



**9576 – REAPROVEITAMENTO DE LODOS DE SANEAMENTO DE ETA,
FOSSA E TANQUE SÉPTICO COMO MATÉRIA-PRIMA NA CONSTRUÇÃO
CIVIL: UMA REVISÃO**

João Henrique Mine⁽¹⁾

Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Especialista em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas (FGV). Mestrando em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Stéphanie Abisag Sáez Meyer Piazza⁽²⁾

Tecnóloga em Química Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre e Doutoranda em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Urivald Pawlowsky⁽³⁾

Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Janeiro (UFRJ). Doutor em Engenharia Química pela State University of New York.

Vsévolod Mymrine⁽⁴⁾

Mestre em Cristalografia, Mineralogia e Geoquímica pela Universidade Federal Lomonosov (Moscou). Doutor em Engenharia Geológica e Ambiental pela Universidade Federal Lomonosov (Moscou).

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Rua Dr. Alcides Vieira Arcoverde, nº 1225 - Jardim das Américas - Curitiba - Paraná - CEP: 81520-260 - Brasil - Tel: (41) 99548-7949 - e-mail: jhmine@gmail.com.

RESUMO

A problemática da gestão dos resíduos de saneamento e os impactos da má disposição geram uma crescente necessidade de se buscar alternativas de destinação e aproveitamento destes materiais. A disposição dos lodos de saneamento pode resultar em impactos ambientais em grande escala e por isso deve-se buscar formas de agregar valor a esse resíduo e o reinserir no processo produtivo. Uma forma é a utilização como matéria-prima para a fabricação de materiais de construção civil. O objetivo desta revisão bibliográfica foi levantar oportunidades de pesquisa abordando o reaproveitamento dos lodos de fossa e tanque séptico e lodos de ETA. Verificou-se que as principais alternativas já estudadas para reuso dos lodos de saneamento são: produção de materiais de construção incorporados ao cimento ou cerâmicos, disposição em áreas degradadas e aterros sanitários, coprocessamento, entre outros. Esta pesquisa demonstrou que existem diferentes formas de reaproveitamento, podendo ser o uso na composição de novos materiais com características principalmente de concreto e cerâmica. Sendo assim é possível destinar os resíduos de maneira adequada, buscando evitar os impactos ao meio ambiente, oportunizando o desenvolvimento de produtos de qualidade superior, quando comparados aos tradicionais provenientes de matéria-prima virgem, reduzindo custos de disposição e de produção.

PALAVRAS-CHAVE: lodos de saneamento, reaproveitamento, materiais de construção civil.

INTRODUÇÃO

O quadro sanitário brasileiro demonstra que grande parcela da população não tem acesso aos serviços de coleta de esgoto, sendo obrigada a recorrer a sistemas individuais de tratamento ou a lançar diretamente os esgotos em valetas, galerias pluviais ou exatamente no corpo receptor (CARVALHO & ANDREOLI, 2015).

O uso de fossas e tanques sépticos como tratamento individualizado faz parte do que tem sido proposto pelo Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), como forma de universalização do saneamento no Brasil. Ou seja, deve ser incluído como estratégia de gestão do saneamento pelos municípios e pelas companhias de saneamento. O que mais diferencia uma fossa de um tanque séptico é o fato do tanque séptico ser uma unidade de tratamento de esgotos, o qual possui um efluente que necessita ter um destino final, e geralmente a disposição local de esgotos que ocorre é a infiltração no solo através de sumidouro ou valas de infiltração. Já a fossa é utilizada para disposição final dos esgotos. Ou seja, ambos são funcionalmente bastante distintos (ANDREOLI, 2009).



Já com relação ao lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) sabe-se que o processo de tratamento de água convencional utilizado na grande maioria dos sistemas de abastecimento, produz na fase de sedimentação e filtração um resíduo composto por materiais concentrados existentes na água bruta, acrescido de coagulantes (sais de alumínio ou ferro) e carbonatos, que é o lodo de ETA (DI BERNARDO, 2005).

Apesar da frequente utilização do sistema convencional, os lodos provenientes dos decantadores das ETAs têm composições diferenciadas quando comparados entre si. Isso ocorre por vários fatores como: qualidade da água bruta, concentração e tipo de produto químico utilizado para coagulação e auxiliares de coagulação, tipo de decantador, a forma de limpeza dos filtros, polímeros empregados na etapa de desaguamento, entre outros. Segundo a NBR-10004 (ABNT, 2004) os lodos de ETA são classificados como “resíduos sólidos” devendo, portanto, ser tratados e dispostos como tal. Entretanto, estes resíduos poderiam ser classificados como simples efluentes líquidos do processo de tratamento de água o que alteraria consideravelmente as opções para seu destino final (DI BERNARDO, 2012).

