

## UMA REVISÃO DA GESTÃO SUSTENTÁVEL DO LODO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

Hugo Gabriel Fernandes Viotto (\*), Bruna Schmitt Schuster, Luiz Roberto Taboni Junior, Augusto Mazzuco, Ana Cláudia Valério Soares

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

### RESUMO

As indústrias em suas variadas gamas de produção durante o processo de tratamento de seus efluentes geram quantias significativas de lodo, o qual é constituído basicamente por matéria orgânica e metais pesados. Devido à esta composição, faz-se necessário o tratamento e a disposição final ambientalmente adequada deste resíduo, caso contrário, o meio ambiente estará sujeito a impactos em suas mais variadas esferas. Desta forma, a gestão sustentável dos resíduos é um assunto de grande interesse por parte das indústrias, precipuamente no que diz respeito em alternativas voltadas à sua valorização. Sendo assim, este trabalho apresenta uma revisão de literatura acerca dos resultados obtidos em análises quantitativas e qualitativas do lodo de tratamento de efluentes, juntamente com suas práticas atuais de descarte em detrimento de diretrizes de aplicação sustentável para suas variadas formas de aproveitamento. A presente revisão baseou-se no aproveitamento benéfico do lodo em diversos cenários industriais. Métodos abrangentes foram revisados de modo a situar o leitor acerca dos prós e dos contras associados. Este documento pode auxiliar no desenvolvimento de algumas ideias de estratégias adequadas no que se refere à gestão da lama residual, assim contribuindo com o desenvolvimento sustentável. Portanto, o estudo apresentou as utilizações da lama residual em várias configurações ambientais e, cada título apresentou métodos variados de utilização deste resíduo, cada qual com suas vantagens e desvantagens.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos industriais, Aproveitamento do lodo, Incorporação do lodo, Matriz argilosa, Matriz cimentícia.

### INTRODUÇÃO

A disposição do lodo de efluente é uma problemática presente no processo produtivo, uma vez que as indústrias enfrentam uma crescente dificuldade para dispor esse resíduo em aterros ou incineradores. Além disso, todos os métodos de redução e tratamento têm diferentes graus de impacto ambiental. O problema da disposição de lodo é intensificado com a quantidade de resíduo produzido-o qual é inerente à expansão de instalações de tratamento de águas residuais.

Os resíduos industriais comumente são de caráter semissólido, que segundo suas propriedades o mesmo pode se enquadrar como sendo um resíduo de classe II-A, não perigoso, não inerte, conforme indicado na norma ABNT NBR 10004:2004. As lamas residuais podem ser compostas tanto por matéria orgânica quanto inorgânica, como ressalva, o lodo gerado apresenta difícil processo de tratamento, bem como elevado custo no que diz respeito à sua disposição final.

O lodo gerado pode ser proveniente de diversos tipos de indústrias, dentre elas, a metalúrgica, a química, a petroquímica, a papelreira, a alimentícia, dentre outras diversas tipologias, que por sua vez, correspondem a produção de milhões de toneladas de resíduos diariamente. Como uma possível solução para dispor o lodo de maneira ambientalmente adequada, a incorporação do lodo em matrizes cimentícias e argilosas caracteriza-se como uma tentativa de reduzir seu volume, torná-lo inofensivo e estável, recuperar seus conteúdos úteis e facilitar o seu descarte de maneira segura (JUEL; MIZAN; AHMED, 2017).

Neste cenário, várias pesquisas têm sido realizadas nas últimas décadas, afim de criar novos tipos de materiais da construção civil utilizando resíduos sólidos industriais como aditivos. A introdução do lodo na cadeia produtiva é também uma resposta ao problema do escoamento de grandes quantidades de resíduos de diversas atividades industriais (COLETTI, *et al.*, 2016).

Como exemplo, destaca-se a aplicação de lodo industrial em blocos e tijolos cerâmicos e cimentícios, telhas, lajotas para piso e forro, bloquetes para piso e tubos cerâmicos. Desta forma, o aproveitamento da lama de estações de efluentes possibilita o desenvolvimento sustentável, o qual é capaz de satisfazer as necessidade do conjunto da população atual sem comprometer as gerações futuras (BREESEM; MAGID; FARIS, 2014).

No setor da construção civil, o aproveitamento deste tipo de resíduo pode suscitar na minimização de custos e prejuízos ambientais pertinentes ao tratamento e/ou disposição final dos mesmos, não apenas, a extração de matéria prima

também é minimizada por esta ação sustentável. Desta forma, a recuperação e reutilização dos resíduos industriais são fundamentais como estratégia para minimizar os efeitos adversos do lodo no meio ambiente.

