

## GESTÃO SUSTENTÁVEL DO LODO PROVENIENTE DA LAVANDERIA TÊXTIL

Hugo Gabriel Fernandes Viotto (\*), Generoso de Angelis Neto, Bruna Schmitt Schuster, Luiz Roberto Taboni Junior, Augusto Mazzuco.

\* Universidade Estadual de Maringá, hgabrielfv@hotmail.com

### RESUMO

A indústria têxtil é uma das principais indústrias do mundo que oferece emprego sem carecer de habilidades especiais e desempenha um papel fundamental na economia de diversos países. Para a fabricação de produtos têxteis é demandado a utilização de fibras, entretanto, cada tipo de fibra é tingido com diferentes tipos de corantes, estes, altamente nocivos ao meio ambiente. Além do mais, a indústria têxtil utiliza vários produtos químicos em seus processos de operação, não apenas, para produção de 1 Kg de tecido faz-se preciso o uso de aproximadamente 200 litros de água. Todavia, esta água é comumente utilizada para aplicação de produtos químicos nas fibras e lavagem dos produtos finais. As águas residuais produzidas durante este processo contêm grande quantidade de corantes e produtos químicos capazes de prejudicar a saúde humana e o meio ambiente. Desta forma é necessário o devido tratamento das águas residuais, que por sua vez, geram como produto desta atividade volumes consideráveis de lodo. Este lodo é um problema sério devido aos altos custos de tratamento. O tratamento futuro do lodo será progressivamente focado em uma maior eficiência do sistema cujo objetivo principal restringira-se à sustentabilidade. Neste contexto o estudo objetiva-se em listar alguns procedimentos para o tratamento e destinação final do lodo proveniente da indústria têxtil. Para tanto, é realizada uma pesquisa bibliográfica sobre as opções mais relevantes no que diz respeito ao tratamento deste resíduo. Esta atenção é concentrada para processos que visam simultaneamente a eliminação dos riscos ao meio ambiente e à saúde humana e na recuperação ou uso benéfico de compostos valiosos do lodo, como sua fração orgânica. Neste cenário, a viabilidade técnica e econômica, a sustentabilidade, a aceitação da sociedade e a rota de implementação são fatores imprescindíveis para o sucesso de cada procedimento voltado para o tratamento deste resíduo industrial.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento do lodo, Indústria Têxtil, Desenvolvimento sustentável, Destinação final adequada.

### INTRODUÇÃO

Conceitualmente, o termo sustentabilidade refere-se à utilização dos recursos naturais para a satisfação das necessidades presentes, sem que comprometa as gerações futuras, ou seja, é o modo de pensamento sistêmico vinculado a continuidade dos aspectos econômicos, sociais, culturais e ambientais. Tendo em vista o conceito sustentabilidade, é preciso universalizá-lo em todos os setores que compõe um dado município, todavia, é necessário a participação tanto da iniciativa pública quanto privada no que diz respeito a implantação de medidas sustentáveis (BARBOSA, 2008).

Dentre as soluções para algumas problemáticas do meio urbano no que tange a sustentabilidade, pode-se citar a minimização do uso de recursos não renováveis, a redução da geração de gases do efeito estufa, o desmatamento, entre outros diversos. Frente ao fato, a adoção de mecanismos de desenvolvimento limpo pode contribuir para o desenvolvimento das cidades sustentáveis, autossuficientes e que agridam em menor intensidade o meio ambiente (REGO *et al.*, 2013).

Contundentemente, as lavanderias têxteis durante o processo de tratamento de seus efluentes geram quantias significativas de lodo, este, constituído basicamente por matéria orgânica e metais pesados. Devido à sua composição, faz-se necessário o correto tratamento e a disposição final adequada deste resíduo, de modo a preservar e evitar a degradação do meio ambiente.

Em virtude do que fora mencionado, uma estratégia de gerenciamento do lodo pode ser complexa, uma vez que existe a necessidade de uma aplicação integrada de várias etapas ou processos de tratamento separados. Seguindo esta lógica, alguns processos já são aplicados, na prática em larga escala por um longo período de tempo e operam de maneira mais ou menos otimizada.

