UTILIZAÇÃO DO LODO DE ETE E ETA PARA RESTAURAÇÃO DO PAVIMENTO

Gabrielly Januário Monteiro[1]
Técnica em Meio Ambiente e Técnica em Segurança do Trabalho formada pela ETEC. Atualmente, cursando o ensino superior de Tecnologia em Hidráulica e Saneamento Ambiental na FATEC São Paulo. Atua na área de estudos socioambientais em uma empresa de engenharia de infraestrutura, participando da elaboração de relatórios e diagnósticos técnicos ambientais.
Maithe de Alcantara[2]
Formada pela Fatec São Paulo como Tecnóloga em Hidráulica e Saneamento Ambiental. Atua na área de estudos socioambientais em uma empresa de engenharia de infraestrutura, participando da elaboração de relatórios, diagnósticos técnicos e orçamentos ambientais.

Endereço[1]**:** Rua das andorinhas, 21 – Jardim Camargo - Mauá – São Paulo - CEP: 09334-105 - Brasil - Tel: +55 (11) 98376-6221 - e-mail: gabrielly.januario@outlook.com
Endereço[2]**:** Rua Renato Dias Segur, 43 – Vila Nova Mauá - Mauá – São Paulo - CEP: 09390-650 - Brasil - Tel: +55 (11) 91019-3841 - e-mail: maithealcantara@gmail.com

RESUMO

Este trabalho analisa a viabilidade técnica e ambiental da reutilização dos lodos gerados em Estações de Tratamento de Água (ETA) e Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) na restauração de pavimentos. Atualmente, o descarte inadequado desses resíduos gera impactos ambientais significativos, e sua destinação em aterros é cara e insustentável. Através de uma metodologia descritiva, o estudo avaliou pesquisas que testaram a incorporação do lodo em misturas com solo e cimento, observando seu desempenho físico, químico e mecânico. Os resultados mostraram que, quando estabilizados, os lodos podem ser usados com segurança em camadas de base e sub-base de pavimentos, atendendo às exigências técnicas e ambientais. A utilização desse resíduo representa uma alternativa sustentável e econômica para o setor de saneamento e construção civil.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de ETA; Lodo de ETE; Reaproveitamento de lodo;

INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios das empresas de saneamento atualmente é encontrar soluções sustentáveis para o descarte do lodo gerado nas Estações de Tratamento de Água (ETA) e de Esgoto (ETE). As práticas comuns incluem descarte em aterros sanitários ou lançamento na rede de esgoto, mas ambas desenvolvem impactos ambientais.

Estudos têm explorado a viabilidade de reutilizar o lodo, em aplicações como pavimentação. Essas análises avaliam diferentes proporções de lodo em misturas, examinando suas propriedades físicas e químicas de acordo com os parâmetros técnicos estabelecidos pelo DNIT, considerando as especificidades do tipo de tráfego e da camada do pavimento em que será aplicado.

A reutilização do lodo também está alinhada com as exigências ambientais da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e da norma NBR 10.004, que classifica o lodo como resíduo sólido e requer tratamento adequado (ABNT, 2004; CONAMA, 2006; FEAM, 2020). A disposição final em aterros, embora comum, é problemática devido ao alto custo e impactos ambientais, como desmatamento e desequilíbrio ecológico (COSTA et al., 2015).

Na construção civil, um setor que já utiliza amplamente materiais recicláveis, o lodo de ETA tem mostrado potencial para ser incorporado em matrizes de concreto. Ensaios com misturas de lodo e concreto demonstram que esses resíduos podem ser usados na fabricação de blocos de construção, oferecendo uma alternativa sustentável para o reaproveitamento desses materiais.

OBJETIVO

O objetivo dessa pesquisa é realizar a análise técnica e ambiental da incorporação de lodo proveniente de Estações de Tratamento de Água (ETA) em matrizes de concreto utilizadas nas camadas de base e sub-base do pavimento, considerando seu potencial aplicação como solução para a disposição final adequada do resíduo. A pesquisa foi conduzida com base em uma revisão bibliográfica sobre o uso de lodos de ETA e ETE em estruturas de pavimentação. Com base nessas informações, busca-se identificar as vantagens e limitações do uso de lodo como insumo na construção civil, visando propor soluções que minimizem os impactos ambientais e maximizem o aproveitamento desse subproduto do tratamento de água e esgoto.

METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia adotada foi o levantamento bibliográfico descritivo, uma abordagem amplamente utilizada para sintetizar o conhecimento disponível sobre um determinado tema. Esse método é especialmente eficaz em pesquisas acadêmicas, como trabalhos de conclusão de curso, pois permite ao pesquisador reunir, organizar e analisar criticamente os conteúdos já publicados sobre o assunto (GIL, 2008).

Diferente da revisão sistemática, o levantamento bibliográfico descritivo não segue critérios rígidos de seleção e análise das fontes, mas busca estruturar as informações de forma coerente, explorando diferentes tópicos relevantes para a compreensão do estado atual da pesquisa em uma determinada área (ROTHER, 2007). Essa flexibilidade metodológica é útil para mapear as principais teorias, identificar avanços conceituais e destacar lacunas existentes na literatura, que possam orientar futuras investigações.

O levantamento bibliográfico descritivo também desempenha um papel fundamental no processo científico ao fornecer uma base teórica sólida, servindo como ponto de partida para o desenvolvimento de novas hipóteses, formulação de propostas e aprofundamento do conhecimento (MENDES; SILVEIRA; GALVÃO, 2008).

Existem diversas formas de realizar uma revisão de literatura, desde métodos tradicionais até abordagens mais sistemáticas. A revisão narrativa, por exemplo, foca na busca e análise de informações em fontes bibliográficas, sendo frequentemente utilizada para descrever o estado da arte em áreas como saúde e educação. Esse método permite que pesquisadores identifiquem tendências, desafios e oportunidades dentro de um campo de estudo, oferecendo uma visão consolidada e atualizada sobre o tema abordado.

Relacionando os parâmetros exigidos no Brasil, com os estudos levantados neste trabalho, a seguir, serão avaliados cada ensaio de caracterização física, mecânica e química escolhidos pelos respectivos autores e o possível impacto que esta escolha acarreta a avaliação do material, no caso o lodo de ETA e ETE em pavimentação.

RESULTADOS OBTIDOS

A análise dos estudos revisados evidenciou que o lodo proveniente de ETA e ETE apresenta características físico-químicas que o tornam potencialmente aplicável na restauração de pavimentos, desde que passe por tratamentos de estabilização e desidratação. Os ensaios laboratoriais demonstraram que a adição de cimento e cal é eficaz na redução do teor de umidade e na estabilização dos metais pesados presentes no lodo, como manganês, ferro, alumínio, cádmio e chumbo, atendendo aos limites estabelecidos pela legislação ambiental vigente.

Os resultados mostraram que, após o tratamento adequado, o lodo pode ser incorporado em misturas de solo-cimento utilizadas em camadas de base e sub-base de pavimentos, apresentando desempenho mecânico compatível com materiais convencionais, como resistência à compressão entre 2 e 5 MPa, módulo de elasticidade superior a 100 MPa e índice de suporte Califórnia (CBR) acima de 20%, conforme os requisitos do DNIT e das normas brasileiras de pavimentação.

Além disso, observou-se que a estabilização do lodo com cimento reduziu significativamente a lixiviação e a solubilização de metais pesados, atendendo aos limites da ABNT (NBR 10.004/2004) e da CETESB. Esse resultado demonstra que o uso do lodo estabilizado contribui para a segurança ambiental e para a sustentabilidade na construção civil, reduzindo a necessidade de extração de recursos naturais e os custos associados ao transporte e disposição em aterros sanitários.

De maneira geral, a revisão bibliográfica mostrou que o aproveitamento do lodo de ETA e ETE em obras de pavimentação representa uma alternativa viável e ambientalmente correta, alinhada às diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos e às recomendações dos órgãos ambientais brasileiros.

ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Tanto o estudo de Lucena et al. quanto o de Coelho et al. investigam o aproveitamento do lodo proveniente de Estações de Tratamento de Água (ETA) e Esgoto (ETE) misturado ao solo, com ou sem adição de cimento, com o objetivo de aplicá-lo nas camadas de subleito, sub-base e base de pavimentos. Ambos os trabalhos deram destaque ao uso do cimento Portland como agente estabilizante, variando sua dosagem entre 1% e 10%, e avaliaram o desempenho das misturas por meio de ensaios laboratoriais como compactação, resistência à compressão simples e o Índice de Suporte Califórnia (ISC).

Em ambos os estudos, observou-se que os solos de textura mais arenosa apresentaram resultados mais satisfatórios nas misturas, quando comparados aos solos mais argilosos. Apesar das limitações, os dois trabalhos concluíram que o uso do lodo é viável para aplicação em camadas de subleito, desde que respeitados os critérios técnicos de proporção, compactação e controle da expansão volumétrica.

Apesar das semelhanças nos objetivos e metodologias, os estudos de Lucena et al. e Coelho et al. apresentam diferenças importantes que impactam diretamente nos resultados obtidos e nas recomendações de aplicação do lodo em obras de pavimentação. Essas diferenças envolvem desde o tipo e o preparo do lodo utilizado até as combinações de materiais, os métodos de ensaio adotados e os critérios de avaliação do desempenho das misturas. Compreender esses contrastes é fundamental para avaliar de forma crítica as possibilidades e os limites do reaproveitamento do lodo em diferentes contextos técnicos.

Outro ponto importante refere-se à sustentabilidade da solução. O uso do lodo como material alternativo reduz a necessidade de extração de recursos naturais, como areia e brita, e diminui os custos associados ao transporte e disposição final em aterros sanitários. Além disso, contribui para a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, incentivando a economia circular e o reaproveitamento de resíduos na construção civil.

Por fim, ressalta-se a necessidade de estudos de caracterização local para cada tipo de lodo, uma vez que suas propriedades podem variar em função do tipo de coagulante utilizado, das características da água bruta e dos processos de tratamento aplicados. Recomenda-se a realização de ensaios complementares de resistência, durabilidade e impacto ambiental, para validar a aplicação em escala real e garantir o desempenho técnico e ambiental das camadas de pavimento.

CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um panorama sobre o uso alternativo do lodo gerado em Estações de Tratamento de Água (ETA) e de Esgoto (ETE) na pavimentação rodoviária, destacando seu potencial como material de construção e, ao mesmo tempo, como solução para um problema ambiental crescente: o descarte inadequado desse resíduo. Frente à saturação de aterros sanitários e à escassez de áreas destinadas ao descarte, torna-se cada vez mais necessário buscar formas sustentáveis de reaproveitamento, sendo a pavimentação uma alternativa técnica e ambientalmente promissora.

Os estudos analisados demonstraram a viabilidade técnica do uso do lodo, principalmente quando misturado a solos arenosos e estabilizado com aditivos como o cimento Portland ou ligantes betuminosos. Em diferentes percentuais e configurações, tanto o lodo de ETA quanto o de ETE mostraram-se eficazes em camadas de subleito, sub-base e, em alguns casos, base, desde que respeitados critérios de preparo, compactação e controle ambiental. Também foi possível identificar a presença de metais nos ensaios de lixiviação e solubilização, reforçando a importância de processos adequados de estabilização para garantir a segurança ambiental.

Ainda assim, há desafios consideráveis a serem enfrentados. Entre eles, estão a variação das características do lodo de acordo com sua origem geográfica, os custos envolvidos no seu preparo e estabilização, a resistência do setor da construção civil em adotar materiais alternativos e a ausência de regulamentações técnicas específicas e abrangentes sobre o tema. Esses obstáculos limitam o aproveitamento pleno desse resíduo em larga escala.

Nesse cenário, recomenda-se que futuras pesquisas ampliem o escopo de análise, considerando diferentes tipos de lodo e contextos geográficos, além de investirem em soluções tecnológicas mais acessíveis e em políticas públicas que incentivem o uso desse material. A criação de normas específicas, a oferta de incentivos para o desenvolvimento de novas tecnologias e a conscientização de profissionais do setor são passos fundamentais para transformar o lodo, hoje um passivo ambiental, em um insumo sustentável para obras de infraestrutura.