Diante do exposto, este setor da economia pode ser um forte contribuinte no que tange a mitigação dos passivos ambientais, uma vez que a incorporação de lama residual em matrizes cerâmicas e cimentícias possibilita um destino ambientalmente correto para estes resíduos, que de outra forma dispostos, sujeitariam o meio aos mais variados tipos de impactos ambientais, como contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas.

## OBJETIVO

Fornecer uma estrutura que possa ser usada na discussão sobre sistemas de tratamento de águas residuais mais eficientes e sustentáveis, incluindo o tratamento do lodo como parte integrante.

## METODOLOGIA

Este artigo é um estudo de revisão e, portanto, possui natureza qualitativa. O principal banco de informações utilizado para coletar literaturas e dados estatísticos fora o *Web of Science*. Utilizou-se como palavras-chave “*sludge incorporation; cement-matrix; clay matrix*”. Foram encontradas cerca de 250 literaturas, todavia o trabalho se concentrou nas investigações realizadas na última década, seguindo os primeiros artigos gerais associados ao assunto.

Métodos abrangentes foram revisados de modo a situar o leitor acerca dos prós e contras referentes a temática. Este documento pode auxiliar no desenvolvimento de algumas ideias de estratégias adequadas no que diz respeito à gestão da lama residual para com o desenvolvimento sustentável. Portanto, o estudo apresentou as utilizações da lama residual em várias configurações ambientais, em que, cada título aborda métodos acerca da utilização deste resíduo, cada qual com suas vantagens e desvantagens.

Serão apresentadas informações pertinentes às características dos resíduos, parâmetros do processo e propriedades dos materiais produzidos por intermédio da incorporação. Não apenas, os efeitos da incorporação da lama residual nos artefatos cimentícios e argilosos serão mencionados, de modo a situar o leitor da viabilidade ou não do uso deste resíduo industrial.

## RESULTADOS

### Tendências futuras na construção civil

O conceito de sustentabilidade vem se tornando cada vez mais relevante, precipuamente o setor da construção civil, que por sua vez apresenta relevância econômica. Contundentemente, a gestão de resíduos torna-se uma prioridade para este ramo, já que a construção civil é um dos setores mais úteis no que diz respeito ao aproveitamento dos resíduos sólidos industriais, a fim de agregar valor ao ciclo de vida de determinado produto.

Sendo assim, a utilização e aproveitamento de resíduos industriais são amplamente reconhecidos como uma das principais opções para o desenvolvimento sustentável. As políticas ambientais predominantes exigem que os resíduos sejam tratados antes de serem dispostos em aterros sanitários. Tratar resíduos e valorizá-los como matéria-prima para construção ou para outras finalidades é uma alternativa mais sustentável, em específico, quando os resíduos já estão no local a ser utilizado (MODOLO *et al.*, 2011).

Em virtude dos fatos mencionados, apesar do setor da construção civil ser um grande consumidor de recursos naturais e gerador de resíduos sólidos o mesmo também pode representar uma alternativa econômica e necessária para destinação final adequada dos mesmos, em especial por intermédio da sua incorporação em produtos cerâmicos e cimentícios. É de grande relevância considerar a qualidade dos resíduos a serem reciclados, suas características físicas, o risco à saúde dos usuários do novo produto e também dos próprios colaboradores da indústria geradora, principalmente devido à lixiviação de frações solúveis ora mesmo a evaporação de frações voláteis (AUDO *et al.*, 2018).

### Aplicação do lodo industrial em materiais da construção civil

A indústria da construção civil notoriamente é conhecida como uma das áreas mais importantes de um país, seja na esfera econômica ou na esfera social. Entretanto, comporta-se como grande gerador de impactos ao meio ambiente, principalmente no que diz respeito a produção de resíduos. Em vista disso, o uso de resíduos industriais como subproduto da construção civil caracteriza-se como uma das principais opções para o alcance do desenvolvimento sustentável (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

A incorporação de resíduos industriais na produção de materiais é uma prática relevante visto a redução do consumo de energia para sua fabricação, a redução de distâncias percorridas para o transporte de matéria prima, a minimização da poluição gerada, e muitas vezes no proporcionamento de materiais com melhores características técnicas. Durante esta pesquisa, alguns estudos e projetos foram encontrados a respeito da temática, cada qual possui sua essência, demonstram sua devida importância, seus aspectos mais relevantes, a necessidade de aproveitamento e incorporação de resíduos industriais, principalmente no setor da construção civil (ISLAM *et al.*, 2016).