Devido aos poucos estudos e da grande variação da composição do lodo de ETA, o real impacto causado pela sua disposição final não é bem conhecido. Estima-se que 2.000 toneladas de lodo por dia são lançadas nas águas brasileiras sem nenhuma forma de tratamento (CORDEIRO, 1993).

Outro problema recorrente se refere a definição da destinação final do lodo séptico que acarreta em um custo adicional para a gestão das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) que o recebem. A adequação das ETEs, bem como sua operação para o recebimento deste resíduos representam custos que geralmente não estão previstos nos planos de gestão. Os programas de gestão de lodo séptico devem, portanto, avaliar os casos específicos para que se possa dimensionar os custos caso a caso, a fim de dar a necessária segurança para embasar tecnicamente esta opção tecnológica e definir a questão dos custos envolvidos (CARVALHO & ANDREOLI, 2015).

Uma opção de destino do lodo de ETE e de ETA é utilizá-lo como matéria prima para geração de materiais de construção civil. Atualmente, a reciclagem e, de forma geral, o aproveitamento de resíduos, surgem como uma necessidade para alcançar o equilíbrio dos ecossistemas e sua sustentabilidade. Nesse contexto, o Brasil vem contribuindo com pesquisas em diversas áreas com destaque na agricultura, construção civil e, recentemente, nas áreas de resíduos derivados do saneamento ambiental, nos quais se incluem os lodos sépticos e lodos do tratamento de água (INGUNZA *et al.*, 2015).

Para que o crescimento da população brasileira seja sustentável será necessária a elaboração e incorporação de novas estratégias de mitigação das pressões exercidas aos recursos naturais pela extração de matéria-prima, de forma a suprir a crescente demanda. Com o aumento da urbanização e índices de saneamento do país a tendência é de se aumentar consideravelmente o volume dos lodos gerado nas cidades brasileiras, necessitando com isso de grandes áreas de aterros sanitários para destinação destes resíduos, espaços estes cada vez mais escassos e caros. Neste sentido a adoção de técnicas de reutilização de materiais, reciclagem e incorporação de certos resíduos urbanos, no processo construtivo, poderia aliar preservação de recursos naturais com ganho econômico e produtividade (INGUNZA *et al.*, 2015).

Diferentes maneiras de aproveitamento dos lodos de saneamento como materiais de construção estão sendo sugeridas internacionalmente e nacionalmente como alternativas seguras para a disposição final destes resíduos, os quais serão expostos neste trabalho.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é investigar as opções tecnológicas em estudo na comunidade científica e acadêmica, levantar oportunidades de novas pesquisas e apresentar uma revisão referente à destinação dos lodos de saneamento (ETA, fossa e tanque séptico) e a possibilidade de uso dentro da área de construção civil, visando seu reaproveitamento e minimização de descarte.

METODOLOGIA

Esta revisão bibliográfica consistiu na busca e avaliação de pesquisas publicadas em artigos e livros abordando tecnologias de reaproveitamento dos lodos de saneamento (ETA, fossa e tanque séptico), principalmente para composição de materiais para a construção civil.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação dos lodos de saneamento como matéria-prima em qualquer cadeia produtiva da construção civil dependerá intrinsecamente se as suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas se assemelham das propriedades encontradas nos materiais tido como convencionais. Para isso faz-se necessário caracterizar estes materiais para melhor conhecê-los e buscar empregá-los da maneira mais viável possível, no intuito de obter produtos finais tecnicamente, ambientalmente e economicamente compatíveis com os já produzidos no mercado. Sendo assim as análises normalmente realizadas para caracterização dos lodos são: análise química por fluorescência de raios X (FRX), análise mineralógica por difração de raios X (DRX), análise térmica diferencial (ATD) e termogravimétrica (ATG), análise granulométrica, massa específica, limites de consistência, índice de atividade pozolânica (INGUNZA *et al.*, 2015).

Após os materiais de construção civil serem confeccionados outras análises são realizadas como: Resistência à compressão uniaxial; Dilatação linear; Resistência à água; Absorção à água; Densidade aparente; Composição mineralógica por raios X – Difratomia (DRX); Microscopia eletrônica de varredura (MEV); Microanálise química (EDS); Porosidade aparente; Mapeamento de elementos químicos; Análises térmicas diferencial (DTA) e gravimétrica (TGA); Testes de lixiviação (NBR 10.005) e Testes de solubilização (NBR 10.006) (MEYER, 2012).

