

CHARACTERIZATION OF IRON ORE TAILINGS: POTENTIAL APPLICATION AS FOUNDRY SAND

E. M. CAETANO¹, M. H. F. MENDES, F. C. NOGUEIRA, J. J. MENDES, C. A. PEREIRA, F. L. SILVA

Universidade do Estado de Minas Gerais

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6577-4766>

fabiane.silva@uemg.br¹

Submitted September 6, 2023 - Accepted December 1, 2023

DOI: 10.15628/holos.2023.14273

ABSTRACT

The use of tailings generated during the iron ore beneficiation process has been the subject of several studies aimed at finding economically viable solutions for managing the waste generated by the mining industry. In this context, this study was developed with the purpose of characterizing foundry sands manufactured from the waste material originating from the Andrade Mine in Minas Gerais, Brazil, with the aim of assessing the feasibility of using these sands as molding material for the casting process. Initially, the overall tailing sample underwent size classification to 150 μm , and the retained fraction was separated into two foundry sand samples,

named Sand 01 (without additional treatment) and Sand 02 (subjected to magnetic separation). Studies were conducted on the chemical, physical, optical, and mineralogical characteristics of both the overall sample and the obtained sands. The results indicated that both sand samples were classified as medium sands based on the fineness modulus, an essential characteristic of materials used for casting molds. Sand 02, in particular, demonstrated characteristics closer to the standards recommended by the CEMP E-01 standard of ABIFA, highlighting the possibility of using this material as a co-product of iron ore beneficiation.

KEYWORDS: iron ore tailings, foundry sand, magnetic separation, sustainability.

CARACTERIZAÇÃO DO REJEITO DE MINERIO DE FERRO: POTENCIAL APLICAÇÃO COMO AREIA DE FUNDIÇÃO

RESUMO

O aproveitamento dos rejeitos gerados no beneficiamento do minério de ferro tem sido objeto de vários estudos que buscam encontrar soluções economicamente viáveis para gestão dos resíduos provenientes da indústria mineradora. Nesse contexto, este estudo foi desenvolvido com o propósito de efetuar uma caracterização de areias de fundição fabricadas a partir do rejeito proveniente da Mina do Andrade -MG, com o objetivo de avaliar a viabilidade de utilização dessas areias como material de molde para o processo de fundição. Inicialmente, a amostra global do rejeito passou por uma classificação no tamanho de 150 μm , e a fração retida foi separada em duas amostras de areia de fundição

denominadas Areia 01 (sem tratamento adicional) e Areia 02 (submetida a separação magnética). Foram realizados estudos das características químicas, físicas, ópticas e mineralógicas tanto da amostra global quanto das areias obtidas. Os resultados mostraram que ambas as amostras de areias foram classificadas como areias médias com base no módulo de finura, característica indispensável dos materiais usados para moldes de fundição. A Areia 02, em particular, demonstrou características mais próximas aos padrões recomendados pela norma CEMP E-01 da ABIFA, destacando a possibilidade da utilização desse material como coproduto do beneficiamento do minério de ferro.

PALAVRAS-CHAVE: rejeito de minério de ferro, areia de fundição, separação magnética, sustentabilidade.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, considerado um dos maiores produtores de minérios do mundo, destaca-se especialmente na extração e exportação de minério de ferro. Essa atividade desempenha um papel fundamental no desenvolvimento econômico do país, gerando tanto empregos diretos quanto indiretos nas comunidades onde as operações estão estabelecidas (Denes et al., 2022).

No entanto, apesar dos aspectos positivos, a mineração também é responsável por impactos ambientais de grandes proporções (Lacaz et al., 2017). O crescente volume de rejeitos gerados durante o beneficiamento de minérios e sua disposição em barragens têm levantado preocupações, especialmente devido ao risco de colapso dessas estruturas (Borges, 2018). De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) de 2022, o minério de ferro, que responde por uma parte substancial da produção mineral brasileira, tem contribuído para a crescente necessidade de capacidade de armazenamento de barragens, com um aumento significativo em seu volume e altura ao longo das décadas, conforme apontado por Guedes e Schneider (2018).

Nesse cenário, muitas empresas do setor estão adotando estratégias voltadas para a gestão de rejeitos, com o objetivo de alcançar a produção de "rejeito zero" por meio da transformação desses materiais em subprodutos de valor agregado. Pesquisas recentes têm comprovado o potencial de aplicação desses materiais em diversas áreas, como estabilização do solo, fabricação de blocos de concreto intertravados e a incorporação em composições asfálticas (Oliveira, 2021). Outros estudos também ressaltam sua utilidade na produção de argamassa, na indústria cerâmica e como materiais para o setor de pavimentação (Silva et al., 2023). Um exemplo dessa tendência é a mineradora Vale, que iniciou recentemente a produção de areia a partir do rejeito de minério de ferro. Esse produto tem sido direcionado para a indústria de construção civil, atendendo aos requisitos de uma areia industrial, incluindo alta uniformidade química e granulométrica (ABM Brasil, 2021).

Contudo, a reutilização efetiva dos rejeitos para determinada aplicação está diretamente relacionada às suas características físicas e químicas, tornando essencial a realização de estudos para determinação de suas propriedades específicas (Andrade et al., 2017). O rejeito proveniente do beneficiamento de minério de ferro é tipicamente composto pelos elementos eliminados durante a fase de concentração, como sílica (SiO_2), hematita (Fe_2O_3), alumina (Al_2O_3) e outros componentes em menor percentual (Silva, 2014). O considerável teor de sílica presente nesse material o coloca em posição de compará-lo com as areias industriais utilizadas em processos de fundição (Aguiar et al., 2016). As areias industriais, reconhecidas por suas propriedades químicas e físicas, incluindo o alto teor de SiO_2 , (superior a 98%), possuem alto valor econômico e são empregadas em diversas indústrias, como vidro, fundição, cerâmica, refratários e cimento (Luz & Lins, 2005; Ruiz, 2013).

No contexto da fundição, a areia desempenha um papel fundamental, uma vez que é frequentemente utilizada na composição dos moldes. Os moldes mais utilizados são fabricados com uma mistura de areia e diferentes aglomerantes, como cimento, resinas de cura a frio, resinas de cura a quente ou silicato de sódio. Destaca-se que a variedade conhecida como "areia verde"

prevalece nesse cenário devido à sua umidade natural, menor custo e ao processo de fabricação relativamente simples. O termo “verde” refere-se à umidade natural da mistura, composta por areia silicosa, aglomerantes, argilas (bentonitas) e água (Mascarenhas, 2016; Moro & Auras, 2007).

