

CONCENTRAÇÃO DE UM MINÉRIO DE TUNGSTÊNIO DO NORTE DE PORTUGAL

NUNES, J.N.¹, DURÃO, F.O.², GUIMARÃES, C.A.A.C.³, DE ANDRADE LIMA, L.R.P.⁴

¹Universidade Federal da Bahia. E-mail: josevandonunes@gmail.com

²Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. E-mail: fdurao@ist.utl.pt

³Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. E-mail: carlos.guimaraes@ist.utl.pt

⁴Universidade Federal da Bahia. E-mail: lelo@ufba.br

RESUMO

Neste estudo é apresentada uma avaliação preliminar da concentração gravimétrica e por flotação de um minério de scheelita da região norte de Portugal. Este minério apresenta uma composição mineralógica predominantemente de quartzo, fluorita, vesuvianita, muscovita, scheelita e albita. Os ensaios de concentração gravimétrica foram realizados em mesa oscilatória e mesa Mozley. Os ensaios de flotação com oleato do sódio como coletor, óleo de pinho como espumante, silicato de sódio como depressor de silicatos e hidróxido de sódio com modificador de pH, foram realizada em célula Leeds. O concentrado da mesa oscilatória apresentou um teor de 0,75% de tungstênio e o rejeito um teor de 0,37%. A concentração com mesa Mozley gerou um concentrado com 0,66% de tungstênio e um rejeito com 0,47%. Os ensaios de flotação apresentaram melhor desempenho. A recuperação do tungstênio foi de 83 a 95%, os teores de tungstênio nos concentrados foram de 1 a 3,8% e nos rejeitos de 0,04 a 0,12%.

PALAVRAS-CHAVE: scheelita; concentração gravimétrica; flotação.

ABSTRACT

This study presents a preliminary evaluation of the concentration of scheelite from the North region of Portugal by gravity concentration and flotation. The ore is composed by quartz, fluorite, vesuvianite, muscovite, scheelite, and albite. For the gravity concentration tests it was used the Mozley and the shaking tables. The flotation tests used sodium oleate, pine oil, sodium silicate and sodium hydroxide in a Leeds cell. The tungsten content of the shaking table concentrate was 0.75% and of the tailing was 0.37%. The tungsten content of the concentrate of the Mozley table was 0.66% and of the tailing was 0.47%. The performance of the flotation tests was better and the tungsten recovery was between 83 and 95%, the concentrate tungsten content was between 1 and 3.8% and the tailings was between 0.04 and 0.12%

KEYWORDS: scheelite; gravity concentration; flotation.

1. INTRODUÇÃO

O tungstênio tem propriedades únicas, devido ao seu elevado ponto de fusão (3410°C) e elevada densidade (19,3g/cm³). Por esta razão, o tungstênio vem sendo amplamente utilizado na produção de aços duros para ferramentas de corte, brocas perfuradoras para a indústria mineira e petrolífera, além de blindagens anti-perfurantes na indústria bélica. Em 2010 a China decidiu limitar a exploração e a expedição de licenças de mineração para os minerais de tungstênio visando favorecer o crescimento do valor agregado desses minérios. Como é o maior produtor e exportador mundial destes minerais a possibilidade de desabastecimento do mercado internacional passou a impulsionar a pesquisa mineral de áreas promissoras para tungstênio, assim como a otimização de métodos de beneficiamento. Portugal tem importantes depósitos de tungstênio, e as suas principais reservas localizam-se no norte país (figura 1).