Uma pesquisa realizada pela Universidade de Campinas (UNICAMP) buscou utilizar o lodo de fossa e tanque séptico através do Coprocessamento com cimento. A pesquisa demonstrou que esses lodos sépticos possuem baixo poder calorífico, inviabilizando seu uso como combustível na indústria cimenteira, por meio da tecnologia denominada de coprocessamento (INGUNZA *et al.*, 2015).

Já a Universidade do Rio Grande de Norte (UFRN) buscou a utilização de lodos sépticos na construção civil. Esta pesquisa indicou que esse lodo séptico possui reduzida ação pozolânica, restringindo sua aplicação, especialmente para lodos não incinerados. Mas é possível utilizar como adição mineral na forma de material de preenchimento (*filler*) em matrizes cimentícias, tendo como principal finalidade deste tipo de uso o refinamento da estrutura de poros e produtos de hidratação do cimento, bem como o aumento da densidade das misturas de preparo dos concretos e argamassas (INGUNZA *et al.*, 2015).

Com o lodo de ETA já foram realizados vários estudos de avaliação de formas de disposição final do lodo, tais como, aplicação do lodo de ETA em aterro sanitário ou em áreas degradadas, o seu uso em solo cimento, na produção de matriz de concreto e também em artigos de cerâmica vermelha.

O estudo de TEIXEIRA *et al.* (2013) envolveu a disposição de lodo de ETA em aterros sanitários, e para tal foram determinados parâmetros de compactação e índice de suporte do lodo com e sem adição de cal, permitindo avaliar a estabilidade mecânica das células contendo lodo de ETA, e caso o lodo seja usado para recobrimento das células, sua capacidade de suporte. Observou-se que para avaliar o uso de lodo de ETA em aterros sanitários é recomendado verificar umidade de amostragem, características físicas, características químicas, parâmetros de compactação, permeabilidade e lixiviação. Como o lodo úmido é de difícil aplicação, sugere-se que o lodo seja amostrado no estado seco para determinação de características e parâmetros em laboratório. Recomenda-se a secagem do lodo em leito de drenagem a valores inferiores a 15% de umidade, para ficar com característica de material granular.

A pesquisa sobre disposição em áreas degradadas de MOTTA *et al.* (2013) consistiu na avaliação da influência do uso de lodo de ETA em processos de recuperação de áreas, quanto às características de solo, restabelecimento da vegetação e recomposição da vegetação nativa da região. Os resultados indicaram que aplicação de lodo de ETA em doses elevadas não influenciaram significativamente o crescimento das plantas, sugerindo que sua disposição possa ser realizada em áreas degradadas, e eventualmente em não degradadas também. Nas características físicas analisadas ocorreu uma diminuição significativa da densidade e aumento de macroporosidade do solo com o uso de lodo de ETA e de modo geral, o lodo de ETA até dosagem de 170 mg/ha, teve pequeno efeito sobre o solo (propriedades químicas e físicas) e crescimento e nutrição das plantas.

Há também pesquisas que utilizaram o lodo de ETA como componentes de concretos e argilas cerâmicas. Dentre os estudos existentes tem o elaborado por POZZOBON *et al.* (2013) que utilizou lodo de ETA na fabricação de cerâmica artística. Ele concluiu que é possível incorporar até 18% de lodo de ETA à massa cerâmica para a fabricação de artefatos artísticos. Entretanto, o lodo deve ser seco, moído e peneirado antes de ser incorporado à massa cerâmica, para melhorar a sinterização, reduzir a porosidade aparente, a absorção de água e a ocorrência de defeitos nas peças sinterizadas que ocorrem com o uso do lodo in natura. Além disso



devido a elevada qualidade estética das peças obtidas a partir de misturas de argila comercial com até 18% de lodo seco em estufa e em leitos artesanais sugeriu-se a necessidade de estudar a incorporação de porcentagens maiores de lodo de ETA às massas cerâmicas, vislumbrando sempre a transformação deste resíduo numa importante matéria-prima para o setor de cerâmica artística.

TARTARI *et al.* (2013) utilizaram o lodo de ETA na produção de artigos de cerâmica vermelha, eles verificaram que o lodo de ETA da unidade Tamanduá de Foz do Iguaçu – PR, área de estudo, não pode ser usado como componente majoritário em massas cerâmicas, devido suas características de desplastificante, grande porcentagem de grãos de tamanho grosseiro e elevada perda ao fogo. Entretanto, pode ser incorporado como aditivo em massas argilosas de elevada plasticidade para equilibrar a organização das partículas na peça cerâmica, otimizando o processo de secagem. E concluíram que a produção de tijolos pelo processo de extrusão com porcentagens admissíveis de lodo adicionados à massa com umidade real de saída da centrífuga é uma alternativa viável para fabricação de cerâmica vermelha.