Como exemplo, Cusidó e colaboradores (2015) incorporaram o lodo da indústria de papel em matrizes argilosas e concluíram que adição de até 15% em peso de lodo é uma prática viável quanto a produção tijolos em escala industrial. Acerca dos resultados, as amostras indicaram que houve melhoras significativas nas propriedades térmicas e acústicas, entretanto, com o aumento do teor de lodo nas incorporações, a resistência mecânica decaiu substancialmente. Apesar disto, o novo material apresentou desempenho mecânico aceitável, similar à cerâmica convencional.

Dentre as possibilidades para aproveitamento do lodo gerado em estações de tratamento de efluentes, Frias *et al.* (2015) consideraram o lodo proveniente da indústria de papel e celulose como uma alternativa ecologicamente correta para produção de cimento. Os autores buscaram elucidar uma análise detalhada principalmente no que tange às atividades pozolânicas do sistema. Constatou-se que, cimentos com lodo incorporado a mistura carecem de maior demanda de água e menor tempo de ajuste inicial do que o material de referência. A resistência a compressão apresentou valores compatíveis com as normas vigentes em taxas de substituição de até 20%, levando a concluir que resíduos provenientes da indústria de papel proporcionam ótimos resultados de ordem econômica, social e ambiental.

Por sua vez, Buruberry *et al.* (2015) testaram o lodo desta mesma tipologia de indústria como matéria-prima secundária para produção de clínquer para argamassa. Neste estudo, os clínqueres de *Portland* foram processados a temperaturas mais baixas que as normalmente utilizadas na indústria papeleira, principalmente pelo fato da presença de impurezas mineralizantes no resíduo. Os resíduos utilizados apresentaram compatibilidade química com as matérias-primas comumente utilizadas na produção do clínquer/cimento. Ademais, questões pertinentes a durabilidade como a formação de eflorescências (presença de sais solúveis) não foi crítica.

De outro modo, Wong *et al.* (2015) utilizaram cinzas do lodo de papel para fabricar pó hidrofóbico de baixo custo, material este utilizado como revestimento de superfície para concreto repelente à água. Verificou-se que, a substituição do cimento *Portland* por lama residual na proporção de 12% em relação a massa da mistura causou a redução da absorção de água, a sortividade e a condutividade em 84%, 86% e 85% respectivamente, sem acarretar em efeitos prejudiciais na hidratação, resistência e densidade do material.

Em outro aspecto, Kizinievic *et al.* (2013) confirmaram que o óxido de  $Fe_2O_3$  presente no lodo têxtil pode atuar como pigmento natural, assim tingindo o corpo cerâmico com coloração vermelha escura, contudo essa resposta fora validada para incorporações com a presença de até 5% deste resíduo. Além da cor, os autores constataram que a resistência à compressão aumentou em 16%, quanto as demais propriedades mecânicas e físicas do material cerâmico, também houve melhora significativa devido à adição de lodo na proporção citada acima.

Juel, Mizan e Ahmed (2017) ao incorporarem lodo proveniente de alçarias em matrizes cerâmicas notaram a semelhança com resultados de outros estudos, em que, na medida em que se aumentou o teor de lama residual na incorporação à absorção de água também aumentou, em contrapartida, a resistência à compressão diminuiu. Apesar destas observâncias, os autores relataram que foi possível satisfazer os requisitos solicitados pelas normas locais.

Alqam *et al* (2011), investigou o uso de lodo de tratamento de água para reposição de cimento na produção de blocos de pavimentação para uso externo. Utilizou-se percentuais de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% para incorporação do lodo na matriz cimentícia. Como resultado, os autores identificaram um valor médio de absorção de água em torno de 10%. Quanto aos resultados de resistência à compressão fora obtido um valor mínimo de 2,8 MPa, valor este em conformidade com as normas vigentes.

Os blocos de pavimentação utilizados por Alqam *et al* (2011) são compostos por duas camadas. A camada superior possui uma espessura de 10 mm e é feita de cimento e quartzo, na proporção de 1 para 3, bem como adição de 1,8 litros de água por metro quadrado do material. Por sua vez, a camada inferior tem uma espessura de 25 mm e é composta por cimento e areia com uma proporção de 1 para 6. Além de 7,1 litros de água por metro quadrado do bloco.

