

CARACTERIZAÇÃO E APROVEITAMENTO DE MINERAIS PESADOS DE DEPÓSITOS LITORÂNEOS DA BAHIA

CHARACTERIZATION AND RECOVERY OF HEAVY MINERALS FROM BAHIA LITORAL DEPOSITS

Rhuan Duarte Carvalho

Aluno de Graduação de Engenharia Química, 7º período, Escola de Química-UFRJ
Período PIBIC/CETEM: 01 de setembro de 2015 a 31 julho de 2017
rduarte@cetem.gov.br

Caroline Da Costa Gonçalves

Orientador(a), Engenheira de Minas.
ccgoncalves@cetem.gov.br

Paulo Fernando Almeida Braga

Orientador, Engenheiro Químico, DSc.
pbraga@cetem.gov.br

RESUMO

Os minerais pesados têm como característica principal densidade superior à densidade dos minerais de ganga, como o quartzo e feldspato ($d=2,65$). Neste trabalho foi caracterizada uma amostra de areia da região de Prado, com 3,0% de minerais pesados, principalmente ilmenita, rutilo, zirconita e monazita, que pertencem ao grupo dos minerais pesados úteis, por possuírem aplicação tecnológica e valor comercial. Após os estudos de caracterização tecnológica foi estabelecida uma rota para o beneficiamento mineral, visando à separação e concentração dos minerais pesados. No processo de beneficiamento mineral foram utilizados métodos gravíticos e magnéticos em mesa oscilatória e em separador Franz de alta intensidade. O concentrado de minerais pesados obtido no processo gravítico foi beneficiado novamente no separador Franz produzindo dois concentrados distintos: (i) concentrado magnético com ilmenita e monazita e (ii) concentrado não magnético com zirconita e rutilo. O concentrado não magnético (pouca quantidade) foi repassado na mesa oscilatória para uma segunda limpeza gerando um novo concentrado não magnético com 9,9% de ZrO_2 e 10,9% de TiO_2 e ainda 68,6% de SiO_2 , sugerindo a necessidade de um método de separação adicional. O concentrado magnético foi peneirado em 212 μm , pois a monazita se concentra na fração -212 μm e a ilmenita na fração +212 μm . Ambas as frações, retida e passante, foram repassadas no separador magnético, porém variou-se a velocidade de rotação da correia do separador Franz, para que a ilmenita (maior susceptibilidade magnética) fosse coletada em maiores velocidades de rotação e a monazita (menor susceptibilidade magnética) fosse coletada em velocidades menores. Assim, foi produzido um concentrado de monazita, com 19,2% de P_2O_5 e um concentrado de ilmenita, com teor superior ao exigido comercialmente, de 62,1% de TiO_2 .

Palavras chave: Minerais Pesados, Monazita, Bahia.

ABSTRACT

The main characteristic of heavy minerals is density higher than gangue minerals, such as quartz and feldspar ($d = 2.65$). In this work, we used a sample from the Prado region, which has an average concentration above 3.0% of heavy minerals, mainly ilmenite ($d = 4.4$ to 4.8), (ii) rutile ($d = 4.2$), (iii) zirconite ($d = 4,6$) and (iv) monazite, which belong to the group of useful heavy minerals, because they have technological application and commercial value. Thus, the objective of this work is to determine the mineralogical characterization and to establish beneficiation routes, aiming the quantification of heavy minerals. The process of gravitational

processing was determined with the results of the analysis of the concentrates obtained in each step, followed by steps of magnetic concentration in Frantz separator, high intensity and permanent field, where the heavy minerals were divided into magnetic fraction with ilmenite and monazite and non-magnetic with rutile and zirconite. The non-magnetic fraction is still concentrated in quartz, which is transferred through an oscillatory table, obtaining 9.9% of ZrO₂ and 10.9% of TiO₂ with 68.6% of SiO₂, suggesting the need for another separation method. The magnetic fraction was sieved at 212 μ m, as the monazite is concentrated at -212 μ m and the ilmenite at +212 μ m. The retained and passed fractions of the sieve are transferred to the magnetic separator by varying the speed of rotation of the Frantz separator belt, the ilmenite (greater magnetic susceptibility) is collected at higher belt rotation speeds and monazite (lower magnetic susceptibility) at speeds Children. Thus we obtain a monazite concentrate, still far from the commercially required one, with 19.2% P₂O₅ and an ilmenite concentrate with commercially required higher content, with 62.1% TiO₂.

