

O RESÍDUO DE NIÓBIO E SUAS POTENCIAIS APLICAÇÕES NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO DA LITERATURA

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081161

ALVES; JORDANE G.S.[1]; MAZZARO; FILIPE S.[1]; ALMEIDA; FERNANDO C.R.[1]
[1]UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (UFMG).
E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: FERNANDO@DEMC.UFMG.BR

RESUMO: A construção civil é responsável por uma alta emissão de gases estufa e extração de grandes volumes de recursos naturais. Uma alternativa para mitigar esse problema é a substituição de componentes de concretos e argamassas pelos rejeitos da mineração. O presente artigo objetiva apresentar uma revisão da literatura sobre rejeitos gerados no processamento do nióbio e a viabilidade técnica de seu uso na construção civil. A substituição de materiais convencionais por esse resíduo contribui para a melhoria das propriedades dos compósitos cimentícios e diminui os impactos causados pela construção civil.

PALAVRAS-CHAVES: Concreto, rejeito, nióbio.

ABSTRACT: Civil construction is responsible for high greenhouse gas emissions and extraction of large volumes of natural resources. One of the alternatives to mitigate this problem is the incorporation of mining wastes in concrete and mortars. This article aims to present a review of the literature on tailings generated in the processing of niobium and the technical feasibility of its use in civil construction. The replacement of conventional materials by this residue contributes to the improvement of the properties of cementitious composites and reduces the impacts caused by civil construction.

KEYWORDS: Concrete, tailings, niobium.

1 | INTRODUÇÃO

Atualmente a indústria da construção civil é responsável por cerca de 5% de todo o CO_2 produzido no mundo. Além disso, é responsável pelo consumo de 40 a 75% de toda matéria-prima produzida no planeta[(1)(2)].

De acordo com as diretrizes expostas na Agenda 21, documento assinado pelos 179 países participantes da Rio 92 na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Terra é uma fonte finita, cujos recursos naturais podem variar com o tempo e de acordo com os usos a eles atribuídos[(3)]. Reduzir a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso dos recursos energéticos e naturais, até o ano de 2030, é também um dos Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável, propostos pela ONU, por meio da Agenda 2030[(4)]. A crescente pressão sobre os recursos terrestres cria competição e conflitos, tendo como resultado um uso impróprio tanto da terra como dos recursos naturais. Assim, é essencial avançar para um uso mais eficaz e eficiente dos materiais e elementos disponíveis, caso se queira

atender às necessidades humanas de maneira sustentável.

Um exemplo de processo gerador de passivos ambientais presente na indústria da construção civil é a extração de areia, um dos principais componentes de concretos e argamassas. Tal atividade provoca sérios problemas ambientais, como, por exemplo, assoreamento de leitos de rios, alterações nas características físicas do terreno e subtração de parte da cobertura vegetal existente[1].

Neste contexto, pesquisas como as de Tomar *et al.*[5], González *et al.*[6], Kirthika *et al.*[7] e de Carvalho *et al.*[8] apontam para o possível uso de rejeitos da mineração como substitutos parciais ou integrais da areia na composição de argamassas e concretos. Essa substituição poderia significar o aproveitamento de um material potencialmente poluidor, como são os rejeitos, simultaneamente à diminuição da extração de recursos naturais, como a areia.

Assim, busca-se não somente um ganho ambiental, mas também uma melhoria nas propriedades de compósitos cimentícios produzidos com materiais alternativos, em relação àqueles produzidos com materiais convencionais, especialmente no tocante à trabalhabilidade, consistência, porosidade, coesão e resistência[7][8][9].

O presente artigo tem como objetivo apresentar uma revisão da literatura sobre os rejeitos gerados no processamento do nióbio e a influência nas propriedades físicas e mecânicas de concretos contendo rejeitos de mineração similares.

2 | O PROCESSAMENTO DO NIÓBIO E SEUS RESÍDUOS

O Brasil detém as maiores reservas mundiais de nióbio e é responsável por 98% da produção (reserva, extração e processamento) desse minério, seguido por Canadá e Austrália, que respondem pelo percentual restante[10]. No país, as reservas de nióbio (Nb_2O_5) estão concentradas nos estados de Minas Gerais (75,08%), Amazonas (21,34%) e Goiás (3,58%). Atualmente, no município de Araxá, estado de Minas Gerais, se localiza a maior reserva mundial de nióbio em processo de exploração, a qual é operada pela CBMM (Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração)[10] .