WIECHETECK & DENIS (2013) avaliaram o uso de lodo de ETA em solo cimento para aplicação em pavimentação. Com os resultados obtidos verificaram que quando se adiciona lodo à mistura solo cimento há uma diminuição da qualidade do conjunto, aumentando o índice de retração volumétrica, afetando sua durabilidade. Além disso, verificaram que os períodos de intensa proliferação de algas na área de estudo (Represa Alagados) refletiram na qualidade da água bruta do Rio Pitangui, o que torna impraticável o aproveitamento do lodo da ETA devido a sua característica orgânica. Nestes casos, sugeriram que nesses períodos em específico o lodo seja lançado na rede coletora de esgoto.

Há estudos ainda que utilizam o lodo de ETA para a produção de matriz de concreto, como verificado no trabalho de HOPPEN *et al.* (2013). Neste estudo evidenciou-se que os concretos com as respectivas adições de lodo de ETA e metodologia de fabricação adotada, atingiram a resistência mecânica mínima recomendada para a sua utilização em concreto estrutural, mas pelo não conhecimento das interações químicas existentes entre o lodo e o concreto, e principalmente, pela atividade incerta de corrosão, direciona-se sua utilização para concretos não estruturais, tais como: contrapisos, blocos e placas de vedação, peças decorativas em concreto, placas de estai para redes de distribuição de energia elétrica, tampas de concreto para coberturas de fossas e caixas de passagem, pedestais para apoio de equipamentos, calçadas e pavimentos residenciais. Na comparação dos concretos com e sem a adição do lodo de ETA observou-se uma redução nas propriedades mecânicas analisadas pelo aumento da sua proporção na mistura, no entanto, estas alterações nas propriedades não comprometeram o atendimento as exigências requeridas. A utilização do lodo reduziu o consumo de matérias primas naturais, tais como: areia, brita e, indiretamente, insumos para a fabricação de cimento, uma vez que o aglomerante usado, também, foi reduzido. Tais reduções quantitativas destes materiais minimizam o impacto ambiental pela diminuição da extração dos minérios nas jazidas e pela redução dos poluentes atmosféricos advindos da produção de cimento. Também, podem contribuir para a adoção de alternativas mais sustentáveis de destinação final do lodo de ETA. De maneira geral, apesar de ocorrerem reduções na qualidade do concreto com a incorporação do lodo de ETA com teores de 4% e 8%, sua utilização como forma de reaproveitamento pode ser considerada viável para os usos não estruturais (HOPPEN *et al.*, 2013).

Outrossim, algumas pesquisas tem sido publicadas internacionalmente nos últimos anos compartilhando o objetivo de investigar possíveis aplicações do lodo de ETA na composição de novos materiais, ou em substitutos, para a construção civil, indicando benefícios quanto à redução de custos de produção, redução da demanda por extração de matéria-prima virgem e de destinação do lodo da ETA. Nesse sentido, KYNCL (2008) verificou alternativas de destinação do lodo de ETA resultante dos processos de tratamento com adição de sulfato de alumínio e cloreto férrico, propondo inicialmente a minimização na geração do lodo pela regeneração dos coagulantes com ácido sulfúrico. Em seguida propôs a aplicação nos processos de ETE contribuindo na remoção de fósforo e, como destinação final, o emprego como aditivo na moagem de cimento, comparando as características físico-químicas do lodo de ETA aos aditivos de cimento utilizados na República Tcheca. Entretanto, não submeteu a hipótese a testes empíricos, com elaboração de composições e ensaios de corpos de prova, para verificar propriedades e checar o atendimento aos requisitos técnicos de um novo produto compreendendo cimento Portland com adição de lodo de ETA, deixando aberta a oportunidade de aprofundamento no estudo com foco no desenvolvimento deste produto.

Seguindo a proposta de incorporação do lodo de ETA aos materiais de construção com ligantes, o estudo de ALQAM *et al.* (2011) desenvolvido na Jordânia investigou a substituição do cimento pozolânico Portland por lodo de ETA resultante da coagulação com cloreto férrico na fabricação de lajotas para uso externo. Os ensaios conduzidos testaram a hipótese de produção de lajotas com substituição de 10%, 20%, 30%, 40% e



50% de cimento por lodo de ETA e checaram o atendimento às resistências mínimas de 2,8 MPa, a absorção de água e a eventual lixiviação de metais. Todos os corpos de prova obtidos mantiveram a absorção de água próximo a 10% em massa e as concentrações de metais no lixiviado permaneceram abaixo dos limites regulatórios. Com exceção da composição com 50% de lodo de ETA, as lajotas produzidas superaram a resistência mínima requerida, apresentando uma possível correlação linear entre a resistência à ruptura e o percentual de lodo de ETA na composição. Sugere-se dessa forma que o lodo de ETA incorporado comporta-se como um agregado à massa das lajotas, que apesar de não comprometer ou melhorar as características do produto, promove benefícios em termos de custo e na evidente destinação do lodo.

