

CARACTERIZAÇÃO DE REJEITOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS ECO-FRIENDLY: CAMINHO PARA INDÚSTRIAS RESILIENTES

MAICON OLIVEIRA LUIZ¹; JULIA AMARAL GUIDO²; FERNANDO MACHADO MACHADO³; ÉRICO KUNDE CORRÊA⁴; RUBIA FLORES ROMANI⁵

¹Universidade Federal de Pelotas – maicon.oliveiraaluz@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – juliaguidodesign@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – fernando.machado@ufpel.edu.br

⁴Universidade Federal de Pelotas – ericokundecorrea@yahoo.com.br

⁵Universidade Federal de Pelotas – fgrubia@yahoo.com.br

1. DESCRIÇÃO DA INOVAÇÃO

A busca por soluções inovadoras que promovam o desenvolvimento sustentável é uma prioridade global, refletida nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. O ODS 9 destaca a necessidade de uma industrialização sustentável, que além de reduzir impactos ambientais, impulsiona o crescimento econômico inclusivo e sustentável, criando empregos e melhorando a competitividade global (ONU, 2024). Nesse contexto, tecnologias mais limpas e a gestão eficiente dos recursos naturais são fundamentais para garantir operações industriais mais resilientes.

O desenvolvimento de produtos eco-friendly é uma solução promissora, desempenhando papel importante na redução das emissões de gases de efeito estufa e na minimização dos impactos ambientais negativos. O reaproveitamento de rejeitos do processamento de carvão mineral, ou produtos de baixo valor agregado, tem se mostrado uma alternativa viável para a fabricação de reagentes e produtos sustentáveis (FLORES ET AL., 2012; MENEZES ET AL., 2017; MADRUGA ET AL., 2017). Uma das aplicabilidades é como adsorventes de lixiviados de aterros sanitários, tecnologia implementada em aterros do Brasil (DE ALMEIDA et al., 2020)

Com este foco, está em andamento o projeto de pesquisa e inovação “Desenvolvimento de Processos para Sustentabilidade em Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos” em parceria com empresa responsável pela disposição de mais de 90% dos resíduos sólidos urbanos do Rio Grande do Sul. O projeto tem como objetivo transformar rejeitos do processamento de carvão mineral em produtos eco-friendly, voltados para o tratamento de lixiviados de aterros sanitários.

2. ANÁLISE DE MERCADO

O aterro sanitário parceiro, recebe cerca de 4.000 toneladas diárias de resíduos sólidos urbanos, sendo tratados cerca de 1.080 m³/dia de lixiviado na Estação de Tratamento de Lixiviados (ETL). O diagrama de fluxo do processo da ETL inclui: lagoas de equalização; processo biológico composto por uma lagoa anóxica e duas lagoas aeróbias, processo físico químico por flotação (coagulação e flotação, com adição de cloreto férrico e polímero não iônico) e processo terciário de nanofiltração.

Lixiviados oriundos da disposição de resíduos sólidos urbanos são caracterizados pela grande quantidade de matéria orgânica (biodegradáveis e refratários), em que os compostos húmicos constituem um importante grupo, assim como os compostos nitrogenados, metais pesados e sais inorgânicos. Os custos

operacionais das ETL são elevados sendo reportado estimativas, em escala real, de US\$ 0,95 m⁻³ a US\$ 1,43 m⁻³ para tratamentos biológicos; US\$ 0,95 m⁻³ a US\$ 2,38 m⁻³ para tratamentos físico-químicos e US\$ 3,35 m⁻³ para processo terciário por nanofiltração (DE ALMEIDA ET AL., 2020).

O desenvolvimento de um produto eco-friendly, utilizando matérias-primas alternativas e integrando sistemas de reciclagem e valorização de resíduos, surge como uma alternativa viável para aumentar a competitividade e eficiência do tratamento de lixiviados. Ao substituir reagentes convencionais e processos onerosos, como o uso de produtos químicos sintéticos e a aplicação de tecnologias de alto custo, o produto eco-friendly pode reduzir significativamente os custos operacionais das ETL, contribuindo para a viabilidade econômica e ambiental dos aterros sanitários.

3. ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

Para este estudo, utilizou-se dois sólidos provenientes das etapas de beneficiamento de carvão mineral, disponibilizados por uma empresa do ramo, denominados: EcoCarb Resorce (ECR), oriundo do rejeito e EcoCarb (EC), produto de baixo valor agregado.