Sendo assim, considerando a necessidade de abordar as questões ambientais associadas à mineração, desenvolveu-se este estudo com o objetivo de caracterizar areias de fundição produzidas a partir do rejeito proveniente do processo de concentração do minério de ferro da ArcelorMittal Mina do Andrade - MG. A proposta central concentrou-se em avaliar a viabilidade de utilização desse rejeito como material de molde na indústria de fundição. Os resultados se positivos, abrem perspectivas para a continuidade dos ensaios de fundição de peças utilizando esse tipo de areia como um coproduto do beneficiamento do minério de ferro, o que pode representar um passo importante rumo a sustentabilidade na mineração.

2 METODOLOGIA

Para a realização deste estudo, foi utilizada uma amostra de rejeito proveniente da planta de beneficiamento de minério ferro itabirítico da Mina do Andrade, pertencente a ArcelorMittal. As etapas de caracterização da amostra global são apresentadas fluxograma da Figura 1. Inicialmente, uma alíquota foi reservada para a análise de umidade da amostra, em seguida, o material foi submetido à secagem em uma estufa a 100°C. Após a completa secagem, a amostra foi homogeneizada e quarteada, resultando na obtenção de alíquotas para as análises granulométricas e de densidade, bem como para a análise química, mineralógica e determinação da forma e estrutura dos grãos.

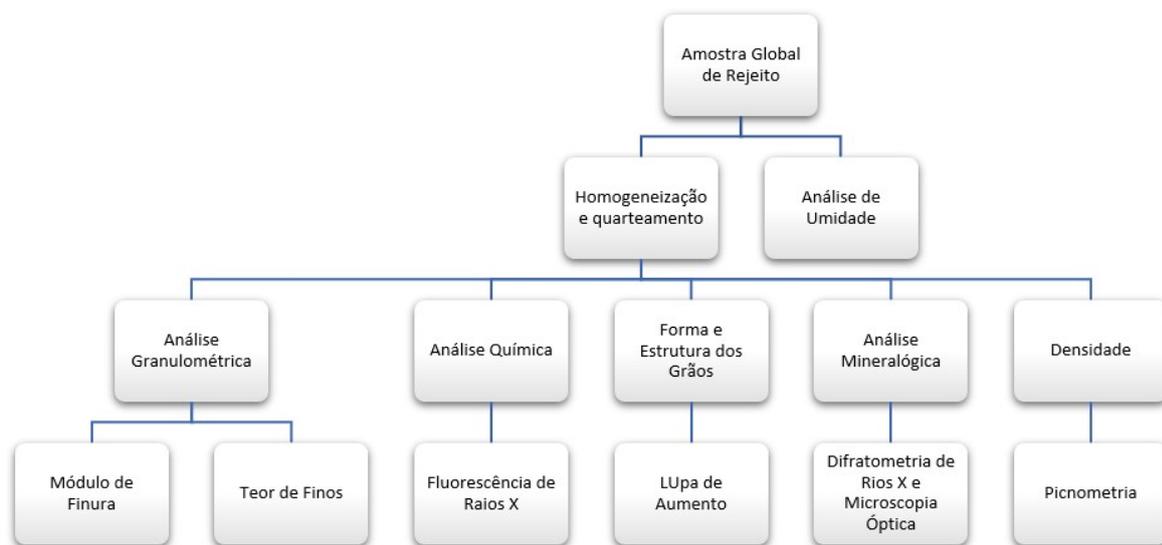


Figura 1: Fluxograma dos ensaios de caracterização do rejeito.

Após a etapa de caracterização, procedeu-se à classificação da amostra global do rejeito em 100# (150 μm). A fração retida nesta peneira foi utilizada para a produção das areias de fundição, seguindo as diretrizes da norma CEMP-081 (ABIFA, 2015).

No âmbito deste estudo, foram produzidas duas variedades de areias de fundição: Areia 01 (sem separação magnética) e Areia 02 (após passar pelo processo de separação magnética). Os ensaios de separação magnética foram realizados utilizando um separador magnético de alta intensidade da marca *Carpco Inc*, modelo WHIMS 3X4L, com o número de série 210-97. A corrente da bobina magnética foi de aproximadamente 7A, e a voltagem da bobina magnética foi mantida em 125 V. O processo de separação magnética foi realizado em meio líquido, sendo preparada uma polpa com diluição de 3:1.

Após a separação magnética, foi realizado a secagem das duas amostras de areias de fundição, seguindo as diretrizes da norma CEMP-105 (ABIFA, 2015), a fim de determinar a umidade da areia de fundição. Logo após a secagem, foram retiradas alíquotas para caracterização das areias conforme ilustrado no fluxograma da Figura 2.

A caracterização das areias de fundição geradas englobou análises químicas, mineralógicas, medidas de umidade, densidade e perda por calcinação.