Neste segmento, exemplos como a desidratação mecânica do lodo, e também, a etapa de condicionamento com coagulantes e floculantes inorgânicos ou orgânicos possuem potencial para melhorias no que versa o gerenciamento do lodo. Também há de se mencionar que processos como a incineração do lodo podem ser substancialmente melhoradas em relação à recuperação de energia.

Outras formas de tratamento do lodo estão em desenvolvimento e se adequam como uma destinação final adequada deste resíduo, como gaseificação, pirólise, oxidação supercrítica, aplicação de protozoários, processos de recuperação de fosfato e outros processos de pré-tratamento focados no aumento da produção de biogás a partir do lodo. Em um

aspecto tecnológico, mais genérico, pode-se esperar que haja uma melhoria contínua dos processos existentes bem como a elaboração de novos processos inovadores e que visem o bem-estar do meio ambiente (GHALY *et al.*, 2014)

Todavia, ao levar em consideração a composição complexa do lodo, e, a presença de inúmeras substâncias perigosas, é uma ilusão esperar que o tratamento do lodo seja de fato mais barato em um futuro próximo. Logo, mecanismos para reduzir custos são de grande valia, já que o tratamento deste resíduo deve cada vez mais focar na recuperação de possíveis produtos valiosos e no desenvolvimento de mercados para estes artefatos. Não obstante, a integração do tratamento do lodo em outras atividades industriais ou em outros processos para o tratamento de resíduos podem resultar na redução dos custos líquidos do mesmo.

## OBJETIVOS

Este trabalho objetiva apresentar algumas alternativas sustentáveis para gestão do lodo gerado no tratamento dos efluentes das lavanderias têxteis, principalmente no que se refere as medidas que priorizam a minimização da degradação do meio ambiente, a inertização de metais pesados e outras aplicações alternativas deste resíduo.

## METODOLOGIA

De acordo com Gerhardt e Silveira (2009) a pesquisa bibliográfica visa apresentar informações acerca de um assunto mediante referenciais teóricos já analisados, assim é possível obter diversas perspectivas de análise sobre o tema. Frente ao fato, por meio de consultas à periódicos, dissertações, livros, normativas, entre outros, realizou-se um levantamento sobre a gestão sustentável do lodo têxtil em diversas localidades do mundo. Questões pertinentes ao potencial de toxicidade e sustentabilidade também foram discutidos por intermédio de diferentes descobertas. Opções de aproveitamento deste resíduo como a incorporação em materiais da construção civil e aplicação no solo também são destacadas e discutidas nesta pesquisa.

## RESULTADOS

### Resíduos sólidos e efluentes de uma lavanderia têxtil

De acordo com Ghaly *et al.*, (2014), diferentes tipos de tecidos são utilizados, os quais em sua composição há uma variedade de corantes. Os corantes podem ser classificados em diferentes categorias, as quais variam conforme suas características, composições e propriedades químicas. Desta forma, o tipo de corante a ser utilizado nos processos têxteis dependerá do tipo de indústria e do material que nela será tingido.

Além do mais, a indústria têxtil é considerada um dos principais geradores de efluentes líquidos, fato este análogo ao exacerbado consumo de água para as diferentes etapas de processamento. Essas águas residuais de efluentes contêm substâncias químicas como ácidos, álcalis, corantes, peróxido de hidrogênio, amido, agentes dispersantes de surfactantes e sabões de metais (PAUL *et al.*, 2012).

Para Holkar *et al.* (2016), diferentemente dos resíduos de caráter orgânico, os metais pesados são refratários e dificilmente podem ser degradados ou desintoxicados biologicamente. As soluções para a destinação de resíduos semissólido que contém metais pesados em sua composição é uma árdua tarefa, principalmente no que tange o aporte financeiro que está atividade demanda.

Em vista disso, o lodo têxtil gerado nas estações de tratamento, seco e decantado, possui em sua composição metais pesados, como o alumínio, o ferro, o manganês, o titânio, o silício, o sódio, o cálcio, dentre outros componentes. Vale destacar que, os metais pesados, devido seu elevado teor de toxicidade, são altamente danosos ao meio ambiente e comumente não são biodegradáveis, fator este preponderante quanto às possibilidades de descarte deste tipo de resíduo (NAIR *et al.*, 2008).