Como alternativa à incorporação do lodo de ETA em materiais junto ao cimento Portland, a pesquisa de ANYAKORA (2013) considerou a substituição parcial da argila na fabricação de blocos cerâmicos na Nigéria. Formulou-se corpos de prova com frações de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% de lodo de ETA, os quais foram submetidos ao processo de queima à 850°C, 900°C, 950°C, 1000°C e 1050°C. Todos os blocos obtidos através do processo de queima a 1050°C superaram a resistência mínima de 5 MPa. Os blocos com 5% de lodo de ETA na sua composição atingiram a resistência mínima em todas as faixas de temperatura de queima estudadas, já os blocos produzidos com 10% de lodo de ETA alcançaram o requisito a partir da temperatura de queima de 900°C. Além disso, constatou-se que as concentrações de metais contidos no lixiviado de todos os corpos de prova eram negligenciáveis em comparação às normas observadas. Comparando-se as características entre o lodo de ETA e a argila usados no estudo identificou-se como maior diferença o reduzido teor de sílica presente no lodo, o que pode explicar a perda de resistência com o acréscimo na substituição da argila, e maiores concentrações de alumina e óxido de ferro. O autor ANYAKORA (2013) sugere que a redução do teor de sílica nos corpos de prova formulados contribuiu para o declínio nas resistências observadas devido à diminuição das formações vítreas na estrutura do material. Possivelmente, tal condição poderia ser revertida com a incorporação de outros resíduos de origem industrial ricos em sílica, como o pó de vidro ou resíduo de jateamento com areia.

Considerando essa abordagem ampla, com a inclusão de resíduos industriais junto ao lodo de ETA, a pesquisa desenvolvida por MYMRIN *et al.* (2017) investigou a possibilidade de combinar propriedades complementares de resíduos industriais ao lodo de ETA, assegurando maior flexibilidade de processo com atendimento aos requisitos para blocos cerâmicos e oportunizando a imobilização de contaminantes presentes em resíduos industriais. Dessa forma, o trabalho empregou lodo de ETA combinado com resíduos ricos em sílica da indústria do vidro, sais com metais pesados de neutralização ácida provenientes da reciclagem de baterias e a mistura de argila com areia. Foram preparadas e testadas oito formulações desde a pura composição de argila até à completa eliminação do recurso natural com uso apenas de resíduos compreendendo 50% de lodo de ETA, 25% de resíduos de vidro e 25% de sais de neutralização de ácidos de bateria. Após queima a 900°C os corpos de prova produzidos apenas com resíduos atingiram resistências muito semelhantes àquelas dos corpos produzidos com argila e areia, 9,2 MPa e 8,5 MPa respectivamente, e ainda proporcionaram imobilização dos metais pesados verificada pelo teste de solubilização e lixiviação. Além disso, nos processos de queima acima 950°C os corpos de prova compostos apenas de resíduos tiveram desempenho de resistência muito superior àqueles compostos integralmente de matéria-prima virgem, atingindo 20,2 MPa após queima a 1100°C contra 5,4 MPa obtidos após o mesmo processo para a composição de 100% argila. Portanto, os ensaios conduzidos por MYMRIN *et al.* (2017) propõem que, além de melhorar o desempenho ambiental e reduzir os custos de produção, a combinação das propriedades de diferentes resíduos podem igualmente resultar em produtos seguros e com desempenho superior aos correspondentes produzidos tradicionalmente a partir de matéria-prima virgem.

Na Tabela 1 são apresentados os diferentes usos dos lodos descritos nesse trabalho, além de outras pesquisas na área que foram alvo da revisão deste trabalho.