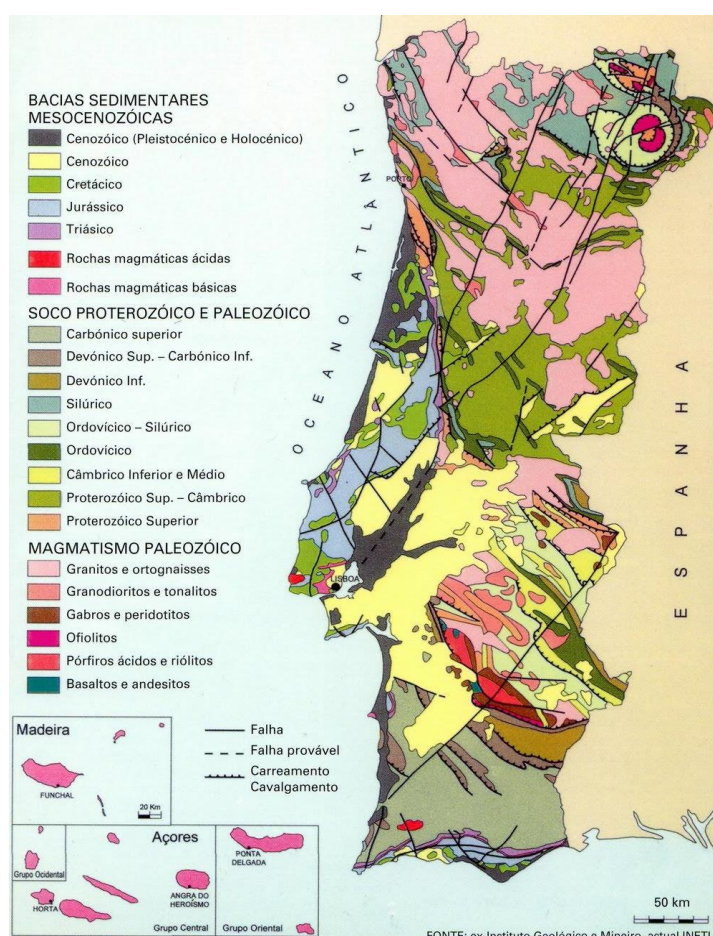


Figura 1. Carta Geológica de Portugal. (Fonte: Laboratório Nacional de Energia e Geologia, 2012).

As plantas de beneficiamento modernas de minerais de tungstênio combinam os métodos de concentração gravimétrica e flotação para recuperação da scheelita. Para o tratamento das frações mais grosseiras aplica-se concentração gravimétrica, principalmente usando jigue e mesas oscilatórias já que este mineral apresenta massa específica elevada, 5,9 a 6,2 g/cm³. Para as frações mais finas usa-se flotação, normalmente em células mecanicamente agitadas (APLAN, 1985).

O interesse do tratamento da scheelita por flotação reside principalmente na ineficiência da concentração gravimétrica para frações finas. Embora a flotação seja empregada para recuperação de scheelita, esse método enfrenta dificuldades, pois a scheelita está geralmente associada à calcita, fluorita e apatita (BEI'KOVA *et al.*, 1995), que apresentam propriedades físico-químicas

semelhantes às da scheelita. Por esta razão o desenvolvimento de sistemas de reagentes seletivos é a tarefa a que se vêm dedicando vários grupos de pesquisa (XUEDA *et al.*, 1997).

Neste trabalho é realizado um estudo prospectivo de concentração de scheelita oriunda da região Norte de Portugal, usando métodos gravimétricos e flotação.

2. METODOLOGIA

Uma amostra global com cerca de 10 kg de rocha foi britada, moída e classificada abaixo de 212 μ m, de forma a garantir a liberação da scheelita e uma alimentação adequada para os ensaios de concentração gravimétrica e flotação.

Na identificação e caracterização química e mineralógica do minério foram usadas: microscópio, lupa binocular, fluorescência de raios-X (FRX) NILTON XL3T, fonte de ultra violeta (UV) e difração de raios-X (DRX) Shimadzu XRD - 6000.

Foram realizados três ensaios gravimétricos com mesa oscilatória, nestes ensaios fixou-se a amplitude de vibração da mesa, vazões de água de lavagem e de diluição da amostra e a massa de minério da alimentação de cada ensaio (1kg). No primeiro teste a inclinação da mesa oscilatória foi de 10 graus e a faixa granulométrica de alimentação entre 104 e 212 μ m. Para o segundo ensaio variou-se a granulometria de alimentação, d_{80} igual a 212 μ m, comparando ao primeiro ensaio. O terceiro ensaio apresentou uma inclinação da mesa de 5 graus e d_{80} igual a 212 μ m.

Para o tratamento do material fino, com diâmetro inferior a 104 μ m, foi realizado o ensaio de concentração gravimétrica com uma mesa Mozley. A concentração de sólidos em peso da alimentação foi de 15%, com vazão da polpa de alimentação de 600kg/min e inclinação da mesa de 10 graus.