As atividades de uma indústria têxtil que mais geram despejo estão vinculadas à limpeza, ao tingimento e o acabamento, já a recirculação e recuperação de produtos químicos são os processos de maior dificuldade enfrentados pelas empresas, uma vez que os custos referentes aos tratamentos são onerosos. Na etapa de tingimento, a poluição ocorre principalmente devido as perdas de corante e de outros produtos auxiliares, estes relacionados a taxa de esgotamento do banho e também do volume de banho por peso de tecido tingido (PENSUPA *et al.* 2017).

No que se refere aos impactos ambientais, estima-se que a indústria têxtil é o maior consumidor de água quando comparado aos outros tipos de indústrias. Ademais, com relação ao descarte das águas residuais, grande parte dessas encontram-se contaminadas. De acordo com estimativas realizadas pelo Banco Mundial, calcula-se que a etapa de tingimento e tratamento realizado com o tecido gera cerca de 17 a 20% das águas residuais industriais (KANT, 2012).

Diante deste aspecto é importante salientar que, segundo a Resolução n° 357 do CONAMA (2005) é estritamente proibido a presença de corantes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processos de coagulação, sedimentação e filtração convencional em corpos hídricos de classe especial, classe 1 e classe 2. Os impactos ao meio ambiente estão análogos às deficiências do processo produtivo, como perdas de matérias-primas e insumos, todavia as falhas não se restringem apenas à esta etapa, mas também no que concerne ao descarte de subprodutos que não possuem valor econômico.

### Secagem e desidratação

A elevada geração de lodo proveniente de indústrias têxteis tornou-se um problema, tanto no aspecto ambiental quanto à saúde pública. Outra adversidade associada ao resíduo, refere-se ao seu alto teor de umidade e volume, características que comprometem a eficiência do transporte deste resíduo e dificulta nos processos de combustão. Dentro desse contexto, a desidratação do lodo é necessária. Mecanismos como a desidratação mecânica são relevantes, este processo de tratamento objetiva evaporar a água presente no lodo, onde, as frações líquidas do elemento evaporam como uma consequência do calor aplicado. Posto isto, o comportamento geral da cinética durante o tratamento possui curto período de adaptação as condições de secagem aplicadas (AN; LIU, 2017).

A taxa de evaporação está diretamente vinculada a condutividade térmica do resíduo sólido que será submetido a secagem, bem como os pontos de ebulição dos fluídos voláteis a serem evaporados. Outros fatores que afetam a taxa de secagem do lodo foram relatados por outros autores. De acordo com estudos relatados por Zonghe et al. (2003), aspectos como a temperatura do ar e a intensidade da radiação solar devem ser levadas em consideração para o bom desenvolvimento deste procedimento.

Durante a secagem obtém-se a redução do volume do material, pois ao longo do processo são removidos os compostos voláteis, combustíveis e também matéria orgânica volátil. Todavia, compostos tóxicos e microrganismos patogênicos agregados ao resíduo são eliminados apenas sob condições específicas de temperatura e pressão. Além do mais, a secagem do lodo ou sua desidratação parcial facilita sua aplicação no solo e reduz custos pertinentes ao transporte do mesmo (SWIERCZEK *et al.*, 2018).

### Solidificação/Estabilização

O processo de solidificação/estabilização é uma técnica de eliminação aplicada aos resíduos industriais. A estabilização é utilizada para tratar o resíduo antes de destina-lo ao aterro, essa alternativa tem sido utilizada para diferentes tipos de resíduos, mas é particularmente adequada para aqueles que contêm metais pesados (MALVIYA; CHAUDHARY, 2006)

De acordo com Reza *et al.*, (2019), a solidificação consiste na geração de uma massa sólida e monolítica do resíduo submetido ao tratamento, cujo objetivo primário é facilitar o manuseio e o transporte do elemento pela melhora de sua integridade estrutural e suas características físicas. Não obstante, este processo é comumente utilizado para imobilizar a lixiviação de metais pesados.

