CARACTERIZAÇÃO DE REJEITO DE BAUXITA PARA POTENCIAL APLICAÇÃO EM REVESTIMENTOS PRIMÁRIOS DE RODOVIAS NÃO-PAVIMENTADAS

Characterization of bauxite tailings for potential application in primary coatings of unpaved roads

Maria Eduarda Coelho Queiroz
Universidade do Estado de Minas Gerais| João Monlevade, Minas Gerais| maria.06-98882@discente.uemg.br

Matheus da Silva Salomão
Universidade do Estado de Minas Gerais| João Monlevade, Minas Gerais| matheus.0698874@discente.uemg.br

Viviane Vitória Tavares Fialho
Universidade do Estado de Minas Gerais| João Monlevade, Minas Gerais| viviane.0694157@discente.uemg.br

Antonio Teodoro Dutra Júnior
Universidade do Estado de Minas Gerais| João Monlevade, Minas Gerais| antonio.0694018@discente.uemg.br

Coralie Heinis Dias
Universidade do Estado de Minas Gerais| João Monlevade, Minas Gerais| coralie.dias@uemg.br

Fabiane Leocádia da Silva
Universidade do Estado de Minas Gerais| João Monlevade, Minas Gerais| fabiane.leocádia@uemg.br

Resumo

O presente estudo investiga a viabilidade da utilização de rejeito de bauxita como material para sub-base na pavimentação de rodovias não-pavimentadas. Diante dos impactos ambientais causados pelo acúmulo desse rejeito em barragens e pilhas de estocagem, torna-se fundamental a busca por soluções sustentáveis. Para isso, foram realizados ensaios laboratoriais de umidade ótima, elasticidade, plasticidade, compactação e compressão simples. Os resultados indicaram que o rejeito de bauxita apresentou umidade ótima de 12% apresentando característica de não plástico e limite de liquidez de 27,05 %. Os ensaios de compressão mostraram resistência de 120 kPa, 133 kPa e 123 kPa nos tempos de cura de 3, 7 e 12 dias, respectivamente.

Palavras-chave: Rejeito de bauxita; Pavimentação; Revestimento Primário

ABSTRACT

This study investigates the feasibility of using bauxite tailings as a subbase material for paving unpaved roads. Given the environmental impacts caused by the accumulation of this tailings in dams and storage piles, the search for sustainable solutions becomes essential. For this purpose, tests of optimum moisture, elasticity, plasticity, compaction and simple compression were carried out. The results indicated that the bauxite tailings presented optimum moisture content of 12%, presenting non-plastic characteristics and a liquid limit of 27.05%. The compression tests showed strength of 120 kPa, 133 kPa and 123 kPa at curing times of 3, 7 and 12 days, respectively.

Keywords: Bauxite tailings; Pavement; Primary coating

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma grande riqueza mineral, destacando-se como um dos principais produtores de bauxita do mundo. Após a extração, a bauxita é tratada com operações típicas do beneficiamento de minérios, como britagem, moagem e peneiramento (Sampaio *et al.* 2005). No entanto a mineração desse recurso gera uma quantidade significativa de rejeitos, que frequentemente são armazenados em barragens, apresentando riscos ambientais e financeiros elevados.

Estudos recentes como os de Araújo *et al.* (2020) têm investigado o reaproveitamento desses rejeitos, com foco na recuperação da soda, percentual de alumina e óxido férrico. Uma alternativa promissora que também vem sendo explorada é a reutilização desses rejeitos na construção de pavimentos, utilizando-os como agregado, material de enchimento e ligante em misturas asfálticas. A utilização desses rejeitos nessa área traz benefícios econômicos, ao reduzir os custos relativos ao armazenamento e monitoramento dos rejeitos, além de benefícios ambientais, ao minimizar a degradação ambiental causada pela extração de agregados naturais para fabricação de novos produtos (Bastos *et al.,* 2016). Devido a isso, investigações adicionais devem ser realizadas para verificar as possibilidades da utilização do rejeito de bauxita.

O rejeito de bauxita é um subproduto gerado durante o beneficiamento da alumina. Conforme descrito por Habashi (2005), o processo Bayer, utilizado para esse beneficiamento, consiste em quatro etapas principais: digestão, clarificação, precipitação e calcinação. A formação do rejeito ocorre especificamente na fase de clarificação, onde se dá a separação entre a fase sólida e a fase líquida composta por um licor rico em aluminato de sódio. Nessa etapa, a solução é inicialmente peneirada para remover partículas maiores e, em seguida, filtrada sob pressão para eliminar partículas menores, resultando em uma solução mais clara e purificada.

O rejeito gerado pelo processo de beneficiamento é composto por materiais alcalinos com pH acima de 11 e uma consistência de lama vermelha. Por apresentar metais como titânio, alumínio, sílica e traços de potássio e magnésio esse rejeito se torna uma grande preocupação ambiental e à saúde humana se não for armazenado de forma correta. Com isso, investigações veem sendo realizadas para verificar a possibilidade da utilização desse passivo de maneira segura. Segundo Choudhary, Kumar e Rahman (2019), o rejeito de bauxita demonstrou bom potencial como fíler em misturas e mástiques asfálticos, podendo ser utilizado na pavimentação.