Keywords: Heavy Minerals, Monazite, Bahia.

1. INTRODUÇÃO

Os minerais pesados têm como característica principal densidade superior a densidade dos minerais de ganga, como o quartzo e feldspato ($d=2,65$). No Brasil, eles estão associados a cordões litorâneos nos depósitos do tipo paleopraia (SCHNELLRATH, 2001) ou próximo a leitos de rios em depósitos flúvio-lagunares. Neste trabalho foi realizada a caracterização tecnológica de uma amostra da região de Prado, situada na mesorregião sul da Bahia, a qual é compreendida pelas cidades de Alcobaça, Caravelas e Prado. Na área onde foi coletada a amostra, a empresa G4 Esmeralda Ltda já requereu, junto ao DNPM, os alvarás de pesquisa de uma área de aproximadamente 30.000 hectares (MENDES, 2015).

Os principais minerais pesados presentes no depósito apresentam concentrações médias superiores a 3,0% e pertencem ao grupo dos minerais pesados úteis, por possuírem aplicação tecnológica e valor comercial. Esses minerais são representados por: (i) ilmenita ($d=4,4$ a $4,8$) usada na fabricação de pigmento branco, abrasivo e ferro-liga; (ii) rutilo ($d=4,2$) usado como componente de solda elétrica e fabricação de derivados de titânio; (iii) zirconita ($d=4,6$) usada em pigmentos para esmalte porcelanizado, tijolo refratário e micro fusão; e (iv) monazita ($d=5,0$ a $5,3$), principal mineral associado a elementos de terras raras (ETR) no Brasil.

2. OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho foram:

- caracterizar tecnologicamente a amostra coletada nos cordões litorâneos da região de Prado;
- estabelecer rotas de concentração dos minerais pesados utilizando as técnicas de beneficiamento mineral, como, separação densitária eletromagnética de modo a obter concentrados individualizados de ilmenita, monazita, rutilo e zirconita.

3. METODOLOGIA

Foram amostrados cerca de 500 kg do material na região de Prado. Essa amostra foi seca, homogeneizada e quarteada em lotes de aproximadamente 27 kg. Um novo quarteamento de um dos lotes propiciou a geração de alíquotas menores para análise da distribuição granulométrica da amostra, ensaios de caracterização e beneficiamento. A caracterização tecnológica da amostra foi realizada na amostra bruta (cabeça) e em suas frações granulométricas, por difratometria de raios-X (DRX) e quantificada pelo método de Rietveld, fluorescência de raios-X (FRX), espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), separação em líquido denso com iodeto de metileno ($d=3,32$), separação magnética dos minerais pesados ($d>3,32$) em separador Frantz (modelo L-1 Isodynamics, inclinação 15°) e microscopia eletrônica de varredura (MEV) Hitachi TM 3030 Plus Tabletop Microscope, equipado com um

sistema de microanálise química por dispersão de energia (EDS) Bruker Quantax, das frações

mais relevantes. As frações magnética/paramagnética e não magnética do separador Frantz foram ainda analisadas em microscópio estereoscópio Zeiss (lupa binocular) para identificação dos minerais presentes.

Com base na caracterização da amostra, foram propostas rotas de recuperação dos minerais pesados presentes, em escala piloto. A rota inicial (Figura 1) consistiu no peneiramento em 297 μm do material original (cerca de 82 kg), seguida da separação gravítica em mesa vibratória, modelo Super Duty Diagonal Deck (inclinação 10°), da fração-297 μm . A fração pesada foi, então, separada em separador magnético Inbras modelo 20A de alta intensidade e campo permanente (4,5 T). Após a separação magnética, obteve-se dois concentrados, magnético e não magnético, sendo o não magnético limpo em mesa vibratória para a retirada de minerais leves remanescentes. A fração leve foi considerada rejeito.