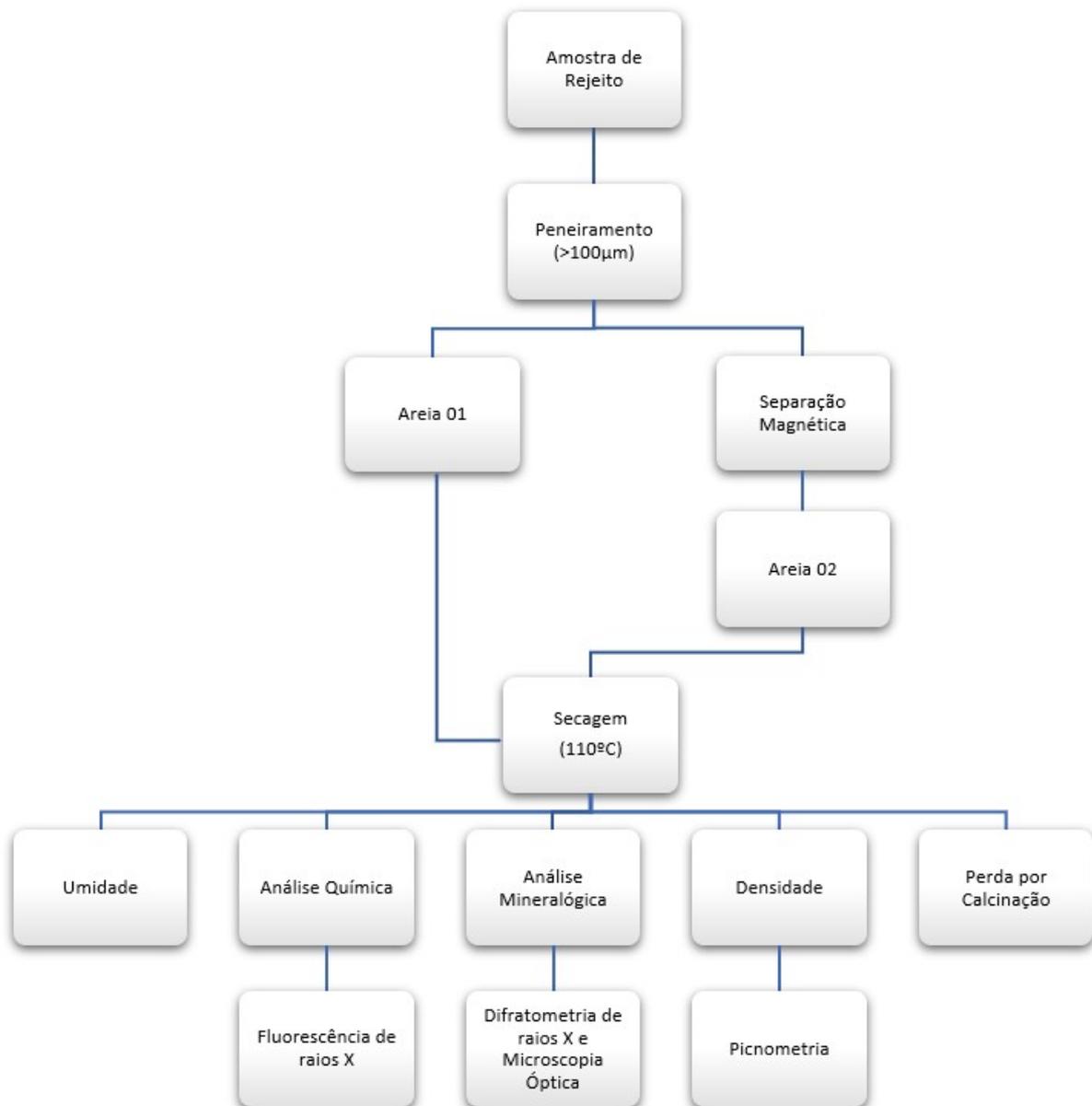


Figura 2: Fluxograma do processo de produção e caracterização das areias de fundição.

2.1 Análise Química

A determinação dos teores dos elementos e compostos Fe, SiO₂, Al₂O₃, Mn, P, CaO, MgO, TiO₂, Na₂O, K₂O, Cr₂O₃ presentes na amostra foi realizada por meio da técnica de fluorescência de raios X. A análise foi feita utilizando o espectrômetro de dispersão de raios X por comprimento de onda (WDXRF) da marca *Panalytical*, modelo *Vulcan 6MA, Zetium*. Para garantir a minimização dos efeitos de matriz e melhorar a reprodutibilidade e precisão da análise, a amostra foi submetida à pulverização em um moinho pulverizador até atingir uma granulometria em que 95% da massa passasse pela malha de 100# (150 µm). Para a fusão das amostras, foram utilizados tetraborato de lítio e o equipamento *Axios*. A determinação da perda por calcinação (PPC/LOI) foi realizada em

conformidade com as normas ASTM E1621 e ISO 11536/2015. A amostra foi introduzida em um forno tipo mufla, onde foi submetida ao processo de calcinação a uma temperatura de 1000°C.

2.2 Análise mineralógica por difração de raios X

A análise mineralógica por difratometria de raios X foi realizada utilizando um difratômetro modelo *D2 Phaser* da marca *Bruker*. As amostras foram preparadas pelo método do pó e as varreduras foram realizadas entre 2° e 70°, com um passo de 0,018°. O experimento teve duração de aproximadamente 20 minutos, com um tempo de aquisição de dados de 1 segundo por ponto e a velocidade de rotação do porta amostra configurada em 8 rotações por minuto. A identificação das fases cristalinas foi feita por meio do software *X'Pert High Score Plus 3.0 Panalytical*.

2.3 Análise mineralógica por microscopia óptica

A análise mineralógica foi realizada utilizando um microscópio óptico de luz refletida da marca Leica, equipado com lentes objetivas de 50x. As amostras foram preparadas através da incorporação em resina epóxi, seguida pelo processo de lixamento e polimento.

2.4 Forma e estrutura dos grãos

A determinação da forma e estrutura dos grãos das partículas foi realizada utilizando uma lupa de aumento da marca Leica, modelo EZ4W, com um aumento de 15x.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização granulométrica

A distribuição granulométrica da amostra global do rejeito e das Areias 01 e 02 está representada no gráfico da Figura 3.

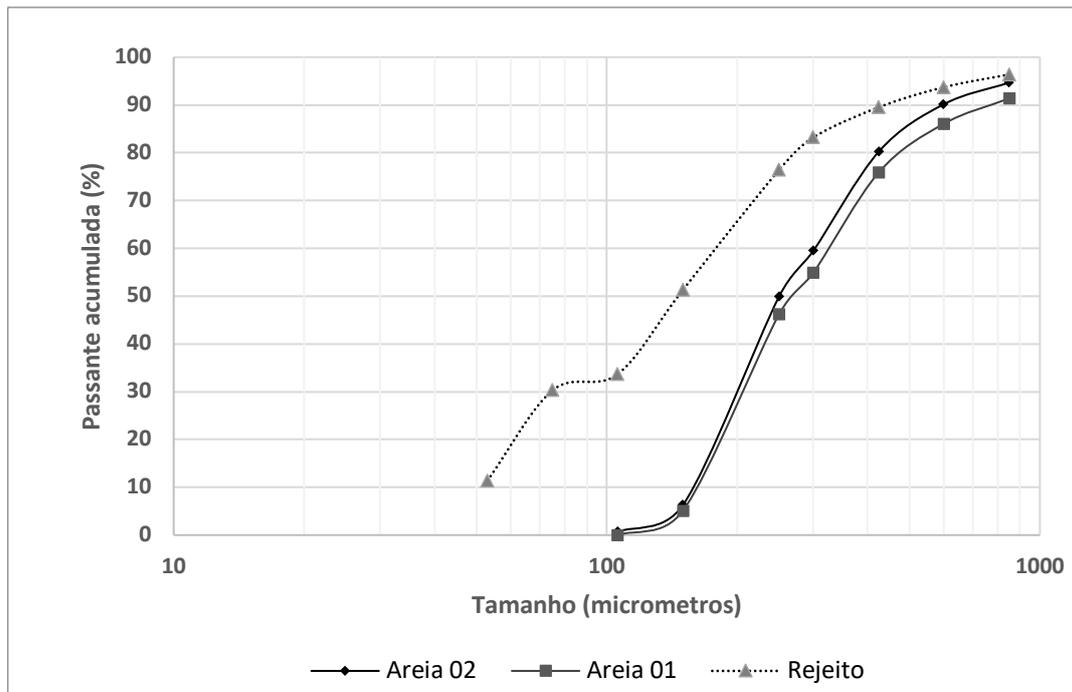


Figura 3: Distribuição granulométrica das amostras de rejeito do minério de ferro e das Areias 01 e 02.

