



13ª FEBRAT

MINERAECOSMART: INTEGRANDO ALGAS, PLANTAS AQUÁTICAS E EDUCAÇÃO STEM PARA AVANÇOS SOCIOAMBIENTAIS NA MINERAÇÃO DE BRUMADINHO-MG

Wellington Nora Soares

*Escola SESI Alvimar Carneiro de Rezende
wnsoares@gmail.com*

Gracielle Pereira Pimenta Bragança

*Escola SESI Alvimar Carneiro de Rezende
gracielle.braganca@gmail.com*

Laura Napoli Caldeira Silva

*Escola SESI Alvimar Carneiro de Rezende
laura.napolicaldeira@gmail.com*

Melissa Ferreira Santos

*Escola SESI Alvimar Carneiro de Rezende
melissaferreirasantos664@gmail.com*

Rafael Coelho de Freitas

*Escola SESI Alvimar Carneiro de Rezende
rafael.rcfreitas@gmail.com*

Categoria: D

Palavras-chave: Biorremediação. Bissorção. Bioacumulação. Automação. Inteligência artificial.

Resumo expandido

A mineração é fundamental para o desenvolvimento econômico, fornecendo minerais para diversos setores industriais. No entanto, seus processos geram resíduos, como metais pesados, CO₂ e lama, exigindo manejo adequado para evitar maiores danos ao ambiente. Dentre as práticas de manejo, existe a utilização de algas e plantas biossorbentes e bioacumuladoras, que removem metais pesados tóxicos do solo e das águas residuais. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de um sistema automatizado com Arduino e IA no cultivo de *Chlorella vulgaris* e *Pistia stratiotes* para remoção de CO₂ e metais pesados de águas residuais da mineração, reaproveitando a biomassa com lama residual na produção de tijolos ecológicos. A metodologia do MineraEcoSmart consistiu na implementação de um sistema automatizado utilizando Arduino para monitorar pH, temperatura e oxigênio dissolvido, associado a minigeradores hidráulicos e filtros para promover eficiência energética e sustentabilidade. Foi





13ª FEBRAT

incluído um sistema de injeção de CO_2 , controlado por cilindro pressurizado e monitorado por drop checker. O Arduino foi programado em C++ para acionar sensores de pH, oxigênio dissolvido, temperatura e luminosidade, além de válvulas solenoides e um aquecedor termostático, garantindo controle automatizado dos parâmetros ambientais. A iluminação foi ajustada via Arduino para simular um ciclo de 12 horas de luz com luminárias e fitas *Light Emitting Diode* (LED). O controle do pH foi realizado com adição automatizada de ácido cítrico e bicarbonato de sódio, acionados por válvulas solenoides. A oxigenação foi mantida com bomba de refluxo conectada a minigeradores, que recuperavam energia para alimentar parte do sistema. A água era filtrada e retornava oxigenada ao tanque. O controle de temperatura foi garantido por aquecedor termostático ativado entre 20 °C e 30 °C. Dois tanques experimentais foram preparados com solução multimetálica contendo Cr^{6+} , Cu^{2+} e Fe^{2+} , utilizando-se as espécies *Chlorella vulgaris* e *Pistia stratiotes* em sistemas com e sem automação. Ambos receberam soluções nutritivas específicas para promover o desenvolvimento das espécies. Amostras de água foram coletadas por 10 dias para quantificação dos metais por espectrofotometria UV-Vis, aplicando métodos específicos para cada metal. Ao final, a solução residual foi tratada com luz ultravioleta (UV) para desinfecção. A inteligência artificial, desenvolvida em *Python*, utilizou imagens captadas por câmera ESP32-CAM para reconhecer o estágio ideal de colheita da *Pistia stratiotes*. A lama residual foi reaproveitada na produção de tijolos ecológicos, utilizando 98% de lama e 2% de biomassa das plantas cultivadas, moldados e secos naturalmente, com posterior secagem em estufa entre 40 °C e 60 °C. Os resultados mostraram que o sistema automatizado MineraEcoSmart alcançou absorção superior a 80% dos metais pesados em dez dias, superando o sistema convencional com menos de 50% de remoção. O controle automático do pH, temperatura, oxigênio dissolvido, luminosidade e CO_2 otimizou as condições para o desenvolvimento das espécies *Chlorella vulgaris* e *Pistia stratiotes*, aumentando a eficiência da biorremediação. A inteligência artificial indicou com precisão o momento ideal para colheita, potencializando a captura de minerais e confirmando o potencial dos biofiltros automatizados para melhorar a qualidade da água em ambientes contaminados. A energia gerada pelos minigeradores contribuiu para a sustentabilidade do sistema e a