Tabela 1: Compilado dos diferentes usos dos lodos de saneamento.

| TIPO DE LODO | APLICAÇÃO | REFERÊNCIA |
|--------------------------------|--|-------------------------------|
| Lodo de fossa e tanque séptico | Coprocessamento com cimento | INGUNZA <i>et al.</i> , 2015. |
| Lodo de fossa e tanque séptico | Utilização na construção civil (concretos, argamassas e na forma de material de preenchimento em matrizes cimentícias - filer) | INGUNZA <i>et al.</i> , 2015. |
| Lodo de fossa e | Bloco cerâmico | ALLEMAN & BERMAN, 1984; |



| TIPO DE LODO | APLICAÇÃO | REFERÊNCIA |
|--------------------------------|---|--|
| tanque séptico | | TAY, 1987; SLIM & WAKEFIELD, 1991; TAY & SHOW, 1994; ANDERSON <i>et al.</i> , 1996; CUSIDÓ <i>et al.</i> , 1996; DOMINGUEZ & ULLMANB, 1996; OKUNO & TAKAHASHI, 1997; TAY & SHOW, 1997; WIEBUSCH & SEYFRIED, 1997; OKUNO & YAMADA, 2000; LIN & WENG, 2001; WENG <i>et al.</i> , 2003; JORDÁN <i>et al.</i> , 2005; INGUNZA <i>et al.</i> , 2006; INGUNZA <i>et al.</i> , 2011; INGUNZA <i>et al.</i> , 2013. |
| Lodo de fossa e tanque séptico | Adição de minerais para argamassas e concreto de cimento Portland | FONTES <i>et al.</i> , 2004; CYR <i>et al.</i> , 2007. |
| Lodo de ETA | Uso em aterro sanitário | TEIXEIRA <i>et al.</i> , 2013. |
| Lodo de ETA | Disposição em Área Degradada | MOTTA <i>et al.</i> 2013 |
| Lodo de ETA | Fabricação Cerâmica artística | POZZOBON <i>et al.</i> , 2013 |
| Lodo de ETA | Cerâmicas vermelhas | TARTARI <i>et al.</i> , 2013; MYMRIN <i>et al.</i> , 2017. |
| Lodo de ETA | Uso em solo cimento para aplicação em pavimentação | WIECHETECK & DENIS, 2013 |
| Lodo de ETA | Produção de Matriz de concreto | HOPPEN <i>et al.</i> , 2013 |
| Lodo de ETA | Produção de cimento Portland | KYNCL, 2008. |
| Lodo de ETA | Incorporação na produção de lajotas para uso externo | ALQAM; JAMRAH; DAGHLAS, 2011. |
| Lodo de ETA | Substituição de argila na produção de blocos cerâmicos | ANYAKORA, 2013. |

CONCLUSÃO

Há grande variedade de estudos publicados abordando o reaproveitamento de lodos de saneamento, provenientes de ETA, fossas e tanques sépticos, na composição ou substituição de matéria-prima virgem de materiais de construção civil. Na maioria dos casos, o resíduo é incorporado como agregado à massa para produção de materiais cimentícios e cerâmicos, não tendo contribuição ou não comprometendo as propriedades técnicas do produto final. De qualquer forma, são soluções que representam uma destinação segura ao resíduo, reduzem a demanda pelo recurso natural substituído e possivelmente os custos de produção. Já em outros casos a pesquisa considera a combinação dos lodos de saneamento e um conjunto de resíduos industriais, eventualmente suprimindo propriedades não atendidas individualmente pelos componentes, nos quais excedeu-se expressivamente o desempenho de resistência dos produtos em relação aos correspondentes tradicionalmente obtidos exclusivamente a partir de matéria-prima virgem. Além disso, a combinação de resíduos promoveu uma solução conjunta para destinação do lodo de ETA e imobilização de metais pesados na estrutura vítrea da cerâmica. Portanto, há oportunidade para novos estudos em contribuição ao desenvolvimento sustentável a partir da combinação de lodos de saneamento com outros resíduos industriais, oferecendo maior eficiência no aproveitamento dos fluxos de materiais, redução da demanda por recursos naturais, menores custos de produção e soluções para resíduos com metais pesados em produtos para construção civil seguros e de qualidade superior.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: Classificação de Resíduos. Rio de Janeiro, 2004.