Ao analisar a distribuição granulométrica da amostra global do rejeito, foi observado que aproximadamente 51% do material passou pela peneira de 150 μm , sendo considerado como fino.

A distribuição granulométrica das Areias 01 e 02 mostrou-se bastante similar, com uma quantidade significativa de material retido nas peneiras de 150 μm , corroborando a afirmação de que a granulometria característica de um rejeito de minério de ferro está em torno de 150 μm (Tolentino, 2010).

A Tabela 1 apresenta os valores de módulo de finura, teor de finos e a classificação da amostra de rejeito e das areias de fundição após o processo de classificação na peneira de 100# (150 μm).

Tabela 1: Comparação entre os módulos de finura, teor de finos e classificação do rejeito e das areias.

Ensaio	Rejeito	Areia 01 (%)	Areia 02 (%)
Módulo de Finura	86,71	51,61	55,25
Teor de Finos (%)	0,34	0	0,007
Classificação da areia	Fina	Média	Areia Média

De acordo com as diretrizes estabelecidas na recomendação CEMP – E01, da ABIFA, que define critérios específicos para uma areia padrão de fundição, o teor máximo de finos permitido é de 0,1%. Observou-se que as areias de fundição produzidas atenderam a essa norma. Entretanto, é importante ressaltar que o rejeito inicial continha uma quantidade significativa de finos, o que inviabilizaria o uso direto desse material como molde em fundição devido ao comprometimento da permeabilidade do mesmo.

Ao comparar os resultados do módulo de finura das Areias 01 e 02 com os valores estabelecidos na recomendação CEMP – 081, da ABIFA, verifica-se que a Areia 02 está em conformidade com as especificações da norma. Além disso, com base na classificação proposta por Oliveira (2013), ambas se encontram dentro da faixa de areias médias (51-70). Quando se analisa o módulo de finura das após o corte granulométrico e se compara com a classificação feita pela ABIFA (CEMP – 081), observa-se uma proximidade, uma vez que a norma estabelece um valor de 57,38 para o módulo de finura da areia de fundição.

O rejeito foi classificado como areia fina e apresentou módulo de finura acima do limite especificado pela recomendação. Segundo Oliveira (2013), areias classificadas como finas proporcionam acabamentos superior às peças fundidas, no entanto, reduzem a permeabilidade do molde. Portanto areias com baixo módulo de finura são mais recomendadas para fundição de ligas ferrosas.

3.2 Caracterização química

Os resultados das análises por fluorescência de raios X são apresentados na Tabela 2. Como previsto, as amostras são constituídas majoritariamente por sílica e ferro.

Tabela 2: Análise química das amostras.

	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Mn	%P	%CaO	%MgO	%TiO ₂	%Na ₂ O	%K ₂ O	%Cr ₂ O ₃	PPC
Amostra global	23,74	58,66	3,02	0,17	0,08	0,25	1,39	0,23	<0,01	0,15	<0,01	1,94
Areia 01	27,39	55,46	2,41	0,19	0,06	0,2	1,01	0,2	<0,01	0,16	<0,01	1,01
Areia 02	14,93	72,16	2,79	0,16	0,05	0,21	1,65	0,18	<0,01	0,24	<0,01	1,1

O teor de ferro da amostra global do rejeito foi quantificado em 23,74%. Observou-se um aumento no teor de ferro para a Areia 01, alcançando 27,39%, resultado da concentração preferencial dos minerais de ferro nas frações mais grossas após a classificação na peneira de 150µm. Já a amostra denominada Areia 02, submetida a um processo de separação magnética, apresentou uma diminuição no teor de ferro para 14,93 %, ao passo que o teor de sílica atingiu 72,16%.

Segundo a recomendação CEMP-E01, da ABIFA, o teor SiO₂ para uma areia padrão de fundição deve ser de, no mínimo, 99%. Neste trabalho, constatou-se que, das amostras analisadas, a Areia 02 foi a que apresentou maior teor do mineral, ficando mais próximo do recomendado. Isso ressalta a importância de aprimorar as técnicas de concentração atualmente utilizadas para beneficiar os rejeitos.

Atualmente, apenas uma pequena parcela do rejeito de minério de ferro é aproveitada para produção de areias industriais usadas na construção civil, as quais têm valor de mercado inferior ao das areias silicosas. Aumentar a capacidade de reconcentrar os minerais úteis contidos nos rejeitos pode resultar em areias mais puras, ideais para serem utilizadas como material de molde, com maior valor agregado, e também pode viabilizar a recuperação de uma maior quantidade de ferro nos circuitos de beneficiamento.

Considerando o grande volume anual de rejeitos de minério de ferro, é fundamental continuar os estudos com os ensaios mecânicos para avaliar o comportamento de areias produzidas a partir desses rejeitos, em relação aos outros requisitos estabelecidos pela norma. Isso ocorre porque entre os aditivos adicionados às areias de fundição, estão os óxidos de ferro, sendo a hematita o mais empregado, com teores que variam de 0,5 a 5%, dependendo do efeito desejado, conforme indicado por Romanus (1991).

3.3 Caracterização Mineralógica por Difração de raios X

A partir dos resultados da análise mineralógica, destaca-se que nas três amostras, o mineral quartzo (SiO_2) apresentou o pico mais intenso, indicando a abundância de sílica no rejeito, o que está em consonância com a caracterização química que revelou um elevado teor desse mineral. Em relação ao mineral de ferro, a hematita (Fe_2O_3) foi identificada nos três difratogramas.

A Figura 4 apresenta o difratograma da amostra global do rejeito, onde foi possível identificar a presença de caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) e biotita (Bt), além do quartzo (Qz) e da hematita (Hem).