De modo geral, o processo de beneficiamento do minério é constituído pelas etapas de britagem, moagem, separação magnética, deslamagem e flotação (Figura 1). Os principais rejeitos gerados são provenientes das últimas três etapas[11].

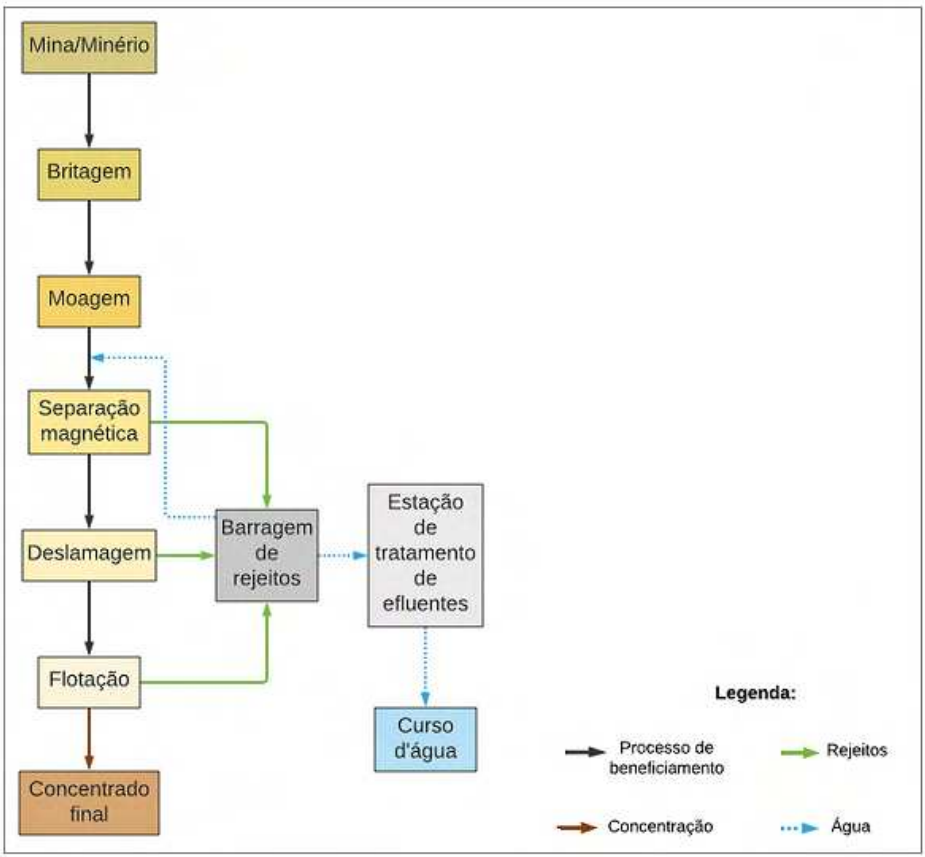


Figura 1 - Etapas do beneficiamento do nióbio

Fonte: Adaptado de Lemos Júnior [11]; Alves; Coutinho [12]

O primeiro rejeito gerado no processo é constituído basicamente de magnetita, removida do minério por meio de separadores magnéticos. Na deslamagem, materiais com granulometria ultrafina são removidos por ciclones. Ao final do processo de concentração, o minério passa pelas células de flotação, com nova fase de geração de rejeitos e concentração de óxido de nióbio (Nb_2O_5) para cerca de 60%[11][12].

Após cada etapa de beneficiamento, os rejeitos são encaminhados para a barragem de contenção, seja por bombeamento ou por gravidade, como ocorre com a lama e os rejeitos da flotação[11][12]. De acordo com Alves[13], uma unidade industrial com capacidade de produzir 100 mil toneladas de nióbio por ano, gera 4 milhões de toneladas de resíduos sólidos, incluindo diferentes tipos de rejeitos do ponto de vista granulo-químico.