Assim, este trabalho contribui para o debate sobre o reaproveitamento de resíduos e reforça a importância de alternativas técnicas viáveis e ambientalmente responsáveis para o enfrentamento dos desafios do desenvolvimento urbano e da gestão de resíduos

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACHON, C. L.; BARROSO, Marcelo Melo; CORDEIRO, João Sérgio. *Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro.* Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 18, n. 2, p. 115-122, 2013

2. ACHON, C. L.; CORDEIRO, João S. *Gestão de resíduos dos serviços de saneamento (água e esgoto), a Lei 12.305/2010 e os desafios no Brasil.* In: XXXV Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental (AIDIS), 2016, Cartagena.

3. Alves H. D. C. *Análise laboratorial de lodos desidratados de estações de tratamento de água da região metropolitana de Belo Horizonte - MG para uso em pavimentação.* (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto), (2019).

4. ANDRADE, C. A. *Nitratos e metais pesados no solo e em plantas de Eucalyptus grandis após aplicação de biossólido da ETE de Barueri*. 1999. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP, 1999.

5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – *ABNT. NBR 16697:2018 - Cimento Portland: Características e Ensaios.* Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br. Acesso em: 08 jan. 2025.

6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9648: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário.* Rio de Janeiro: ABNT, 1986. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br. Acesso em: 08 set. 2024.

7. BALBO, J. T. R. *Restauração de pavimentos urbanos: dificuldades e diretrizes para soluções.* In: Reunião Anual de Pavimentação, 8., 1997, São Carlos. Anais... Rio de Janeiro: ABPV, 1997.

8. CONAMA. *Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006.* Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodo de esgoto gerado em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 167, p. 64–68, 30 ago. 2006.

9. CORDEIRO, J. S. *Importância do tratamento e Disposição Adequada dos Lodos de Estações de Tratamento de Água. In: Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodo de Estações de Tratamento de Água.* Cap.1, p.1-19. RiMa/ABES/PROSAB. Rio de Janeiro,1999

10. CORDEIRO, J. S. *Micro propriedades de lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de água. XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Cancun, México, 2002.

11. CORDEIRO, J. S. *Processamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água (ETAs). In: Aproveitamento do Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Água e Esgotos Sanitários, inclusive com a Utilização de Técnicas Consorciadas com Resíduos Sólidos Urbanos.* RiMa/ABES/PROSAB, Rio de Janeiro, 2001.

12. CORDEIRO, J.S. *Gerenciamento de Lodo de ETAs – Remoção de água, através de leitos de secagem e codisposição da fase solida em matrizes de cimento e resíduos da construção civil.* São Carlos: UFSCAR/ FINEP: 2000. 145 p. Relatório Técnico PRSAB 2

13. Costa, Á. J. C. D. *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 (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo - USP)*, (2011)

14. Costa, R. H. R. et al. *Destinação e tratamento de lodos de estações de tratamento de esgoto sanitário: alternativas e desafios. Revista DAE*, v. 63, n. 199, p. 36–47, 2015.

15. DELGADO, J. *Avaliação da aplicação do lodo da ETA Guandu na pavimentação como disposição final ambientalmente adequada.* 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

16. DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. *Ensaios de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água.* – São Carlos: RiMa Editora, 248 p.,2002.

17. DI BERNARDO, L., DANTAS, A. D. B, VOLTAN, P. E. N. *Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água.* Editora LDiBe, São Carlos, SP, 2011.

18. DNIT, 2006 *Manual de Pavimentação.* – Rio de Janeiro, 3°Edição, 93 p, 2006.

19. FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. *Manual de gerenciamento de resíduos sólidos.* Belo Horizonte: FEAM, 2020

20. Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design. New Jersey: Pearson Prentice Hall.*

21. HOPPEN, C.; PORTELLA, K. F.; JOUKOSKI, A.; TRINDADE, E. M.; ANDREÓLI, C. V. *Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento Portland para reduzir o impacto ambiental.* Química Nova, v. 29, n. 1, p. 79-84, 2006.