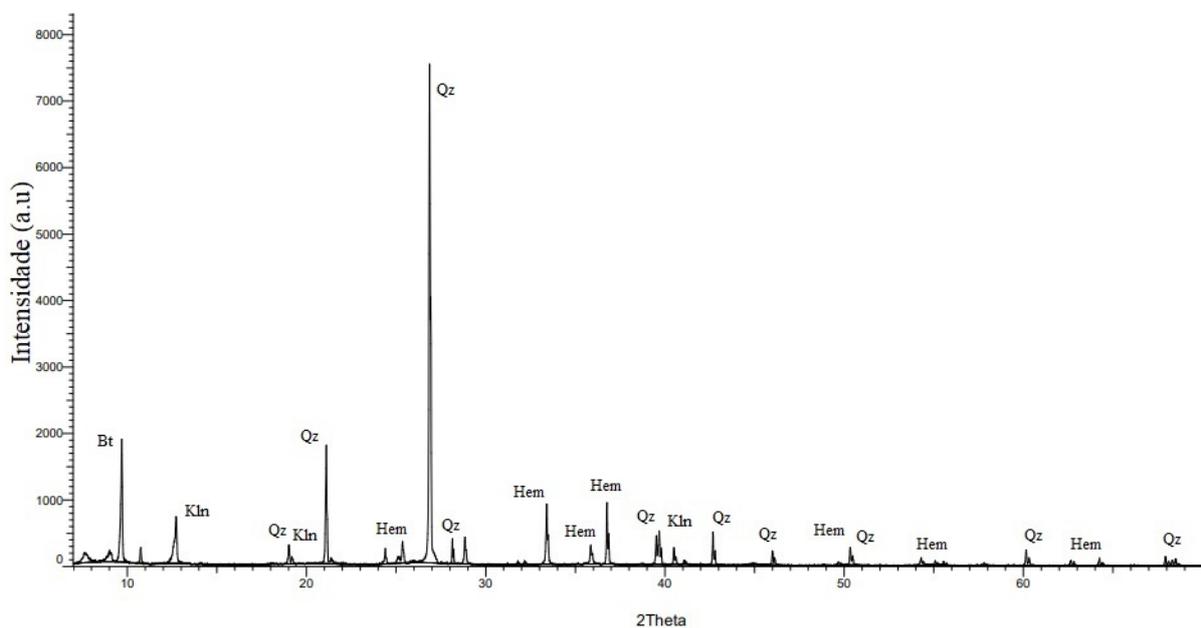


Figura 4: Difratograma da amostra global do rejeito.

Legenda: Qz – Quartzo; Kln – Caulinita; Hem – Hematita; Bt – Biotita.

No difratograma da amostra da Areia 01 (Figura 5), foi observada uma diminuição na intensidade dos picos relacionados à fase de hematita em comparação com o difratograma da amostra global do rejeito (Figura 4).

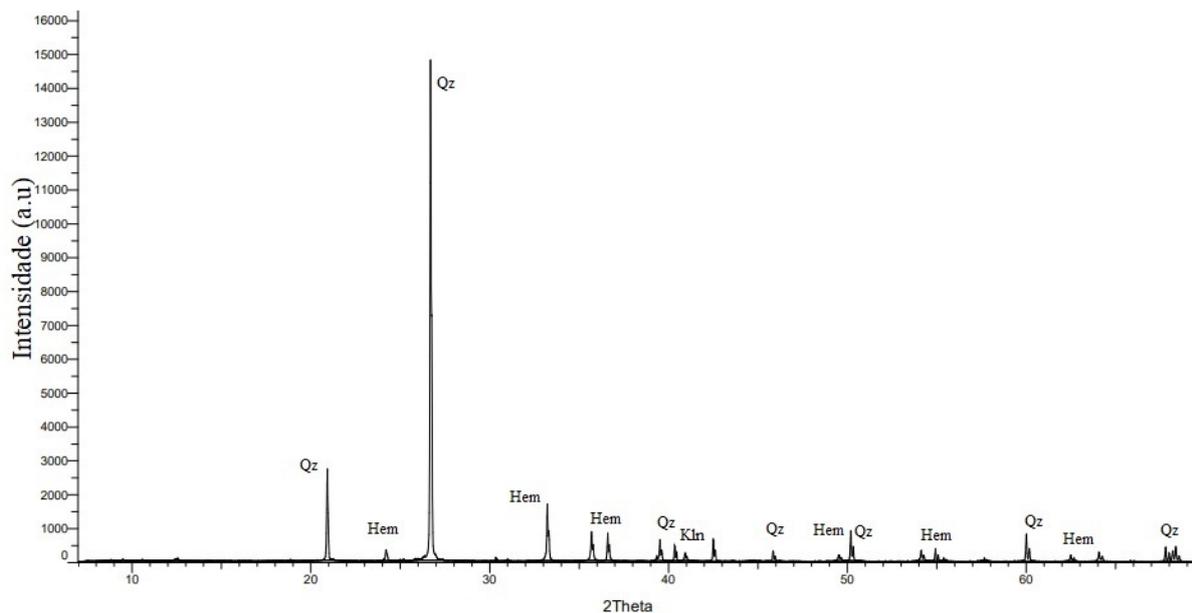


Figura 5: Difratograma da amostra da Areia 01.

Legenda: Qz – Quartzo; Kln – Caolinita; Hem – Hematita

No difratograma da amostra da Areia 02 (Figura 6), foi evidenciada a predominância do mineral quartzo e uma menor quantidade de hematita. Esse padrão é particularmente relevante quando se considera a aplicação da amostra como areia para uso em processos de fundição.

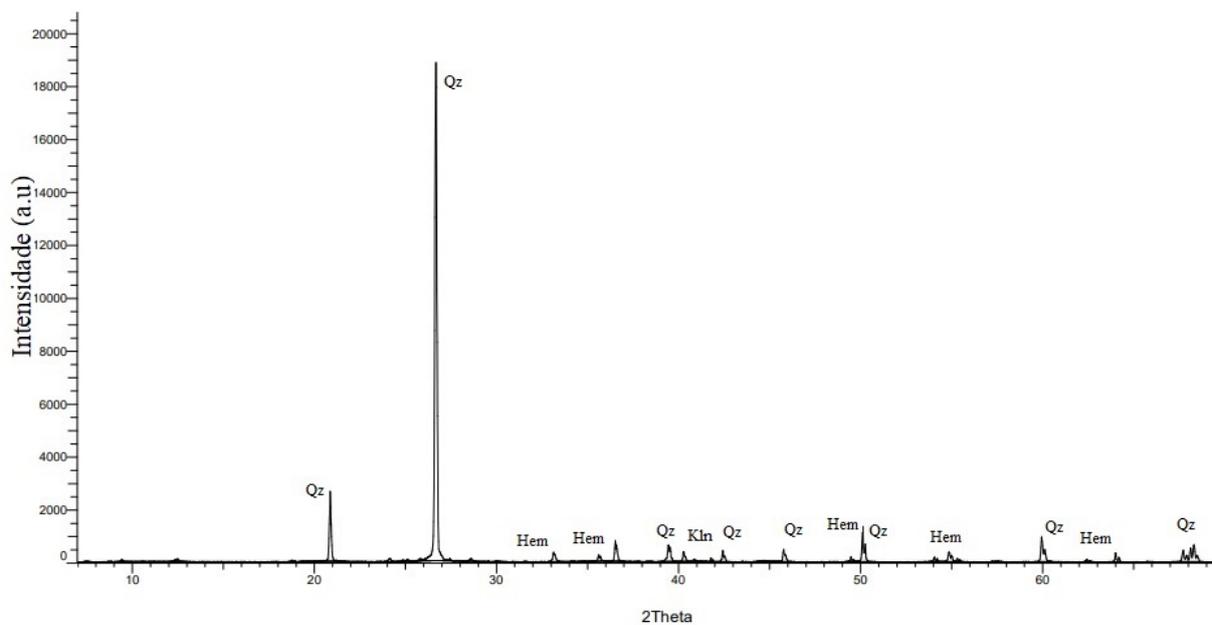


Figura 6: Difratograma da amostra da Areia 02.