Segundo Lemos Júnior[11], análises de granulometria indicaram a presença de partículas mais finas para a mistura de lama e flotação, com frações mais grossas para o

rejeito de magnetita e uma distribuição granulométrica intermediária para a mistura de lama, flotação e magnetita. Os três tipos de rejeitos apresentaram uma fração dominante de areia fina, nas proporções de 55,2% para o rejeito de lama e flotação, 57,3% para o rejeito de lama, flotação e magnetita e de 44,4% para o rejeito de magnetita. As demais frações se dividem predominantemente entre areia média e silte[11]. De acordo com Lopes[14], o rejeito resultante da etapa de separação magnética se encontra em granulometrias distintas, mas com alto índice de partículas finas.

A Tabela 1 sintetiza os resultados aproximados dos principais elementos encontrados em análises químicas, realizadas por diversos autores que estudaram o rejeito oriundo do processamento do nióbio.

	Lemos Júnior [11]		Alves; Coutinho[12]		Issa Filho *et al.* [15]
Elemento	Rejeito de lama e flotação	Rejeito de magnetita	Rejeito de lama e flotação	Separação magnética	Minério residual
	Teor (%)	Teor (%)	Teor (%)	Teor (%)	Teor (%) (*)
Fe	59,5	87,8	59,5	87,8	45,0
Ba	18,5	3,1	18,5	3,1	16,0
Ti	8,3	3,6	8,3	3,6	4,0
S	7,5	2,6	2,1	2,6	7,0
P	2,1	1,0	2,1	1,0	3,7

* Nota: Fe_2O_3; BaO; TiO_2; SO_3; P_2O_5, para Fe, Ba, Ti, S, P, respectivamente.

Tabela 1 - Resultados da caracterização química dos rejeitos do processamento do nióbio

Fonte: Adaptado de Lemos Júnior [11]; Alves; Coutinho [12]; Issa Filho *et al*. [15]

Em geral, foram encontradas baixas concentrações de nióbio nos rejeitos estudados (abaixo de 0,8%), indicando um efetivo processo de beneficiamento do minério. Em contrapartida, foi possível verificar elevados teores de compostos à base de ferro e bário, para todas as amostras analisadas, com exceção do rejeito de magnetita, que apresentou somente ferro em maior concentração. Em consequência, tais rejeitos apresentaram densidades de partículas sólidas relativamente altas, variando de 4,3 a 4,9 g/cm^3[11] (a massa específica de areias convencionais para argamassas pode variar de 2,6 a 2,9 g/cm^3)[16].

Desta forma, uma potencial incorporação desses rejeitos à base de barita ($BaSO_4$) e magnetita (Fe_3O_4) em matrizes cimentícias pode sugerir uma tendência de produção de concretos e argamassas com elevadas massas específicas[17][18][19][20].

3 | POTENCIAIS APLICAÇÕES DOS RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Na literatura, verifica-se uma escassez de trabalhos sobre o uso de rejeitos do processamento do nióbio em matrizes cimentícias. Lopes[14], ao estudar a incorporação

de estéril escalpado da mineração do nióbio em adição e substituição ao agregado graúdo convencional, obteve como resultado amostras de desempenho mecânico superior a de concretos de referência. No entanto, verifica-se uma lacuna no conhecimento a respeito da possibilidade de aplicação deste resíduo como agregado miúdo. Sendo assim, apresentam-se alguns trabalhos a respeito da viabilidade da aplicação de resíduos de mineração, sobretudo aqueles à base de ferro e bário, indicando potenciais usos para os rejeitos do processamento de nióbio em argamassas e concretos.

Em estudo realizado por Mendes *et al.*[21], foi analisada a viabilidade técnica da substituição de agregados naturais por materiais alternativos, simultaneamente ao reaproveitamento do rejeito magnético gerado no processamento de rochas fosfáticas. Foram estudados os efeitos da substituição da areia por magnetita na composição do concreto, produzindo-se amostras com 0% (referência), 5% e 10% de rejeito magnético. Foi apontado um aumento gradual no valor da resistência à compressão, com o aumento do tempo de cura das amostras e à medida em que houve um acréscimo na proporção, em massa, de areia substituída por magnetita.

Castillo[22], em estudo a respeito do uso da barita em pó, como substituta da areia na composição do concreto, indicou um aumento do peso unitário da mistura com o aumento da porcentagem de barita adicionada, assim como um aumento na trabalhabilidade do concreto no estado fresco. Segundo a autora, entre os objetivos do estudo estiveram a proposição de um material alternativo ao chumbo e aos minerais de ferro na produção de concretos de alta densidade, empregados na blindagem contra radiações. A autora aponta ainda que os concretos produzidos com proporções de barita acima de 70% (em volume) em substituição ao agregado convencional, atingiram densidades características de concretos pesados[1] .