A morfologia dos sólidos foi determinada mediante análise de MEV em Microscópio Eletrônico de Varredura, em modo alto e baixo vácuo, Jeol, JSM – 6610LV. As análises de MEV foram complementadas com EDS, através de microsonda acoplada, para determinação semiquantitativa da composição química elementar pontual da superfície.

A análise térmica baseia-se na identificação das mudanças da amostra ocasionadas pela evolução térmica, determinada através da curva termogravimétrica e sua derivada (TGA/DTG). As determinações das curvas termogravimétricas e de suas derivadas foram obtidas no equipamento Analisador Termogravimétrico TGA – 50 – Shimadzu, com fluxo de ar. Nas análises foram utilizados cadinhos de platina, da temperatura ambiente até 800°C.

4. RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTO

A Figura 1 ilustra os resultados das análises de TGA e DTG dos precursores. Observa-se que apresentam comportamentos semelhantes, com maior perda de massa ocorrendo em dois estágios: o primeiro em até 100 °C e o segundo na faixa de 350 a 550 °C. Na análise DTG, identificam-se dois picos característicos para cada amostra: para a amostra EC, os picos ocorrem a 53 °C e 475 °C, enquanto para a amostra ECR, os picos são observados a 26 °C e 490 °C.

A perda de massa correspondente a temperatura de até 150 °C está associada à vaporização intrínseca da água (Hassid et al., 2022; Ponomareva et al., 2022). Quando expostas a uma atmosfera de ar ou oxigênio durante a análise, as amostras revelam reações de oxidação das moléculas orgânicas presentes nas partículas dos sólidos analisados. Segundo Hassid et al. (2022), as reduções de massa observadas nessa atmosfera na faixa de aproximadamente 280 a 400 °C são atribuídas à combustão dos grupos C-H alifáticos. Em um segundo estágio, na faixa de 400 a 520 °C, ocorre a combustão dos grupos C-H aromáticos, que, por serem mais estáveis, requerem temperaturas mais elevadas para a ativação.

Ponomareva et al. (2022) reportaram que quando a temperatura ultrapassa 150°C, o CO₂ é liberado principalmente pela decomposição de grupos funcionais

contendo oxigênio, como carboxila, carbonila, carboxilato e grupos fenólicos (Tahmasebi et al, 2014).

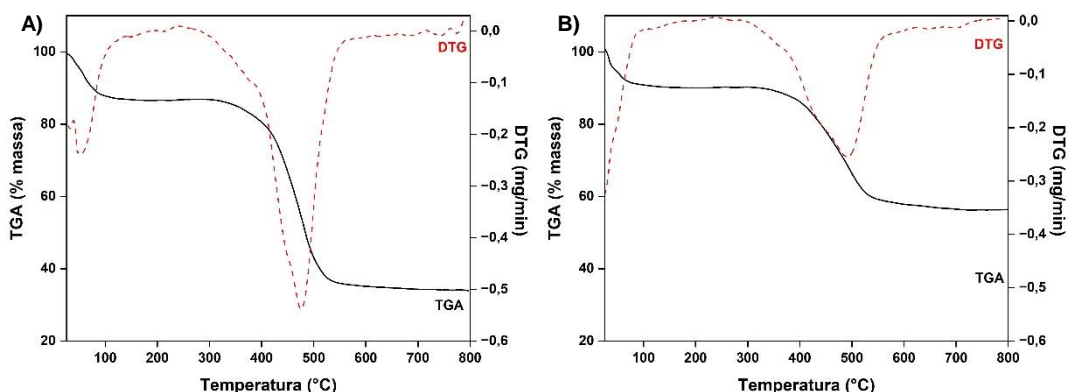


Figura 1: Análise Termogravimétrica (TGA) e Derivada Termogravimétrica (DTG): A) EC; B) ECR.

As análises de MEV dos sólidos EC e ECR são mostradas na **Erro! Fonte de referência não encontrada.2**. Observa-se a formação de agregados de formas irregulares (ligeiramente arredondadas), com aglomerados de tamanho de partículas menores que 10 μm . Os resultados de EDS (Tabela 1) indicam composição semelhante, com maior presença de oxigênio, silício e carbono.