Os ensaios de flotação da scheelita foram realizados em uma célula mecânica de bancada, de 2,5L de volume interno, com velocidade de agitação de 750rpm e aeração de 3L/min. Os testes foram alimentados com 1kg de minério da amostra global, em uma polpa com 30% de sólidos em peso, pH = 10 controlado com adição de solução aquosa de hidróxido de sódio, usando como modificador 500g/t de silicato de sódio, 500g/t de ácido oleico como coletor e 0,20mL/kg de óleo de pinho (espumante). O tempo de condicionamento dos reagentes foi de 3 minutos e as coletas dos concentrados foram realizadas nos intervalos de 3, 6 e 9 minutos de flotação.

Foram realizados quatro ensaios de flotação para concentração da scheelita. Os dois primeiros testes foram análogos e realizados como descritos no parágrafo anterior. O terceiro ensaio de flotação difere dos dois primeiros, pois sua alimentação foi composta pelo concentrado da mesa Mozley e uma amostra fresca com distribuição granulométrica entre 104 e 212 μ m. O quarto teste difere dos dois primeiros pela adição de 5mL de hexametáfosfato de sódio a 5% como depressor da fluorita e calcita.

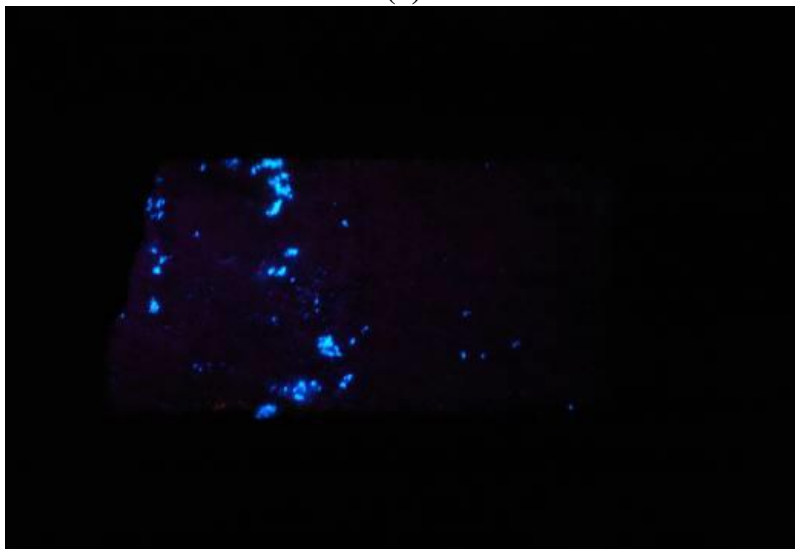
Os produtos de todos os ensaios de concentração foram secos a 110°C por 24 horas e posteriormente foram retiradas amostras com aproximadamente 10g para análise dos teores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A amostra foi observada em lupa binocular, caracterizada mineralogicamente com luz UV além da identificação textural. A figura 2a mostra uma foto de um testemunho de sondagem laminado do minério estudado e a figura 2b mostra uma foto do mesmo testemunho sendo observado com luz UV. Fica clara a presença de scheelita na região fluorescente (figura 2b).



(a)



(b)

Figura 2. a) Fotografia de uma amostra do testemunho de sondagem. b) Fotografia de uma amostra do testemunho de sondagem submetida a uma fonte de ultravioleta.

A figura 3 mostra o difratograma do minério estudado, no qual podem ser identificados os minerais principais que compõem a amostra que serviu de alimentação para os dois primeiros ensaios de concentração gravimétrica e para primeiro, segundo e quarto ensaios de flotação. Nota-se que as fases mais abundantes são: scheelita (CaWO_4), muscovita ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$), albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), quartzo (SiO_2), fluorita (CaF_2) e vesuvianita [$\text{Ca}_{10}(\text{Mg},\text{Fe},\text{Mn},)_2\text{Al}_4\text{Si}_9\text{O}_{34}(\text{OH},\text{Cl},\text{F})_4$].

Dos minerais identificados na caracterização, nota-se que de modo geral, estes apresentam massa específica em torno de $3\text{g}/\text{cm}^3$ com exceção da scheelita que varia entre $5,9$ e $6,2\text{g}/\text{cm}^3$. Dessa forma, é interessante realizar um estudo de concentração da scheelita por métodos gravimétricos.