A substituição do cimento pelo lodo foi realizada apenas na camada inferior. Quatro corpos de prova de (400mm × 400mm × 35mm) foram obtidos e testados a cada metro quadrado. Cinco porcentagens de substituição de lodo cimentício foram avaliadas (10%, 20%, 30%, 40% e 50%). A mistura necessária para produzir cada metro quadrado do material exigiu 6,25 kg de cimento, 37,5 kg de areia e 7,1 litros de água (ALQAM *et al.*, 2011).

Azevedo (2018), analisou a capacidade de incorporação de lodo proveniente da indústria de celulose em placas cimentícias, estas com dimensões de 46 cm x 46 cm. O autor concluiu que a adição em até 7,5% do resíduo em sua forma solubilizada em água proporcionou melhores resultados de conformação do material, precipuamente quanto a resistência e durabilidade.

Zhan (2015), estudou a viabilidade do aproveitamento do lodo proveniente da indústria têxtil para produção de blocos de concreto. Previamente a incorporação do resíduo à massa, adotou-se um processo de pré-tratamento à base de cal para minimizar ou remover totalmente a amônia presente na amostragem. Os lodo pré-tratado fora adotado para substituir o agregado fino em uma razão de massa variando entre 0 e 30%.

Como resultado, observou-se que o processo de pré-tratamento à base de cal foi fundamental na redução de forma significativa da amônia. Os blocos de concreto com menor teor de lodo têxtil e menor concentração de amônia proporcionaram materiais com melhores resultados de resistência à compressão e melhor estabilidade de volume. É um fato que, a resistência à compressão aumentou conforme diminui-se a proporção de resíduo incorporado a mistura (ZHAN, 2015).

Goyal (2019), por sua vez avaliou o efeito da substituição do cimento por lodo têxtil em proporções de até 20% em massa para produção de argamassa. Os resultados indicaram que substituições em até 5% do cimento não causam efeitos adversos no material, todavia, para níveis mais elevados de incorporação do resíduo têxtil houve uma perda considerável de resistência à compressão. Imagens de microscopia de varredura eletrônica (MEV) indicaram que o material apresentou uma microestrutura porosa para níveis mais elevados de reposição, fato este que pode ser prejudicial no que se refere à absorção de água pelo material.

Ahmed e colaboradores (2015) analisaram a possibilidade de uso do lodo proveniente da indústria de mármore como substituto do cimento na produção de concreto. O dado resíduo foi incorporado em proporções de 0%, 10%, 20%, 30% e 40%, para que, posteriormente o material resultante fosse caracterizado física, química, mecânica e mineralogicamente. Dado o exposto, os autores concluíram que a porcentagem ideal de lodo de mármore que proporciona melhores resultados físicos e mecânicos em comparação com a mistura de controle é de 20%.

Quanto aos resultados de difração de raio-X (DRX), foi possível identificar uma diferença insignificante nos produtos de hidratação entre a mistura de controle e outras pastas compostas com lodo de mármore. Não apenas, o ensaio indicou um aumento considerável de calcita, fato este devido ao alto teor de cálcio no resíduo incorporado. As propriedades físicas e mecânicas dos compósitos de cimento foram afetadas principalmente quanto à absorção e a resistência à compressão, ambos associados a porosidade aparente que altas incorporações elevadas de lodo proporcionam.

## **CONCLUSÃO**

Dado o exposto, é possível observar a forte demanda por métodos seguros para reutilização e destinação final ambientalmente eficazes para o lodo de origem industrial, principalmente devido aos problemas associados à crescente quantidade gerada de lama residual. A eliminação de modo seguro dos resíduos de natureza industrial emergiu como um elemento significativo do planejamento e gestão dos recursos hídricos, em vista que, muito dos processos de descarte do mesmo podem sujeitar o meio ambiente e à saúde pública a diversos riscos.

Desta forma, encontrar opções benéficas de aproveitamento tornou-se essencial para o gerenciamento sustentável dos empreendimentos que regem uma determinada comunidade. Sendo assim, diversas alternativas de aproveitamento do lodo industrial podem contribuir positivamente para o desenvolvimento de estratégias adequadas para gestão deste resíduo, cujo principal intuito deve referir-se ao desenvolvimento sustentável, este, em detrimento das normas ambientais vigentes.

Os estudos acerca do aproveitamento do lodo industrial têm se mostrado viável em uma ampla variedade de aplicações ambientais, todavia, a qualidade do material demonstrou-se totalmente associado às características físico-químicas do efluente, a composição da lama residual e também aos processos e operações utilizados para tratamento do resíduo.