Legenda: Qz – Quartzo; Kln – Caolinita; Hem – Hematita.

3.4 Caracterização mineralógica por microscopia óptica

Através da caracterização mineralógica por microscopia óptica, obteve-se a minerografia quantitativa das amostras. As imagens na Figura 7 apresentam a disposição dos diferentes minerais e suas formas individuais. No gráfico da Figura 8, está representada a distribuição percentual das partículas identificadas em cada amostra.

As imagens à esquerda foram registradas com uma aproximação de 200 μm , enquanto as imagens à direita foram registradas a 500 μm , resultando em contornos de minerais mais visíveis nestas últimas.

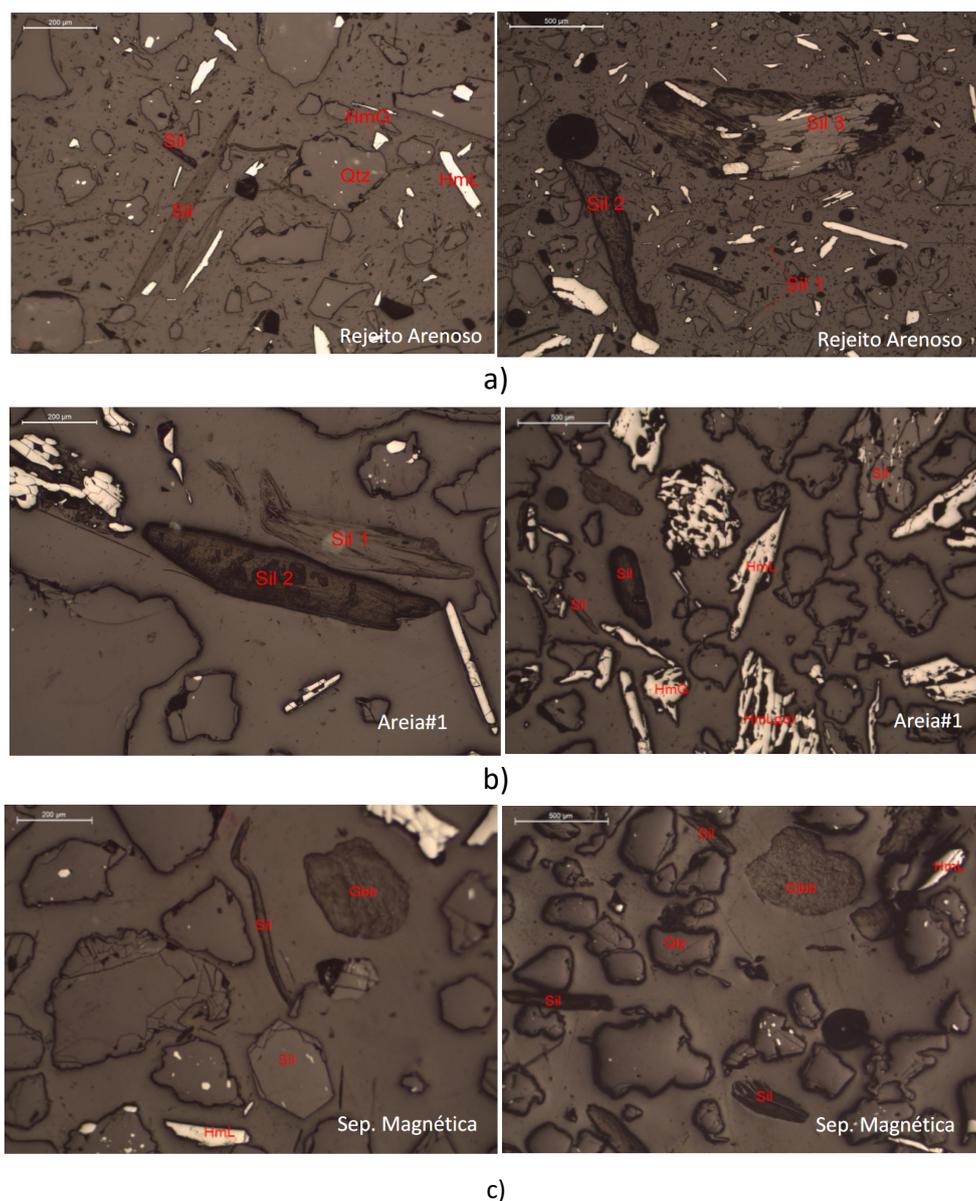


Figura 7 - Minerografia quantitativa das amostras a) amostra global de Rejeito; b) Areia 01; c) Areia 02.

O mineral de ferro com presença nas três imagens analisadas é a hematita lamelar monocristalina (HmL) de aparência metálica. Dias, Lopes e Braga (2021) afirmam que a textura dominante na hematita encontrada na Mina do Andrade é lamelar com formato de cristais subédricos.