De forma mais minuciosa, a estabilização ocorre por meio de reações químicas, estas que por sua vez, fixam elementos ou compostos tóxicos em cristais estáveis ou polímeros impermeáveis. Ambos processos utilizam formulações quimicamente reativas, os quais juntamente com a água e outros componentes aquosos formam sólidos estáveis, que por sua vez podem ser aplicados tanto à compostos orgânicos quanto inorgânicos (ALLIOUX *et al.*, 2018)

Conforme Kaminata (2008), os procedimentos citados acima têm como grande intuito o melhoramento das características físicas, facilitar o manuseio dos resíduos, diminuir a área superficial do elemento de modo que possibilite a perda ou transferência dos poluentes, e limitar a solubilidade ou destoxificar qualquer fragmento perigoso do resíduo. Os resultados destas iterações são sólidos que não são nocivos ou menos perigosos que o resíduo original.

A determinação da eficiência do processo de solidificação/estabilização normalmente ocorre por meio do teste de lixiviação, este promove a estabilidade química e o potencial poluidor de determinada matriz. Este método de averiguação consiste na exposição do resíduo tratado a uma solução com características conhecidas, de modo que seja permitido apontar o grau de dissolução dos contaminante (SU *et al.*, 2019).

### Aplicação do lodo no solo

A utilização de lodo industrial no solo inclui aplicações em pastagens, plantações, florestas, viveiros de plantas, parques públicos, gramados, hortas domésticas, entre outros. Este procedimento de aproveitamento baseia-se no fato de que a natureza físico-química e biológica dos solos possibilita a assimilação dos resíduos aplicados sem afetar a qualidade do mesmo (BABATUNDE; ZHAO, 2007).

Anteriormente, a lama industrial era comumente utilizada no meio agrícola como substituta do calcário. Essa utilização é considerada como uma alternativa de baixo custo para o descarte deste resíduo industrial de modo sustentável de modo que possibilita a melhora de certas características do solo, ora mesmo como parte do meio de cultivo em campos agrícolas (AHMAD, 2016).

O descarte do lodo têxtil realizado de modo incorreto pode resultar na contaminação de recursos terrestres e hídricos, a ponto desses se tornarem inadequados no ponto de vista ambiental. Por conseguinte, para o aproveitamento deste resíduo o mesmo deverá atender alguns requisitos, dentre eles: ajuste do pH no solo, a melhoria das suas características físico-químicas e também a imobilização de componentes indesejáveis no meio (ROSA, *et al.*, 2007).

Tendo em vista os fatos mencionados, aplicações do lodo proveniente de indústrias de lavanderia têxtil no solo pode consistir como um procedimento alternativo de baixo custo e favorável, que pode não exigir necessariamente licenças regulatórias, embora, uma área considerável possa ser necessária. Não somente, a aplicação do lodo no solo pode ser uma possibilidade aceitável de aproveitamento, logo que, nesta circunstância, um passivo ambiental é transformado em um recurso valioso (CUSIDÓ *et al.*, 2015).

Em vista do que fora apresentado, faz-se preciso uma avaliação minuciosa no que tange o lodo têxtil e suas aplicações. Neste contexto, normas e regulamentações estabelecem valores limites nos aspectos químicos, predominantemente para metais e também por compostos orgânicos. Além do mais, após a aplicação do lodo no solo, o destino dos metais e outros compostos devem ser controlados por processos físicos, químicos e microbiológicos, de modo a promover o zelo pelo meio ambiente e pela saúde pública.

### Uso do lodo industrial na construção civil

A indústria da construção civil notoriamente é conhecida como sendo uma das áreas mais importantes, seja na esfera econômica ora mesmo na esfera social. Por outro lado, essa contribui para a geração de impactos ambientais, principalmente no que diz respeito a produção de materiais com componentes nocivos ao meio ambiente e a geração disposição final ambientalmente incorreta dos seus resíduos (HOLKAR, *et al.* 2016). Logo, é de suma importância a adoção de práticas que visem a reciclagem dos resíduos provenientes destes materiais da construção. Por meio dessas iniciativas é possível reduzir a extração dos recursos naturais utilizados no setor, redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE), e consequentemente a melhora da saúde pública e segurança da população (SWIERCZEK *et al.*, 2018).