Segundo Bernucci (2022), pavimento pode ser definido como uma estrutura contendo várias camadas construída sobre a superfície final de terraplenagem. Sua função é resistir de forma técnica e econômica aos esforços causados pelo tráfego de veículos e por condições climáticas, além de propiciar aos usuários melhoria nas condições de deslocamento, com conforto, economia e segurança. Dessa forma, o estudo da incorporação dos rejeitos de bauxita em pavimentos além de reduzir os impactos ambientais associados ao armazenamento desses materiais, também contribui para a economia circular, tornando-se uma solução viável e sustentável.

Este estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica da utilização do rejeito de bauxita na pavimentação de rodovias não-pavimentadas. Para tanto, foram realizados ensaios de liquidez, plasticidade, compactação e compressão simples, com o intuito de determinar as propriedades mecânicas do material e sua adequação para aplicação em pavimentação.

2 METODOLOGIA

O estudo foi conduzido por meio de ensaios laboratoriais realizados em amostra de rejeito de bauxita, mostrado na Figura 1. A coleta da amostra ocorreu no Estado de Minas Gerais em um local de descarte de rejeitos de mineração, garantindo a representatividade do material estudado. Antes da execução dos testes, o material foi devidamente seco e posteriormente peneirado para padronização granulométrica.

O limite de liquidez (LL) foi determinado conforme a norma NBR 6459 (ABNT, 2016) utilizando o aparelho de Casagrande (Figura 2). O ensaio consiste em medir a umidade necessária para que uma ranhura padrão no solo se feche em 25 golpes (Figura 2). O limite de plasticidade (LP), seguindo a NBR 7180 (ABNT, 2016), é a umidade abaixo da qual o solo não consegue mais ser moldado em rolinhos de 3 mm sem trincar. Com esses dois valores, calcula-se o índice de plasticidade (IP = LL − LP), que define se o solo é plástico (alto IP) ou não plástico (IP próximo a zero).

No ensaio de compactação, seguiu-se o procedimento estabelecido pela norma NBR 7182 (ABNT, 2025), empregando um cilindro de compactação de 15,24 cm de diâmetro e 17,78 cm de altura. O material foi distribuído em camadas, e a compactação foi realizada com um soquete padronizado, aplicando-se um total de 25 golpes por camada. No ensaio de compressão, foram moldados corpos de prova (Figura 2), submetidos a tempos de cura de 3, 7 e 12 dias. A escolha desses prazos baseia-se em estudos, como o de Degen *et al.* (2019) para lama vermelha, que demonstram a importância de analisar tanto o ganho inicial de resistência (3-7 dias) quanto o comportamento intermediário (12 dias). A resistência à compressão foi determinada por meio de um compressor mecânico, aplicando carga axial até a ruptura dos corpos de prova.

Figura 1: Amostra do rejeito de bauxita utilizado nos ensaios.



Fonte: Autora (2023)

Figura 2 - Ensaio de liquidez; ensaio de plasticidade, corpos de prova confeccionados para compressão.



Fonte: Autora (2024)

A relação entre umidade e peso específico foi registrada e plotada em curvas de compactação, possibilitando a identificação dos valores ótimos para utilização do rejeito na pavimentação. Por fim, os resultados obtidos foram analisados comparativamente aos parâmetros normativos para materiais utilizados em pavimentação, possibilitando a avaliação da viabilidade da aplicação do rejeito de bauxita para esse fim.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios realizados caracterizaram o comportamento do rejeito de bauxita. O limite de plasticidade (27,05 %), o rejeito foi classificado como não plástico, pois não foi possível moldá-lo em um cilindro com aproximadamente 3 mm de diâmetro sem que ele se desfizesse ou fissurasse imediatamente, conforme estabelecido pela norma NBR 7180 (ABNT, 2016).

O ensaio de compactação permitiu determinar a umidade ótima do rejeito de bauxita e sua relação com o peso específico aparente seco máximo. A compactação é um fator crítico para garantir a estabilidade do material aplicado em rodovias, sendo fundamental encontrar a melhor umidade para maximizar a densidade seca e a resistência mecânica. Os valores obtidos, demonstrados no quadro 2, mostraram que o rejeito de bauxita apresentou umidade ótima de 12%.

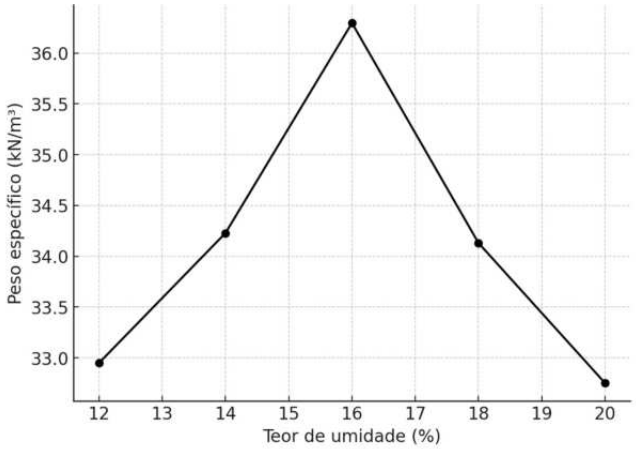
A curva de compactação, representada na Figura 3, do rejeito de bauxita também foi traçada para melhor visualizar a relação entre umidade e densidade seca. O comportamento observado indicou um formato típico de solo arenoso com pouca coesão, confirmando que o rejeito de bauxita se comporta de maneira previsível sob compactação.