2. ALLEMAN, J.E.; BERMAN, N. *Constructive sludge management: biobrick*. *Journal of Environmental Engineering*, v.110, n.2, p. 301-311, 1984.
3. ALQAM, M., JAMRAH, A., DAGHLAS, H. *Utilization of cement incorporated with water treatment sludge*. *Jordan Journal of Civil Engineering*, v.5, n.2, p.268-277, 2011.
4. ANDERSON, M.; SKERRATT, R. G.; THOMAS, J. P.; CLAY, S. D. *Case study involving using fluid-dised bed incinerator sludge ash as a partial clay substitute in brick manufacture*. *Water Science and Technology*, v.34, ed.3-4, p.507-515, 1996.
5. ANYAKORA, N.V. *Characterization and performance evaluation of water works sludge as bricks material*. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, v.3, n.3, p.69-79, ISSN 2305-8269, 2013.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10005:2004: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10006:2004: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
8. ANDREOLI, C. V (Coord.). *Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias, tratamento, gerenciamento e destino final*. Rio de Janeiro: ABES, Finep, Projeto Prosab 5, 2009.
9. CARVALHO, E. H. de; ANDREOLI, C. V (Coord). *Lodos de fossa e tanque séptico: orientações para definição de alternativas de gestão e destinação*. Curitiba: ABES, 2015.
10. CORDEIRO, J. S. *Importância do Tratamento e Disposição Adequada de Lodos de ETAs*. In: REALI, M. A. P. (Coord.) *Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de lodos de Estações de Tratamento de Água*. Rio de Janeiro: ABES, 1993.
11. CUSIDÓ, J. A.; DEVANT, M.; CELEBROVSY, M.; RIBA, J.; ARTEAGA, F. *Ecobrick: a new ceramic material for solar buildings*. *Special Issue World Renewable Energy Congress Renewable Energy, Energy Efficiency and the Environment*. *Renewable Energy*, v.8, n.1-4, p.327-330, 1996.
12. CYR, M.; COUTAND, M.; CLASTRES, P. *Technological and environmental behavior of sewage sludge ash (ssa) in cement-based materials*. *Cement and Concrete Research*, v.37, n.8, p.1278-1289, 2007.
13. DI BERNARDO, L. *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*. In: DI BERNARDO, A. Segunda edição/ São Carlos: RiMa, 2005.
14. DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. *Métodos e Técnicas de Tratamento e Disposição dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água*. São Carlos: Editora LDiBe, 2012.
15. DOMINGUEZ, E.; ULLMANB, R. *Ecological bricks made with clays and steel dust pollutants*. *Applied Clay Science*, v.11, ed.2-4, p. 237-249, 1996.
16. FONTES, C.; BARBISA, M.; TOLEDO, R.; GONÇALVES, J. *Potentially of sewage sludge ash as mineral additive in cement mortar and high performance concrete*. In: VÁZQUEZ, E.; HENDRIKS, C.; JANSSEN, G. (Eds.). *International RILEM Conference on the Use of Recycled Materials in Building and Structures*. Bagnoux-França: RILEM Publications SARI, 2004.
17. HOPPEN, C.; PORTELLA, K. F.; ANDREOLI, C. V. *Uso do Lodo de ETA na Produção de Matriz de Concreto*. In: CARNEIRO, C.; ANDREOLI, C. V. (Coord.). *Lodo de Estações de Tratamento de Água – Gestão e Perspectivas Tecnológicas*. Curitiba: Sanepar, 2013. p. 561-610.
18. INGUNZA, M. P. D.; NDREOLI, C. V.; NASCIMENTO, R. M.; TINÓCO, J.D.; HOPPEN, C.; PEGORINI, E. *Uso de resíduos de saneamento na fabricação de cerâmica vermelha*. In: ANDREOLI, C. V. *Alternativas de uso de resíduos do saneamento*. Rio de Janieor, ABES, 2006, p.283-359.
19. INGUNZA, M. P. D.; DUARTE, A.; NASCIMENTO, R. *Use of sewage sludge as raw material in the manufacture of soft-Mud Bricks*. *Journal of Materials in civil Engineering*, v.23, n.6, p.852-856, 2011.
20. INGUNZA, M. P. D.; LIMA, A. D.; ARAUJO, A. C. *Use of septic tank sludge as raw material in the manufacture of bricks*. *Advanced Materials Research*, v.664, p.638-643, 2013.
21. INGUNZA, M. P. D.; CASSINI, S. T.; FILHO, B. C.; FILHO, F. A.; TONETTI, A. L.; NASCIMENTO, R. F.; OLIVEIRA, J. P.; PINOTTI, L. M.; LIMA, J. F.; DIAS, F. P.; MARINHO, L. E. O. *Aproveitamento de lodos de fossa e tanques sépticos*. In: CARVALHO, E. H. de; ANDREOLI, C. V (Coord). *Lodos de fossa e tanque séptico: orientações para definição de alternativas de gestão e destinação*. Curitiba: ABES, 2015. p. 281-344.
22. JORDÁN, M. M.; ALMENDRO-CANDEL, M.B.; ROMERO, M.; RINCÓN, J. M. *Application of sewage sludge in the manufacturing of ceramic tile bodies*. *Applied Clay Science*, v.30, p. 219-224, 2005.
23. KYNCL, M. *Opportunities for water treatment sludge re-use*. *GeoScience Engineering*, v.LIV, n.1, p.11-22, ISSN 1802-5420, 2008.
24. LIN D. F.; WENG C.H. *Use of sewage sludge ash as brick material*. *J. Environ. Eng.*, v.127, n.10, p.922-927, 2001.