Posto isso, os resultados dos vários estudos apresentados indicaram que as composições químicas são fundamentais ao selecionar a opção com melhor potencial de aproveitamento, logo, o conhecimento prévio das propriedades do lodo industrial faz-se necessário. É preciso também rever o processo da estação de tratamento de esgoto, cujo grande intuito refere-se ao aumento do potencial de aproveitamento do lodo, já que, as lamas residuais geradas em diferentes etapas do processamento são diversificadas.

A natureza físico-química dos resíduos produzidos durante a operação de processamento é diferente e, a estimativa bem como a caracterização dos resíduos industriais é fundamental para que se possa realizar a incorporação do mesmo em

matrizes cimentícias ou argilosas de forma mais oportunista. Outro aspecto de grande importância refere-se à conscientização dos operadores das usinas, dos municípios, das autoridades governamentais e do público em geral no que diz respeito aos benefícios que o aproveitamento do lodo pode suscitar à comunidade, bem como o pleno desenvolvimento sustentável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
2. AHMED, M. J. K.; AHMARUZZAMAN, M. **A review on potential usage of industrial waste materials for binding heavy metal ions from aqueous solutions**. Journal of Water Process Engineering, p. 40-46, 2016.
3. AUDO, M.; MAHIEUX, P. Y.; TURCRY, P.; CHATEAU, L.; CHURLAUD, C. **Characterization of ready-mixed concrete plants sludge and incorporation into mortars: origin of pollutants, environmental characterization and impacts on mortars characteristics**. Journal of Cleaner Production, p. 1-28, 2018.
4. AZEVEDO, A. R. G. D. **Desenvolvimento de placas cimentícias reforçadas com incorporação do lodo primário da indústria de papel celulose**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes, RJ, 2018.
5. 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.
6. BREESEM, K. M.; MAGID, I. M.; FARIS, F. G. **Reuse of alum sludge in construction materials and concrete works: a general overview**. Infrastructure University Kuala Lumpur Research Journal, v. 2, p. 20-30, 2014.
7. BURUBERRI, L. H.; SEABRA, M. P.; LABRINCHA, J. A. **Preparation of clinker from paper pulp industry wastes**. Journal of Hazardous Materials, v. 286, p. 252-260, 2015.
8. COLETTI, C., MARITAN, L., CULTRONE, G.; MAZZOLI, C. **Use of industrial ceramic sludge in brick production: effect on aesthetic quality and physical properties**. Construction and Building Materials, v. 124, p. 219-227, 2016.
9. 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.
10. FRÍAS, M.; RODRÍGUEZ, M. I.; SÁNCHEZ, R. **Paper sludge, an environmentally sound alternative source of MK-based cementitious materials**. A review. Construction and Building Materials, v. 74, p. 37-48, 2015.
11. GOYAL, S., SIDDIQUE, R., JHA, S.; SHARMA, D. **Utilization of textile sludge in cement mortar and paste**. Construction and Building Materials, v. 214, 2019.
12. ISLAM, S., K. AHMED, H. A. MAMUN, e G. K. KUNDU. **Heavy metals in the industrial sludge and their ecological risk: A case study for a developing country**. Journal of Geochemical Exploration, v. 172, p. 41-49, 2017.
13. JUEL, A. I., MIZAN, A.; AHMED, T. **Sustainable use of tannery sludge in brick manufacturing in Bangladesh**. Waste Management, v. 60, p. 259-269, 2017.
14. KIZINIEVIC, O.; ZURASKIENE, R.; KIZINIEVIC, V.; ZURASKAS, R. **Utilisation of sludge waste from water treatment for ceramic products**. Constr. Build. Mater, v. 41, p. 464-473, 2013.
15. MODOLO, R.; FERREIRA, V. M.; MACHADO, L. M.; RODRIGUES, M.; COELHO, I. **Construction materials as a waste management solution for cellulose sludge**. Waste Management, v. 31, p. 370-377, 2011.
16. WONG, H. S.; BARAKAT, R.; ALHILALI, A.; SALEH, M.; CHRISTOPHER, R.; CHEESEMAN. **Hydrophobic concrete using waste paper sludge ash**. Cement and Concrete Research, v. 70, p. 9-20, 2015.
17. ZHAN, B. J.; POON, C. S. **Study on feasibility of reutilizing textile effluent sludge for producing concrete blocks**. Journal of Cleaner Production, v. 101, p. 174-179, 2015.