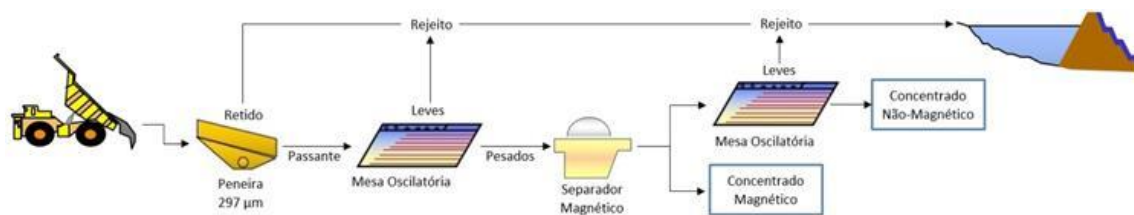


Figura 1: Esquema de beneficiamento utilizado para a recuperação de minerais pesados.

O concentrado magnético (Figura 1) do separador Frantz foi peneirado em 212 μm , pois a monazita se concentra na fração -212 μm e a ilmenita em +212 μm . As frações retida e passante, nesta malha (212 μm) foram repassadas no separador magnético para melhorar a separabilidade ilmenita/monazita. Neste procedimento, variou-se a velocidade da correia do equipamento de 300 a 100 RPM de 50 em 50 RPM (rotações por minutos). Com isso tem-se que em altas velocidades a ilmenita, com alta susceptibilidade magnética, é recuperada, separando da monazita, de menor susceptibilidade magnética. Os concentrados individuais foram analisados por picnometria a gás hélio e FRX.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 encontram-se apresentados os principais elementos contidos na amostra bruta. A análise química por DRX tanto na amostra bruta quanto em suas frações granulométricas, não apresentou resultado consistente (abaixo do limite de detecção), devido ao alto teor de quartzo (>97%) e baixo teor dos minerais pesados e por isso não estão contemplados no presente trabalho.

Tabela 1: Análise química da amostra bruta por FRX (semiquantitativa) dos principais elementos controle, e por ICP-OES dos O_{TRs} e do Zr.

FRX					
SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	ZrO ₂ (%)	O _{TR} *+P ₂ O ₅ (%)	Al ₂ O ₃ (%)
97,3	0,7	1,2	<0,1	<0,1	0,2
ICP-OES					
CeO ₂ (ppm)	La ₂ O ₃ (ppm)	Nd ₂ O ₃ (ppm)	ThO ₂ (ppm)	ZrO ₂ (ppm)	
603,19	570,91	450,42	107,51	456,77	

*Nota: O_{TR} considerados (%CeO₂ + %La₂O₃ + %Nd₂O₃ + %ThO₂).

A amostra bruta é 80% passante na peneira de 730 μm e a maior quantidade de minerais pesados está contida nas frações -297 μm , de acordo com os resultados do FRX, sendo o intervalo granulométrico com minerais de interesse compreendido entre -297+106 μm . Além disso, os $O_{TRs} + P_2O_5$ (monazita) tendem a se concentrar no intervalo -210+150 μm , com

teor de 83,4%, em termos de distribuição de massa. O total de minerais pesados afundados no iodeto de metileno ($d=3,32$) foi de 3,5%, dos quais 3,2% são minerais pesados magnéticos e paramagnéticos, e 0,3%, minerais pesados não-magnéticos. A maioria dos minerais pesados concentram-se sob um campo magnético de intensidade 0,675 T, e são compostos principalmente por TiO_2 (83,4% em distribuição de massa) e Fe_2O_3 . Os minerais de interesse foram identificados em lupa binocular como pode ser observado na Figura 2, após separação em iodeto de metileno e separação magnética em separador Frantz.

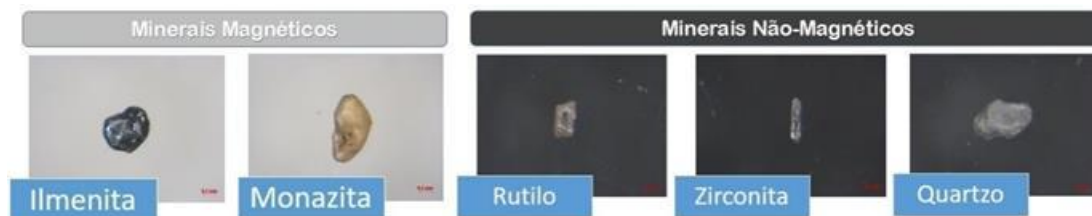


Figura 2: Minerais presentes nas frações magnética e não-magnética, visualização na lupa binocular Zeiss (aumento 6,3vezes).