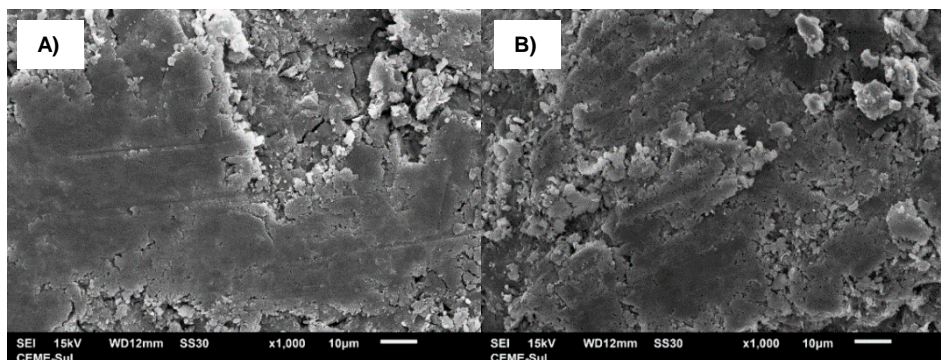


Figura 2: Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): A) EC; B) ECR.

Em relação ao carbono, observa-se porcentagem maior no EC também identificada no TGA, pela maior redução de massa referente as ligações C-H (matéria orgânica).

Analito	Composição mássica (%)	
	EC	ECR
C	23,7	16,57
O	29,6	40,53
Mg	0,31	-
Al	13,3	14,43
Si	25,4	25,91
K	0,93	0,55
Ca	0,47	-
Ti	-	0,46
Fe	6,23	1,56

Tabela 2: Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) do EC e ECR.

5. CONCLUSÕES

As etapas de caracterização dos rejeitos indicam grande potencial para o desenvolvimento de um produto eco-friendly. A parceria fortalece a inovação, alinhada às políticas públicas e à transição para uma economia de baixo carbono. O uso desses rejeitos para sintetizar produtos sustentáveis oferece competitividade em termos de custo-eficiência, especialmente em larga escala, podendo substituir insumos comerciais no tratamento de lixiviados. A próxima fase da pesquisa abordará a sintetização, testes de tratabilidade e análise de viabilidade econômica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DE ALMEIDA, R.; COUTO, J. M. S; GOUVEA, R. M.; OROSKI, F. A.; BILA, M, D.; QUINTAES, B. R.; CAMPOS, J. C. Nanofiltration applied to the landfill leachate treatment and preliminary cost estimation. **Waste Management & Research**, v. 38, e. 10, p. 1119-1128, 2020.

FLORES, R.G.; ANDERSEN, S. L. F.; MAIA, L.K.K; JOSÉ, H.J ; MOREIRA, R. F. P. M. . Recovery of iron oxides from acid mine drainage and their application as adsorbent or catalyst. *Journal of Environmental Management*, v. 111, p. 53-60, 2012.

HASSID, A.; KLINGER, M.; KRZACK, S.; CHOEM, H. TGA–DSC Combined Coal Analysis as a Tool for QC (Quality Control) and Reactivity Patterns of Coals. **ACS Omega**, v. 7, p. 1893–1907, 2022.

JAHANDARI, S.; TAO, Z.; CHEN, Z.; OSBORNE, D.; RAHME, M. Coal wastes : handling, pollution, impacts, and utilization. **The Coal Handbook**. v. 2, p. 97-163, 2023.

MADRUGA, D. R.; SILVEIRA, F. R.; TAFFAREL, S. R.; HIDALGO, G. E.; KNOP, A.; KAUTZMANN, R. M. Tratamento de lixiviado de aterro sanitário utilizando rejeitos de carvão. In: Congresso Brasileiro de Carvão Mineral, 5, 2017, Criciúma: CBCM, 2017.

MENEZES, J. C. C. C. COLLING, A. V.; SILVA, R. A. S.; DOS SANTOS, R. H.; SCHENEIDER, I. A. H. Ferric sulphate coagulant obtained by leaching from coal tailings. *Mine Water Environ.*, v.36, p.457-460, 2017.

ONU. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Organização das Nações Unidas. 2024. Acesso: set. 2024. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>.

PONOMOVERA, A. A.; KOROSTYLEVA, E. E.; SITNIKOVA, E. E.; TCOI, K. A.; LESNYKH, A. V. Changes in the Chemical Structure of Brown and Bituminous Coals during Low-Temperature Processing under Various Atmospheric Conditions. **Solid Fuel Chemistry**, v. 56, n. 5, p. 315-322, 2022.