25. MEYER, S.A.S. Aproveitamento de água residuária tratada e lodo físico-químico provenientes da produção de painéis de MDF. Curitiba, 2012. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, 2012.
26. MOTTA, A. C. V.; DALPISOL, M.; SIMON, P. L.; SERRAT, B. M.; BITTENCOURT, S.; CARNEIRO, C.; ANDREOLI, C. V. *Disposição do Lodo de Estação de Tratamento de Água em Área Degradada*. In: CARNEIRO, C.; ANDREOLI, C. V. (Coord.). Lodo de Estações de Tratamento de Água – Gestão e Perspectivas Tecnológicas. Curitiba: Sanepar, 2013. p. 441-480.
27. MYMRIN, V.; ALEKSEEV, K.; FORTINI, O.M.; CATAI, R.E.; NEGALLI, A.; RISSARDI, J.L.; MOLINETTI, A.; PEDROSO, D.E.; IZZO, R.L.S. *Water cleaning sludge as principal component of composites to enhance mechanical properties of ecologically clean red ceramics*. *Journal of Cleaner Production*, v.145, p.367-373, 2017.
28. OKUNO, N.; TAKAHASHI, S. *Full scale application of manufacturing bricks from sewage*. *Water Science & Technology*, v.36, n.11, p. 234-250, 1997.
29. OKUNO, N.; TAKAHASHI, S. *Evaluation of full scale solidification processes implemented in Tokyo lightweight aggregate, slag and brick*. *Water Science and Technology*, v.41, n.8, p.69-76, 2000.
30. POZZOBON, J. C.; LUCAS, J. F. R.; MORA, N. D. *Uso do Lodo de ETA na Fabricação de Cerâmica Artística*. In: CARNEIRO, C.; ANDREOLI, C. V. (Coord.). Lodo de Estações de Tratamento de Água – Gestão e Perspectivas Tecnológicas. Curitiba: Sanepar, 2013. p. 501-538.
31. SLIM, J. A.; WAKEFIELD, R. *The utilization of sewage sludge in the manufacture of clay bricks*. *Water SA*, v. 17, n.13, p. 197-202, 1991.
32. TARTARI, R.; MORA, N. D.; MÓDENES, A. N.; PIANARO, S. A. *Uso do Lodo da ETA Tamanduá na Produção de Artigos de Cerâmica Vermelha*. In: CARNEIRO, C.; ANDREOLI, C. V. (Coord.). Lodo de Estações de Tratamento de Água – Gestão e Perspectivas Tecnológicas. Curitiba: Sanepar, 2013. p. 611-652.
33. TAY, J. H. *Bricks manufactured from sludge*. *Journal of Environmental Engineering*, v.113, n.2, p. 278-284, 1987.
34. TAY, J. H.; SHOW, K. Y. *Municipal wastewater sludge as cementitious and blended cement materials*. *Cement and Concrete Composites*, v.16, n.1, p.39-48, 1994.
35. TAY, J. H.; SHOW, K. Y. *Resource recovery of sludge as a building and construction material: a future trend in sludge management*. *Water Science and Technology*, v.36, n.11, p. 259-266, 1997.
36. TEIXEIRA, R. S.; RODRIGUEZ, T. T.; FERNANDES F. *Uso do Lodo de ETA em Aterro Sanitário*. In: CARNEIRO, C.; ANDREOLI, C. V. (Coord.). Lodo de Estações de Tratamento de Água – Gestão e Perspectivas Tecnológicas. Curitiba: Sanepar, 2013. p. 409-440.
37. WENG, C. H.; LIN, D. F.; CHIANG, P. C. *Utilization of sludge as brick materials*. *Advances in Environmental Research*, v.7, p.679-685, 2003.
38. WIEBUSCH, B.; SEYFRIED, C. F. *Utilization of sewage sludge ashes in the brick and tile industry*. *Water Science & Technology*, v.36, n.11, p. 251-258, 1997.
39. WIECHETECK, G. K.; DENIS, A. *Avaliação do Uso de Lodo de ETA em Solo Cimento para Aplicação em Pavimentação*. In: CARNEIRO, C.; ANDREOLI, C. V. (Coord.). Lodo de Estações de Tratamento de Água – Gestão e Perspectivas Tecnológicas. Curitiba: Sanepar, 2013. p. 539-560.