Quadro 2: Teor de umidade ótima e peso específico aparente seco máximo do rejeito na energia intermediária

Amostras	Energia de compactação	Concentração de solução enzimática no rejeito	γdmax (kN/m³)	Wot (%)
1	Intermediária	Rejeito puro	32,948	12
2			34,228	14
3			36,297	16
4			34,130	18
5			32,751	20

Fonte: Autora (2024)

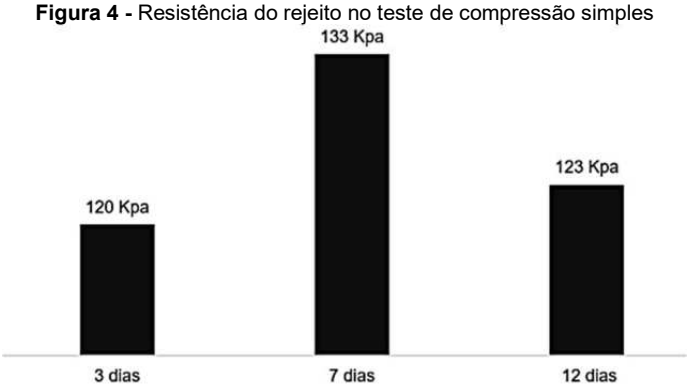
Figura 3: Curva de Compactação do Rejeito de Bauxita



Fonte: Autora (2024)

O ensaio de compressão simples foi conduzido para avaliar a resistência mecânica dos corpos de prova de rejeito, submetidos a tempos de cura de 3, 7 e 12 dias (Figura 4). Essa abordagem permite avaliar a evolução temporal das propriedades mecânicas do material.

Figura 4 - Resistência do rejeito no teste de compressão simples



Fonte: Autora (2024)

Os resultados demonstraram que o rejeito de bauxita apresenta um comportamento característico de ganho de resistência progressivo até o sétimo dia, seguido por uma ligeira redução aos 12 dias. Esse padrão sugere que o material desenvolve inicialmente boa capacidade de suporte, mas requer acompanhamento devido às variações observadas no período estudado.

4 CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos demonstra que o rejeito de bauxita pode ser uma alternativa viável para aplicação em revestimentos primários de rodovias não pavimentadas, apresentando características

mecânicas promissoras. A adoção desse material pode representar uma solução sustentável e economicamente viável.

Os dados obtidos reforçam ainda, a necessidade de investigações complementares, como tempos de cura de maior duração e avaliações de durabilidade em condições reais de tráfego e exposição climática. A continuidade do estudo permitirá refinar os parâmetros técnicos e validar a aplicação prática desse material.

Dessa forma, este estudo pode contribuir para o avanço das práticas sustentáveis na engenharia geotécnica, abrindo novas possibilidades para o reaproveitamento de rejeitos minerais em infraestruturas viárias de baixo custo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459:** Amostragem de solos para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180:** Solo — Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457:** Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR7182** - Solos - Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2025

ARAÚJO, P. F. M, SILVA, P. M. P., CARMO, A. L. V., GOMES, F. G., SANTOS, A. M., DA COSTA, R. V., & MONTINI, M. Bayer process towards the circular economy—Metal recovery from bauxite residue. **Light Metals 2020**., 2020. p. 98-106. https://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-22532- 1_31.

BASTOS, L. A. C. *et al.* Using iron ore tailings from tailing dams as road material. **Journal of Materials in Civil Engineering**, [s. l.], v. 28, n. 10, p. 1–9, 2016. https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001613.

BERNUCCI, L. B. et al. Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2ªedição, 2022

CHOUDHARY, R.; KUMAR, A.; RAHMAN, G. Rheological and mechanical properties of bauxite residue as hot mix asphalt filler. International journal of pavement research and technology, v. 12, n. 6, p. 623-631, 2019. http://dx.doi.org/10.1007/s42947-019-0074-4.

DEGEN, M. K. *et al.* Estudo da lama vermelha como fíler em matrizes cimentícias. ENCONTRO NACIONAL DE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO, v. 6, p. 340-356, 2019.

HABASHI, F. A short history of hydrometallurgy. Hydrometallurgy, v. 79, p. 15-22, 2005.

SAMPAIO, J. A.; Andrade, M. C.; Dutra, A. J. B. 2005. Bauxita. In: Rochas & minerais industriais: usos e especificações. Rio de Janeiro: **CETEM.** Parte II. Cap.13. p. 279-304.

DEGEN, M. K. *et al.* Estudo da lama vermelha como fíler em matrizes cimentícias. ENCONTRO NACIONAL DE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO, v. 6, p. 340-356, 2019.