22. HOPPEN, C. *Reciclagem de Lodo de ETA Centrifugado na Construção Civil, Método Alternativo para Preservação Ambiental.* 135p. Dissertação de Mestrado. UFPR, 2004.

23. GIL, Antonio Carlos. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

24. KAWAMURA, S.; TRUSSELL, R. R. *Main features of large water treatment plants in Japan. Journal. American Water Works Association. Denver*, v. 83, n. 6, p. 56- 62, 1991.

25. LEE, E. S. H. *Caracterização do lodo proveniente de estação de tratamento de esgoto (ETE) e estudo sobre seu potencial energético.* In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2ª edição, 2011, São Paulo.

26. LODO DE ESGOTO DA ETE BARUERI - SP: *PROVENIÊNCIA DO ENXOFRE ELEMENTAR.* São Paulo, SP: Geologia USP, março 2010.

27. Lucena, L. C. F, Thomé Juca, J. F., Soares, J. B., & Portela, M. G. *Potential uses of sewage sludge in highway construction. Journal of materials in civil engineering,* 26(9), 04014051. (2014).

28. Lytton, R. L. (2006). *Foundations and Pavements: Basic Principles. Washington, D.C.: Transportation Research Board.*

29. MARTINS, L. A. *Tecnologia do Concreto.* 2. ed. São Paulo: Blucher, 2005.

30. MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: estruturas, propriedades e materiais.* São Paulo:Pini, 1994.

31. MORO, Daniel Campos. *Avaliação de cenários para disposição final do lodo oriundo da estação de tratamento de esgotos São João/Navegantes do município de Porto Alegre: um estudo de caso. 2024. 119 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental)* – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

32. Motta, L. M. G. (2006). *Engenharia de Pavimentos.* Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica

33. PEDROZA, Marcelo Mendes; VIEIRA, Glaucia Eliza Gama; SOUSA, João Fernandes de; et al. *Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO),* 11 maio 2010. Artigo recebido em 11/05/2010 e aceito em 11/11/2010.

34. REALI, M. A. P. *Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água.* 1. ed. Rio de Janeiro: Editora da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental ABES, 1999. v. 1. 250p.

35. REALI, M. A. P.; PATRIZZI, L. J.; CORDEIRO, J. S. *Noções gerais de tratamento e disposição final do lodo de estações de tratamento de água.* Projeto PROSAB. Cap. 4. Rio de Janeiro: ABES.240 p. 1999.

36. Revista Brasileira de Ciências Ambientais. *Caracterização físico-química e ensaios de adensamento em coluna do lodo produzido em uma Estação de Tratamento de Água de grande porte*, número 28. Página 41, junho. 2013.

37. RICHTER, C.A. *Tratamento de Lodo de Estação de Tratamento de Água.* São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2001.

38. RICHARDSON, M. L. *Microbial pathogens in biosolids and manures: Health risks and their management. In: Environmental Microbiology.* Oxford: Blackwell Publishing, 2008.

39. SABOGAL-PAZ, L. P.; DI BERNARDO, L. *Aspectos conceituais relativos à seleção das tecnologias de tratamento e de disposição dos resíduos gerados nas estações de tratamento de água. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.* Mato Grosso, 2005.

40. SOARES, A. F. S.; MACHADO A. O. V.; CUNHA A. B. L.; LAGES, F. A. E. *Orientações básicas acerca do impacto do lodo gerado nas ETAs, alternativas de tratamento/disposição e legislação correlata. Ministério Público do Estado de Minas Gerais*. CEAT/MA, 2009.

41. TAVARES, R. G. *Problemas operacionais da indústria da água: consumo excessivo de cloro na linha tronco de distribuição do sistema Gurjaú e lodos gerados pelas 6 maiores estações de tratamento de água da Região Metropolitana do Recife.* Dissertação (Mestrado) - Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 145 p. 2003.

42. TSUTIYA, M. T.; HIRATA, A. Y. *Aproveitamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água do Estado de São Paulo*. In.: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001. Anais..., ABES: Rio de Janeiro, 2001.

43. VILASBOAS, José M. L. *Durabilidade das edificações de concreto armado em salvador: uma contribuição para a implantação da NBR 6118:2003*. Dissertação (mestrado). Salvador, 2004.