desinfecção por radiação UV eliminou microrganismos sem uso de químicos. O reaproveitamento da biomassa com lama residual possibilitou a fabricação de tijolos ecológicos resistentes e ambientalmente sustentáveis, evidenciando viabilidade ambiental e econômica. O projeto contou com apoio da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) para fornecimento de algas e testes físicos dos tijolos, além de validação técnica da Defesa Civil e do Corpo de Bombeiros, confirmando que o sistema proposto é eficiente, acessível e aplicável em diversos contextos, promovendo sustentabilidade e educação STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática). Este trabalho demonstrou a eficácia do sistema automatizado com Arduino e Inteligência Artificial no cultivo de *Chlorella vulgaris* e *Pistia stratiotes* para a remoção de CO₂ e metais pesados de águas residuais da mineração. Adicionalmente, o estudo revelou viabilidade do reaproveitamento da biomassa gerada, juntamente com a lama residual, na produção de tijolos ecológicos, apresentando uma solução integrada e sustentável para o manejo de resíduos da mineração. Como novas perspectivas, buscaremos parcerias com comunidades afetadas pelos processos de mineração validando a utilização dos tijolos ecológicos com o objetivo de promover o uso de tecnologias sociais e fomentar o desenvolvimento sustentável local.

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). **ANM e Ministério Público Federal debatem impactos socioambientais relacionados à mineração no Brasil.** Brasília: ANM, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/ptbr/assuntos/noticias/anm-e-ministerio-publico-federal-debatem-impactos-socioambientais>. Acesso em: 5 abr. 2025.

COSTA, M. L. et al. Aproveitamento de rejeitos de minério em tijolos ecologicamente viáveis para o processo construtivo. **Revista de Engenharia Sustentável**, v. 8, n. 1, p. 30-42, 2025. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/388279185> . Acesso em: 2 mai. 2025.

RIBEIRO, M. A.; MARTINS, L. F. Impactos ambientais causados pela mineração: uma análise da percepção de pequenos mineradores do município de Frei Martinho - PB. **Revista de Geografia**, v. 36, n. 2, p. 123-140, 2019.

SANTANA, J. F. et al. Aplicação de minigeradores hidráulicos em sistemas de tratamento de água. **Revista de Tecnologias Sustentáveis**, v. 12, n. 3, p. 55-68, 2020.



SILVA, J. P. et al. **Impactos ambientais ocasionados pela mineração no Brasil: uma revisão sobre levantamento de minas**. Anais do IV Congresso Nacional de Recursos Ambientais, 2020. Disponível em: https://iea.unifesspa.edu.br/uma_revisao_sobre_levantamento_de_minas.pdf. Acesso em: 11 maio 2025.

SOUZA, Eduardo. Concreto feito de cana-de-açúcar: de resíduo agrícola a estruturas sustentáveis. **ArchDaily Brasil**, 11 jun. 2023. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/1001541/concreto-feito-de-cana-de-acucar-de-residuo-agricola-a-estruturas-sustentaveis>. Acesso em: 2 abr. 2025.

RÊGO, D. S. Produção de tijolos ecológicos com resíduos de papelão, pó de serraria e gesso. *Revista Contemporânea*, v. 10, n. 2, p. 45–60, 2022.

TEIXEIRA, J. A.; SILVA, M. F.; OLIVEIRA, R. L. Utilização de resíduos lignocelulósicos na produção de tijolos de adobe. **Revista Brasileira de Engenharia Sustentável**, v. 5, n. 1, p. 25–35, 2012.

VIEIRA, L. M. et al. Integração de tecnologias sustentáveis na mineração: uma abordagem inovadora. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, v. 15, n. 1, p. 22-35, 2022.