Ainda sobre a fração afundada no iodeto de metileno, foi possível identificar com o auxílio do MEV, a maioria dos minerais pesados de interesse (monazita, ilmenita e zirconita) (Figura 3.1). Percebe-se a grande concentração de ilmenita sendo esta extremamente alterada (Figura 3.2), além de um relativo arredondamento em todos os minerais, devido provavelmente a sua origem.

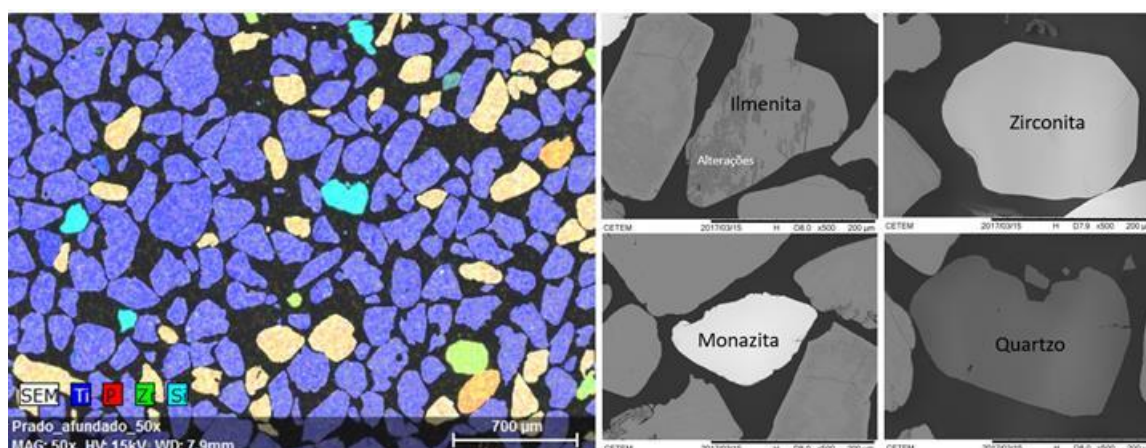


Figura 3: Imagens obtidas no MEV da fração afundada no iodeto de metileno.

O processo de beneficiamento para recuperação dos minerais pesados, foi realizado com 82 kg da amostra bruta. Inicialmente, todo material foi peneirado em 297 μm , para remoção da maior parte de quartzo. Essa amostra continha 97,3% de SiO_2 , 1,2% de TiO_2 e $<0,1\%$ de ZrO_2 e P_2O_5 . Após o peneiramento a fração $-297 \mu m$ apresentou um índice de enriquecimento de 3,7 para o TiO_2 , 4,1 para o ZrO_2 e 4,4 para o P_2O_5 , usado para estimar o teor da monazita. O ensaio em mesa oscilatória, gerou um concentrado de minerais pesados com 16,9% em massa, com recuperações metalúrgicas de 94,7% para o TiO_2 . No ensaio de separação magnética 62,7% correspondeu a fração magnética, com teores de 23,5% de SiO_2 , 42,6% de TiO_2 , 0,47% de ZrO_2 e 2,7% de P_2O_5 ; 37,3% correspondeu a fração não-magnética, com teores de 93,8% de SiO_2 , 1,6% de TiO_2 , 1,7% de ZrO_2 e $<0,1\%$ de P_2O_5 . As recuperações de TiO_2 (fração magnética) e de ZrO_2 (fração não-magnética) foram de 97,1% e de 62,7%, respectivamente. Tendo em vista a separabilidade dos minerais pesados magnéticos (ilmenita e monazita), o concentrado magnético (Figura 1) foi peneirado em 212 μm . As frações retida e passante foram repassadas no separador magnético, variando a velocidade da correia de rotação do equipamento. O gráfico da Figura 4.1 mostra a relação entre a densidade dos concentrados magnéticos e a velocidade da correia do equipamento, para a fração passante e retido. É observado que o produto da fração passante a 150 RPM tem densidade aproximada da monazita inferindo em um concentrado monazítico; já a