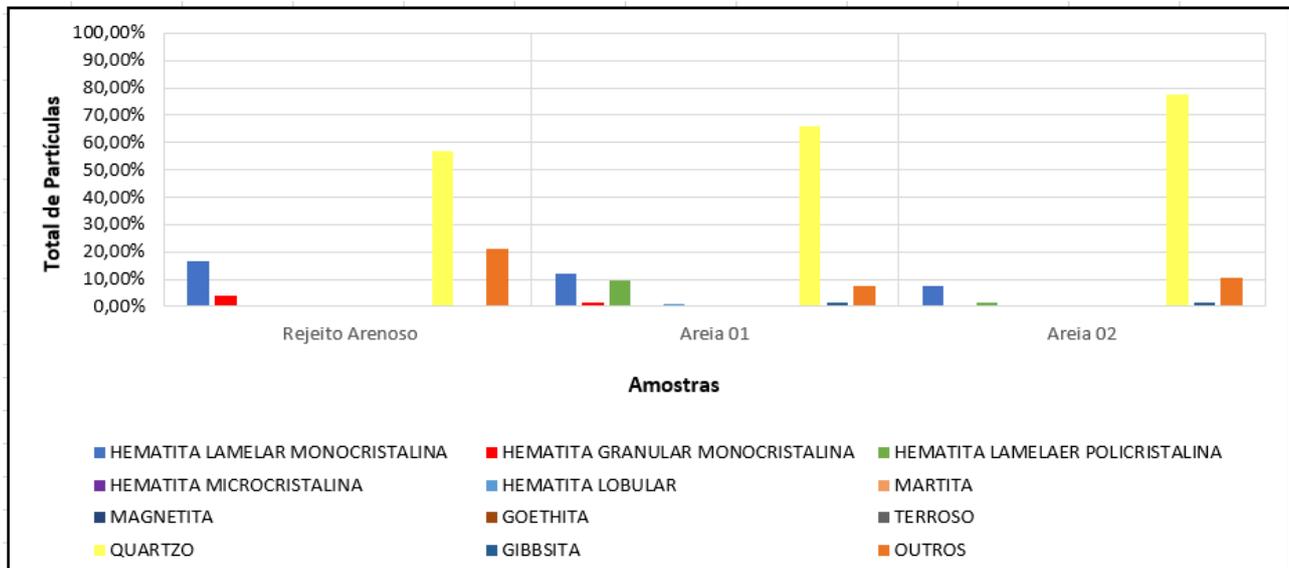


Figura 8: Total de partículas nas amostras de Rejeito, Areia 01 e Areia 02.

Os resultados da análise mineral quantitativa das amostras mostraram que o principal mineral encontrado na amostra foi o quartzo. Na amostra global do rejeito, cerca de 21 % dos minerais foram classificados como “outros”. Nessa categoria, identificaram-se pelo menos três tipos de silicatos, além de minerais de manganês e carbonato. Um dos silicatos é mais abundante (compreendendo cerca 97% dos silicatos analisados nesta amostra); esse mineral é possui estrutura tubular e aparenta ter baixa dureza. O manganês e o carbonato, por outro lado, somam menos de 1% do total.

Esses mesmos silicatos também estão presentes nas amostras de Areia 01 e Areia 02, embora em proporções menores. Na Areia 01, esse mineral representa 50% dos minerais classificados como “outros”, enquanto na Areia 02, atinge 71%. Quanto aos minerais de ferro, a hematita lamelar monocristalina é predominante nas três amostras, com um destaque adicional para hematita lamelar policristalina na amostra de Areia 01.

3.5 Umidade e perda por calcinação

A Tabela 3 apresenta os resultados dos testes de umidade e perda por calcinação das amostras.

Tabela 3: Medidas de umidade e perda por calcinação.

Testes	Rejeito	Areia 01	Areia 02
Umidade (%)	16,02	0,16	0,15
PPC (%)	-	0,79	0,89

O teste de umidade revelou que o rejeito apresentou um teor de umidade de 16%. No entanto, as amostras das Areias 01 e 02 registraram teores de umidade de 0,16% e 0,15%, respectivamente, excedendo o valor de umidade permitido pela recomendação CEMP – E01, da ABIFA, para uma areia de fundição, que é de 0,10%.

Em relação à Perda por Calcinação (PPC), os resultados para as Areias 01 e 02 mostraram proximidade, com ambos os valores ficando abaixo de 1%. A perda ao fogo deve ser a menor possível, embora valores de até 2% sejam aceitáveis (Figueiredo, 2017; Carey, 1995).

3.6 Densidade das amostras

Os valores de densidade foram iguais a $3,14 \text{ g/cm}^3 \pm 0,00089$ para o rejeito, $4,0 \text{ g/cm}^3 \pm 0,01058$ para a Areia 01 e $3,85 \text{ g/cm}^3 \pm 0,00251$ para a Areia 02. A diferença significativa no valor de densidade observado na Areia 01 em comparação com a amostra global pode ser atribuída à concentração dos minerais dos minerais de ferro na fração superior a $150 \mu\text{m}$ (100#). Como era previsto, a Areia 02, com teor de ferro menor (14,93%) e um teor de sílica maior (72,16%), apresentou uma densidade inferior em relação às outras amostras.

4 CONCLUSÃO

Neste trabalho, realizou-se a caracterização do rejeito proveniente da Mina do Andrade, bem como de duas areias produzidas a partir deste rejeito. Essa análise contribuiu com para compreensão das propriedades desse resíduo, evidenciando a possibilidade da sua utilização como coproduto do beneficiamento do minério de ferro.

As análises química e mineralógica do rejeito evidenciaram a presença de elevados teores de quartzo. A análise granulométrica do rejeito revelou que aproximadamente 34% de toda amostra é composta por finos. Em relação ao teste de umidade, o material manteve teores elevados mesmo após a secagem, não atendendo às recomendações estabelecidas para areia de fundição.

Para as areias confeccionadas a partir do rejeito, as análises químicas e mineralógica apresentaram resultados similares, com exceção do teor de ferro, que foi mais baixo na areia proveniente da separação magnética (Areia 02). Esse resultado indica a viabilidade de reduzir significativamente a presença desse metal, resultando em uma areia com teor elevado de quartzo, que é o principal constituinte de areias silicosas amplamente utilizadas em fundição. As areias foram classificadas como médias, com base no módulo de finura. Ambas apresentaram baixos teores de finos, um aspecto de grande relevância para um material destinado à fundição. A Areia 01 apresentou maior densidade e menor teor do mineral de interesse (SiO_2) em comparação com a Areia 02, devido à separação do mineral mais denso (Fe_2O_3) durante o processo de separação magnética. Quanto ao teste de umidade, ambas areias ficaram muito próximas ao padrão recomendado.

A partir deste estudo, conclui-se que a Areia 02 demonstrou características mais próximas aos padrões recomendados para ser utilizada como areia de molde em processos de fundição.