Franco *et al.*[25] analisaram a viabilidade do emprego do rejeito de barragem de minério de ferro em estado bruto, incluindo a fração ferrosa, na produção de concretos. Foram realizadas dosagens para as classes de concreto C20, C30 e C40 com utilização do rejeito, ora como adição às misturas de concreto, ora como substituto do agregado miúdo nas proporções, em massa, de 0,5%, 5%, 10% e 50%. Para fins de comparação, também foram produzidas dosagens com agregados naturais. Para todas as classes de concreto, com a adição do rejeito, houve uma melhora da resistência mecânica à compressão e à tração devida, segundo os autores, provavelmente ao efeito *filler* induzido pela maior presença de finos em adição. Concluiu-se que a adição do rejeito se mostrou mais favorável do que a substituição do agregado miúdo natural por este resíduo. Os resultados alcançados permitiram atestar a viabilidade do uso do rejeito de barragem de minério de ferro como matéria-prima de concretos, conferindo-lhes um melhor desempenho mecânico, pelo uso do rejeito como *filler.*

A viabilidade do emprego do rejeito de *sinter feed* - resíduo pesado gerado no processo de produção do minério de ferro - como substituto da areia natural na produção de elementos pré-fabricados de concreto, foi objeto de estudo de Costa *et al.*[26]. A densidade obtida para a argamassa de referência, produzida com areia convencional, foi de 2,11 g/cm^3, enquanto para a argamassa contendo o rejeito, obteve-se uma densidade de 2,78 g/cm^3. De acordo com os autores, a argamassa produzida com adição do rejeito de *sinter feed* apresentou maior resistência à compressão axial que a argamassa de referência, evidenciando um bom desempenho com relação às

1 Apesar da NBR 8953 (ABNT, 2015)[23] definir concretos pesados como aqueles com densidade superior a 2.800 kg/m^3, a norma europeia EN 206 (CEN/TC, 2016)[24] adota o valor de 2.600 kg/m^3.

propriedades mecânicas. Como agregado na produção de concreto para elementos de quaisquer obras assentes diretamente sobre o terreno, o rejeito de *sinter feed* contribuiria para uma maior estabilidade da pavimentação, à medida que constituiria pavimentos com maior peso próprio, menos sujeitos a deformações.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Seguindo as proposições para um desenvolvimento sustentável, o setor da construção civil deve assumir cada vez mais um papel de destaque na busca por soluções alternativas, visando a diminuição de processos geradores de degradação ambiental. O desenvolvimento de novos materiais, produzidos por meio do reaproveitamento de resíduos, se apresenta como uma das alternativas para o gerenciamento dos impactos ambientais causados pela exploração de recursos naturais. O emprego de rejeitos de mineração na produção de compósitos cimentícios se traduz em menores impactos ambientais causados pela extração de areia natural e pela necessidade da construção de barragens. Essa proposta se insere no escopo dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, da Agenda 2030 da ONU, ao promover, além da reciclagem dos resíduos, a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais.

Especificamente sobre os rejeitos de mineração do nióbio, devido a escassez de trabalhos sobre o tema, este artigo se mostra relevante para o balizamento de estudos sobre a incorporação desses resíduos em matrizes cimentícias. Investigações correlatas, a respeito de concretos e argamassas contendo resíduos à base de magnetita e barita (principais constituintes do rejeito do processamento do nióbio), demonstram a viabilidade técnica dessa aplicação. A obtenção de concretos de alta densidade, com trabalhabilidade e resistência mecânica superiores a amostras contendo agregados convencionais, indicam a possibilidade de desenvolvimento de novos materiais, orientando novos rumos de pesquisas e de inovações tecnológicas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao DEMC/UFMG e ao PIBITI/CNPq/UFMG pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

1. GASQUES, A. C. F. *et al*. Impactos ambientais dos materiais da construção civil: breve revisão teórica. **Revista Tecnológica**, v. 23, p. 13–24, 2014.