fração retida, nesta mesma velocidade, tem densidade aproximada da ilmenita inferindo em um concentrado ilmenítico. A velocidade de zero RPM representa produto não-magnético em todas as velocidades. O gráfico da Figura 4.2 mostra a relação entre os teores de TiO_2 e P_2O_5 e a velocidade da correia do equipamento, para a fração passante e retido. É observado nas velocidades 250 e 300 RPM da fração retida um concentrado de ilmenita com 62,1 e 61,3% de TiO_2 , respectivamente; já na fração passante na velocidade de 150RPM temos o concentrado de monazita com 19,2% de P_2O_5 , coerente com o concentrado monazítico com densidade 5,0 da Figura 4.1, na mesma velocidade.

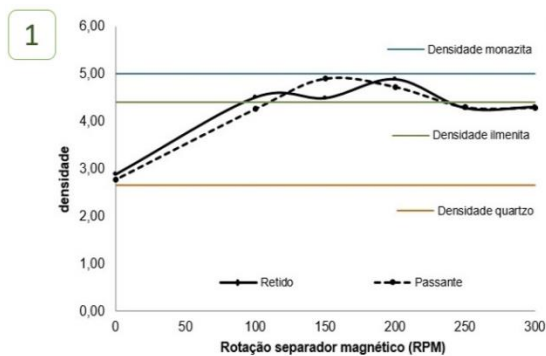


Figura 4.1: Resultado da picnometria de gás hélio

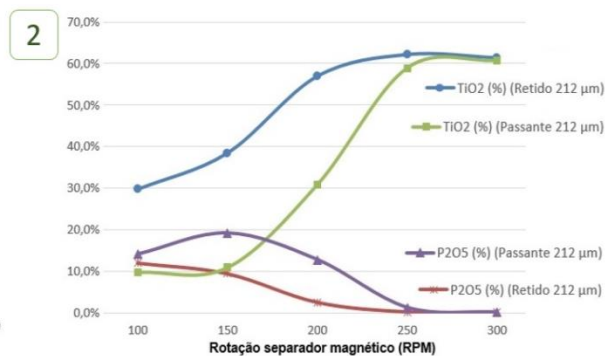


Figura 4.2: Resultado da análise química por FRX das frações de $-212\mu\text{m}$ e $+212\mu\text{m}$ em diferentes rotações da correia do separador magnético.

5. CONCLUSÕES

A caracterização do minério da região de Prado-BA continha 3,5% de minerais pesados, principalmente de ilmenita, monazita, zirconita e rutilo em menor quantidade. O concentrado do beneficiamento mineral não-magnético continha 9,9% de ZrO_2 e 10,9% de TiO_2 . Na fração magnética foram obtidos dois concentrados: (i) um concentrado de monazita com 19,2% de P_2O_5 (óxido usado pra quantificar o mineral); e (ii) um concentrado de ilmenita com teores de 61,3 e 62,1% de TiO_2 com 0,16 e 0,19% de P_2O_5 , superiores a um concentrado comercial que é de 53% de TiO_2 com 0,1% de P_2O_5 (máx).

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orientadores Paulo Braga e Caroline da Costa Gonçalves pela confiança e dedicação, ao CETEM pela infraestrutura e ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GONÇALVES, Caroline da Costa; BRAGA, Paulo Fernando Almeida. **Mineralogical and Chemical characterization of heavy minerals from Luis Correia beach sand, Piauí, Brazil**. In: XIII Jornadas Argentinas de Tratamiento de Minerales, Mendoza, Argentina.
- MENDES, J.C.; “**A Monazita e Outros Minerais Pesados na Região de Prado/ Caravelas, no Sul da Bahia**”. III Seminário Brasileiro de Terras-Raras. 2015.
- SCHNELLRATH, Jurgen; MONTE, Marisa Bezerra de Melo et al. INB – Indústrias Nucleares do Brasil: Minerais Pesados. In: SAMPAIO, João Alves; LUZ, Adão Benvindo da; LINS, Fernando Freitas. (Eds) **Usinas de beneficiamento de minérios do Brasil**. 1 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. p. 187-197.