Apesar das diferenças no teor de ferro, ambas as Areia 01 e Areia 02 apresentaram características semelhantes às das areias de fundição disponíveis comercialmente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), à PROPPG pela bolsa de Pesquisador de Produtividade da UEMG – PQ/UEMG, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), à Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e à Fundação Gorceix.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abifa. Comissão Estudos de Matéria-Prima – CEMP- E01. Areia padrão para ensaios em fundição. São Paulo, 1983. Rev.2015
- Abifa. Comissão Estudos de Matéria-Prima – CEMP-081. Materiais para fundição- Determinação da distribuição granulométrica, módulo de finura e teor de finos em materiais granulares. São Paulo, 1982. Rev.2015
- Abifa. Comissão Estudos de Matéria-Prima – CEMP-105. Materiais para fundição-Determinação do teor de umidade. São Paulo, 1983. Rev.2015
- Abifa. Comissão Estudos de Matéria-Prima – CEMP-120. Materiais para fundição-Determinação da perda ao fogo. São Paulo, 1985. Rev.2015
- Aguiar, M. A. M., Ferreira, K. C., Silva, A. Q. N., & Peres, A. E. C. (2016). UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE MINÉRIO DE FERRO COMO MATÉRIA PRIMA PARA FABRICAÇÃO DE ARGAMASSA. HOLOS, 2, 77–83. <https://doi.org/10.15628/holos.2016.3704>
- Andrade, L. C. R. de, Marques, E. A. G., & Peixoto, R. A. F. (2017). Perspectivas para o reaproveitamento de rejeitos da mineração de ferro como materiais de construção. Revista Geografias, 12(1), 32–44. <https://doi.org/10.35699/2237-549X.13413>
- Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. (2021). Vale desenvolve areia com rejeitos de barragens. Disponível em: <https://www.abmbrasil.com.br/por/noticia/vale-desenvolve-areia-com-rejeitos-de-barragens>
- Borges, S. (2018). O desastre da barragem de rejeitos em Mariana, Minas Gerais: aspectos socioambientais e de gestão na exploração de recursos minerais. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía, 27 (2), 301-312. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v27n2.63008>
- Carey, P. R.; LOTT, M. (1995). Sand binder systems. Part V – Furan no-bake. Foundry Management & Technology, 26-30.

- Denes, G., Vasconcelos Maia do Amaral, P., & Hermeto Camilo de Oliveira, A. M. (2022). Análise do Impacto da Mineração no Desenvolvimento dos Municípios Mineiros e Paraenses, 2000-2010. *Revista Brasileira De Estudos Regionais E Urbanos*, 15(3), 416–439. <https://doi.org/10.54766/rberu.v15i3.811>
- Dias, M. S., Lopes, P. H. S., & Braga, F. C. S. (2021). Caracterização mineralógica e textural do itabirito e minério de ferro de alto teor da Mina do Andrade. *Revista Engenharia de Interesse Social*, 6, 117-131.
- Figueiredo, R. A. M. (2017). Caracterização de areias silicosas e de rejeito de mineração para uso em processos de fundição. [Dissertação de Mestrado em Engenharia, Redemat, UFOP.
- Guedes, G. B., & Schneider, C. L. (2018). Disposição de rejeitos de mineração: as opções tecnológicas para a redução dos riscos em barragens. (Série Estudos e Documentos, 95). CETEM/MCTIC.
- Instituto Brasileiro de Mineração. (2022). Exportação de minérios foi crucial para manter saldo da balança comercial positivo em 2021. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticias/>
- Lacaz, F. A. de C., Porto, M. F. de S., & Pinheiro, T. M. M. (2017). Tragédias brasileiras contemporâneas: o caso do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão/Samarco. *Revista Brasileira De Saúde Ocupacional*, 42, e9. <https://doi.org/10.1590/2317-6369000016016>
- Luz, A. B., & Lins, F. A. F. (2005). Rochas e Minerais Industriais: usos e aplicações. CETEM/MCT.
- Mascarenhas Filho, P. J. C. (2016). Fundição em areia verde: uma abordagem experimental. [Trabalho de Conclusão de Curso, Bacharelado de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo Baiano].
- Moro, N.; Auras, A. P. (2007). Fundição. Processos de Fabricação. [Curso Técnico de Mecânica Industrial, Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina].
- Nociti, D. M. (2011). Aproveitamento de rejeitos oriundos da extração de minério de ferro na fabricação de cerâmicas vermelhas. [Dissertação de Mestrado em Engenharia, Universidade Estadual Paulista].
- Oliveira, B. F. (2013). Fundição. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia/Rede e-Tec, Brasil.
- Oliveira, I. C. S., & Faxina, A. L. (2021). Rejeito de minério de ferro como agregado mineral fino em misturas asfálticas. *TRANSPORTES*, 29(3), 2391. <https://doi.org/10.14295/transportes.v29i4.2391>
- Romanus, A. (1991). Areias de moldagem a verde. Foundry cursos e orientação LTDA. (1. ed., Vol.1).



Ruiz, M. S., Júnior, M. C., Tanno, L. C., Coelho, J. M., & Cortês, P. L. (2013). DESAFIOS E PERSPECTIVAS DA PRODUÇÃO DE AREIA INDUSTRIAL. HOLOS, 5, 50–68. <https://doi.org/10.15628/holos.2013.1707>

Silva, F. L. (2014). Aproveitamento e reciclagem de resíduos de concentração de minério de ferro na produção de pavers e cerâmica. [Dissertação de Mestrado em Engenharia, Redemat, UFOP].

Silva, G. R. R., Henriques, A. B., Brandão, P. R. G., Carvalho, J. A. E., & Coura, E. C. (2018, 2 a 4 de outubro). Caracterização e Aproveitamento de Rejeitos do Quadrilátero Ferrífero. ABM WEEK, São Paulo.

Silva, R.M.R., Nunes, R.M., Nogueira F.C., & Silva, F.L (2023). Aproveitamento do rejeito de minério de ferro da Mina do Andrade para a confecção de blocos intertravados. Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração, 20: e2660. <http://dx.doi.org/10.4322/2176-1523.20222660>

Tolentino, M. V. C. (2010). Estudo da viabilidade técnica do aproveitamento do resíduo arenoso da mineração do itabirito. [Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia das Radiações, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear].

COMO CITAR ESTE ARTIGO

Silva, F. L. (2023). CARACTERIZAÇÃO DE AREIAS SILICOSAS OBTIDAS ATRAVÉS DO REJEITO ARENOSO DA CONCENTRAÇÃO DO MINÉRIO DE FERRO . HOLOS, 4(39). Recuperado de <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/14273>

SOBRE OS AUTORES

F.L.SILVA

Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG
E-mail: fabiane.silva@uemg.br
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6526-5507>

E.M. CAETANO

Universidade Estadual de Minas Gerais
E-mail: ericami468@gmail.com
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6577-4766>

M. H. F. MENDES

Universidade Estadual de Minas Gerais
E-mail: marcelohfmenDES2@gmail.com
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-0537-1643>

J. J. MENDES

Universidade Federal de Ouro Preto
E-mail: jefferson.mendes@ifmg.edu.br
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1452-402X>

F. C. NOGUEIRA



Universidade Federal de Ouro Preto
E-mail: francielle.nogueira@ufop.edu.br
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5912-011X>

C.A. PEREIRA

Universidade Federal de Ouro Preto
E-mail: carlos.ii@ufop.edu.br
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0510-0257>

Editor Responsável: Franciulli Araújo



Submitted September 6, 2023

Accepted December 1, 2023

Published December 18, 2023