A incorporação de resíduos na fabricação de materiais é uma alternativa viável no que se refere a redução do consumo de recursos naturais (água, energia e matéria-prima). Com a adoção dessa prática obtém-se diversos benefícios uma vez que é possível reduzir a distância percorrida para o transporte da matéria prima, minimização da poluição gerada, e muitas vezes é possível produzir materiais com melhores características técnicas quando comparado aos materiais convencionais (CUSIDÓ, *et al.* 2015).

O uso do lodo têxtil como aditivo em materiais da construção civil, como nos blocos cerâmicos, pode propiciar diversos benefícios, sendo o principal a redução dos impactos ambientais relacionados à sua disposição final. O uso dos resíduos industriais como aditivo cerâmico possibilita a imobilização de metais pesados na matriz queimada, oxidação da matéria orgânica bem como a destruição de qualquer organismo patogênico durante o processo de queima (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

No entanto, apesar das vantagens e do aumento de estudos relacionados à incorporação de lamas residuais proveniente das lavanderias têxteis em materiais da construção civil, elas ainda não foram totalmente aceitas na indústria. Particularmente a variabilidade do produto final produzido a partir deste resíduo é preocupante, precipuamente devido à variabilidade na composição química e no teor de água e matéria orgânica (BABATUNDE; ZHAO, 2007).

### CONCLUSÃO

O descarte ambientalmente correto do lodo industrial emergiu-se como um elemento de grande relevância no planejamento e gestão de efluentes. Alguns métodos no que tange a destinação final da lama residual podem sujeitar o meio ambiente à diversos impactos. Desta forma, encontrar opções benéficas de aproveitamento do lodo torna-se fundamental para o gerenciamento sustentável deste resíduo.

As técnicas de utilização do lodo industrial devem desempenhar uma abordagem multidimensional, de modo a abranger os aspectos sustentáveis, econômicos e ambientais. Diversas opções de aproveitamento investigadas globalmente contribuíram positivamente para o desenvolvimento de estratégias voltadas para este cenário, precipuamente sob rigorosas normas ambientais.

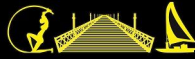
Todavia, as composições químicas são preponderantes ao selecionar potenciais opções de utilização deste resíduo. Assim, o conhecimento prévio tanto das propriedades físicas quanto químicas do lodo faz-se necessário para reciclá-lo em alternativas de descarte seguras e ambientalmente adequadas.

Outras investigações extensivas também são necessárias para que se encontre uma fonte estável e segura do lodo industrial, principalmente para mecanismos que propiciem uma variabilidade mínima de composição para aproveitamento do resíduo. A conscientização dos colaboradores das usinas, dos municípios, das autoridades governamentais e do público é substancial no que diz respeito aos benefícios que o aproveitamento do lodo pode promover para um manejo mais sustentável.