2. HABERT, G. *et al*. Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 1, p.559–573, 2020.

3. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - Agenda 21. Rio de Janeiro, 1992.

4. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**, 2015.

5. TOMAR, A. K. *et al*. Review on Utilization of Waste Marble Powder in Self-Compacting Concrete. **International Journal of Engineering Trends and Technology**, v. 37, n. 2, 2016.

6. GONZÁLEZ, J. S. *et al*. Use of Mining Waste to Produce Ultra-High-Performance Fibre-Reinforced Concrete. **Materials**, v. 13, n. 11, p. 1–13, 2020.

7. KIRTHIKA, S. K. *et al*. Alternative fine aggregates in production of sustainable concrete- A review. **Journal of Cleaner Production**, 268, 122089, 2020.

8. CARVALHO, J. *et al*. Enhancing the eco-efficiency of concrete using engineered recycled mineral admixtures and recycled aggregates. **Journal of Cleaner Production**, v. 11, 2020.

9. SCRIVENER,K.L. *et al*. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO_2 cement-based materials industry. **Cement and Concrete Research**, 114, 2–26, 2018.

10. PEREIRA JÚNIOR, R.F. Nióbio. **ANM**, 2008.

11. LEMOS JUNIOR, M.A. **Estudos para avaliação da capacidade de reservatórios de rejeitos de nióbio**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica). UFOP, Ouro Preto, 2012.

12. ALVES, A. R.; COUTINHO, A. R. Life cycle assessment of niobium: A mining and production case study in Brazil. **Minerals Engineering**, v. 132, n. June 2018, p. 275–283, 2019.

13. ALVES, R.A. **Proposição de um modelo para a avaliação do ciclo de vida do nióbio.** Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), UNIMEP, Santa Bárbara d'Oeste, 2015.

14. LOPES, D. F. **Análise técnica da substituição parcial e total do agregado graúdo por estéril escalpado de mineração destinado a fabricação de concreto**. Dissertação (Mestrado em Gestão Organizacional). UFG, Catalão, 2018.

15. ISSA FILHO, A. *et al*. Some aspects of the mineralogy of CBMM niobium deposit and mining and pyrochlore ore processing – Araxá, MG – Brazil. **Niobium, Science and Technology**, p. 53–65, 2001.

16. CARASEK, H. *et al*. Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento. **Revista Matéria**, v.21, n.3, p.714-732, 2016.

17. HORSZCZARUK, E.; BRZOZOWSKI, P. Investigation of gamma ray shielding efficiency and physicomechanical performances of heavyweight concrete subjected to high temperature. **Construction and Building Materials**, v. 195, p. 574–582, 2019.

18. DRAGOMIROVÁ, J. *et al*. Optimization of cementitious composite for heavyweight concrete preparation using conduction calorimetry. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 142, n. 1, p. 255–266, 2020.

19. SIKORA, P. *et al*. Incorporation of magnetite powder as a cement additive for improving thermal resistance and gamma-ray shielding properties of cement-based composites. **Construction and Building Materials**, v. 204, p. 113–121, 2019.

20. AHMAD, I. *et al*. Densification of concrete using barite as fine aggregate and its effect on concrete mechanical and radiation shielding properties. **Journal of Engineering Research (Kuwait)**, v. 7, n. 4, p. 81–95, 2019.

21. MENDES, M.V.A. *et al*. Substituição do agregado miúdo por magnetita na composição do concreto. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, p.513, 2014.

22. CASTILLO, K.S.M. **Comparación entre el concreto convencional y el concreto con barita en polvo como sustituyente del agregado fino**. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Civil), Universidad Señor de Sipán, Pimentel, 2016.

23. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8953: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, p.3, 2015.

24. EN 206:2013+A1:2016. Concrete - Specification, performance, production and conformity. **CEN/TC**, p. 102, 2016.

25. FRANCO, L. C. *et al*. **Aplicação de rejeito de mineração como agregado para a produção de concreto**. 56º Congresso Brasileiro do Concreto CBC, n. 1, p. 1–15, 2014.

26. COSTA, A. V. *et al.* Estudo de caracterização e viabilidade do emprego do rejeito de *sinter feed* como alternativa de substituição das areias naturais como agregado na produção do concreto. **Construindo - FUMEC**, v. 4, n. 2, p. 42–52, 2012.