

RODRIGUES, L. P.; HOLANDA, J. N. Recycling of Water Treatment Plant Waste for Production of Soil-Cement Bricks. *Procedia Materials Science*. 8 p. 197-202. 2015.

SANTOS, L. et al. Compostagem nas escolas com uma ferramenta para implantação da educação ambiental no ensino fundamental. *Resíduos sólidos: Tecnologias limpas e boas práticas*. Recife, PE, 1. ed. EDUFRPE, p 268-280, 2015.

SEVAIOS, V. H. N. Estimativa do potencial energético dos resíduos sólidos urbanos: estudo de caso. *SODEBRAS*. v.11. n.128. p.159-163. 2016.

SILVA, S. ; FERNANDES, F. Compostagem de biosólidos, lodo de tratamento de água e resíduos de podas de árvores. In: XXVI Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria Y Ambiental, Lima, Peru, Anais. 1998. Disponível em: < <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidi/s/resisoli/peru/brares187.pdf> > . Acesso em: 20 de abril 2018.

SILVA, T. et al. Avaliação de tijolo ecológico composto por lodo de ETE. *Resíduos Sólidos: gestão em indústrias e novas tecnologias*. Recife, PE, 2. ed. EDUFRPE, p. 402-411, 2017.

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

TSUTIYA , M. T.; HIRATA, A. Y. Aproveitamento e disposição Final de lodos de estações de tratamento do Estado de São Paulo. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*. São Paulo, v. 2, n. 2, p. 70-81. 1997.

VIEIRA, M. Parâmetros de qualidade de água. Agência Nacional das Águas – ANA. 2015.