Vale ressaltar que, não existe um sistema uniforme e único que seja mais sustentável, todavia, cada situação exige sua própria solução, esta personalizada em detrimento das condições específicas da área em questão. A diversificação de possibilidades é uma característica intrínseca do gerenciamento do lodo industrial e operar um sistema de tratamento deste resíduo de maneira construtiva dentro de um conjunto de restrições é um desafio para o futuro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AHMAD, T. Sustainable management of water treatment sludge through 3'R' concept. **Journal of Cleaner Production**, p.1-23, 2016.
2. ALLIOUX, F. M.; KAPRUWAN, P.; MILNE, N.; KONG, L.; FATTACCIOLI, J.; YONG, C.; DUMÉE, L. F. Electro-capture of heavy metal ions with carbon cloth integrated microfluidic devices. **Separation and Purification Technology**, v.194, p. 26-32, 2018.
3. AN, X.; LIU, W. Review on sludge drying process and dryer in solar. **American Journal of Energy Engineering**, v.7, p. 34-38, 2017.
4. BABATUNDE, A.; ZHAO, Y. Constructive approaches toward water treatment works sludge management: an international review of beneficial reuses. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, 2007.
5. BARBOSA, G. S. **O desafio do desenvolvimento sustentável**. Revista Visões, v.1, 2008.
6. BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. Cerâmica, v. 61, p. 178-189, 2015.
7. CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n.º 307** - Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2005.
8. CUSIDÓ, J. A.; CREMADES, L. V.; SORIANO, C.; DEVANT, M. Incorporation of paper sludge in clay brick formulation: Ten years of industrial experience. **Applied Clay Science**, v. 108, p. 191-198, 2015.
9. GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1ª ed. 2009.
10. GHALY, A.; ANANTHASHANKAR, R.; ALHATTAB, M.; RAMAKRISHNAN, V. Production, characterization and treatment of textile effluents: A critical review. **Journal of Chemical Engineering & Process Technology**, v. 5, p.1-18, 2014.
11. HOLKAR, C. R.; JADHAV, A. J.; PINJARI, D.; MAHAMUNI, N. M.; PANDIT, A. B. A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches. **Journal of Environmental Management**, p. 351-366, 2016.
12. KAMINATA, O. T. **Aproveitamento do lodo gerado no tratamento de efluente da indústria têxtil de lavanderia na produção de bloco de cerâmica vermelha**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana)- Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2008.
13. KANT, R. Textile dyeing industry an environmental hazard. **Natural Science**, p. 22-26, 2012.
14. MALVIYA, R.; CHAUDHARY, R. Factors affecting hazardous waste solidification/stabilization: A review. **Journal of Hazardous Materials**, p. 267-276, 2006.
15. NAIR, A.; JUWAKAR, A. A.; DEVOTTA, S. Study of speciation of metals in an industrial sludge and evaluation of metal chelators for their removal. **Journal of Hazardous Materials**, p. 545-553, 2008.
16. PAUL, J.; KADAM, A. A.; GOVINDWAR, S. P.; KUMAR, P.; VARSHNEY, L. An insight into the influence of low dose irradiation pretreatment on the microbial decolouration and degradation of Reactive Red-120 dye. **Chemosphere**, v. 90 p. 1348-1358, 2013.
17. PENSUPA, N.; LEU, S.; HU, Y.; DU, C.; LIU, H.; JING, H. LIN, C. S. Recent trends in sustainable textile waste recycling methods: current situation and future prospects. **Topics in Current Chemistry**, v. 4, p.189-222, 2017.
18. REGO, J. A.; NACARATE, J. P.; PERNA, L. N.; PINHATE, T. B. **Cidades sustentáveis: Lidando com a urbanização de forma ambiental, social e economicamente sustentável**. Simulação das Nações Unidas para Secundaristas, p. 545-573, 2013.
19. REZA, A.; ANZUM, S.; SAHA, R. C.; CHAKRABORTY, S.; RAHMAN, H. Implementation of solidification/stabilization process to reduce hazardous impurities and stabilize soil matrices. **E3S Web of Conferences**, v. 96, p.1-6, 2019.



20. ROSA, E. V.; GIURADELI, T. M.; CORRÊA, A. X.; RORIG, L. R.; SCHWINGEL, P. R.; RESGALLA, C.; RADETSKI, C. M. Ecotoxicological evaluation of the short term effects of fresh and stabilized textile sludges before application in forest soil restoration. **Environmental Pollution**, p. 463-469, 2007.
21. SU, M.; KONG, L.; LIAO, C.; CHEN, D.; SHIH, K. **Stabilization of cadmium In industrial sludge**: Generation of crystalline products. *Industrial and Municipal Sludge*, p. 503-524, 2019.
22. SWIERCZEK, L.; CIESLIK, B. M.; KONIECZKA, P. The potential of raw sewage sludge in construction industry – a review. **Cleaner Production**, p. 342-356, 2018.
23. ZONGHE, Z.; BAOLIAN, N.; HAIYAN, L. The trial of sludge dewatering and drying by solar energy. **China Water and Wastewater**, p. 111-113, 2003.