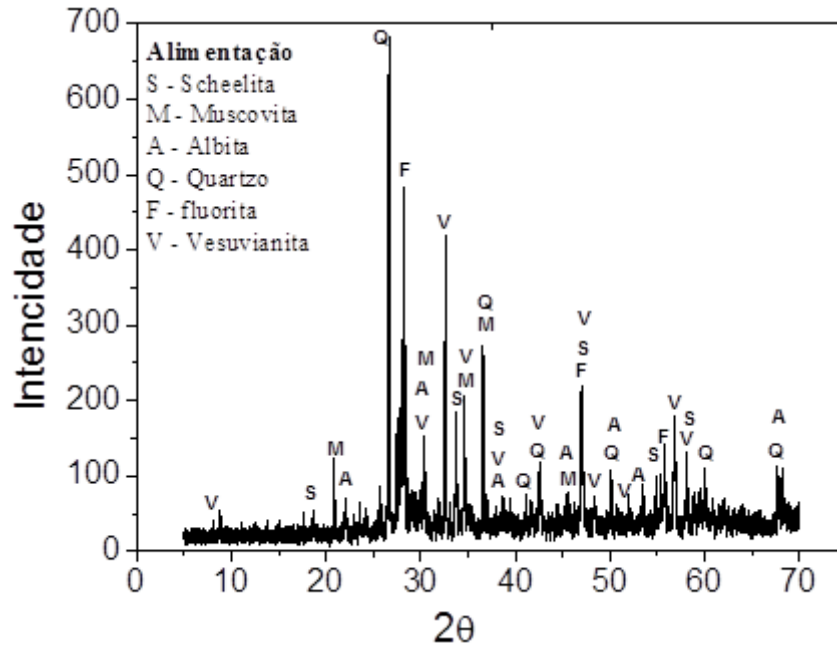


Figura 3. Difratoograma do minério.

A distribuição granulométrica da alimentação dos dois últimos ensaios na mesa oscilatória e do primeiro, segundo e quarto teste de flotação está ilustrada na figura 4. Nota-se que 50% do material está abaixo de 90 μm , o que antecipa uma limitada eficiência dos ensaios com mesa oscilatória, já que esta opera adequadamente entre 100 e 1000 μm .

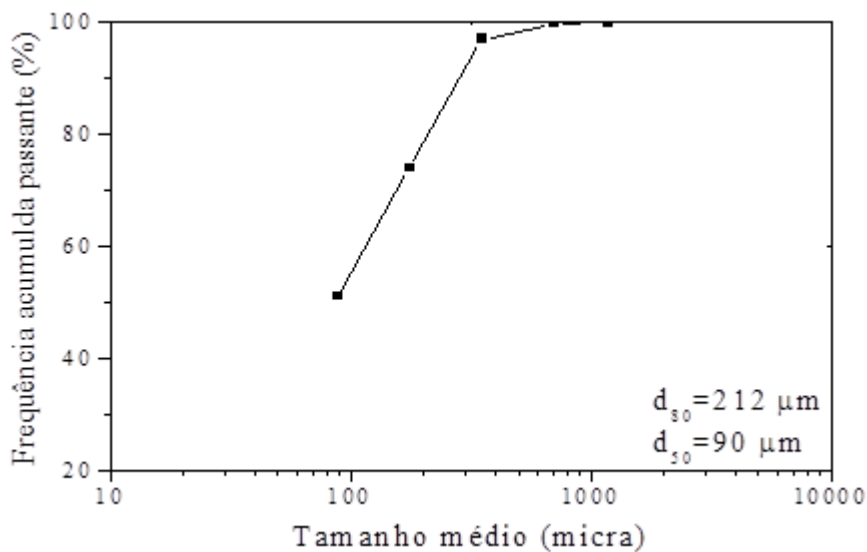


Figura 4. Distribuição granulométrica da alimentação da maioria dos ensaios de concentração.

A tabela I mostra as análises químicas dos produtos dos ensaios de concentração gravimétrica. O primeiro ensaio realizado com a mesa oscilatória, tabela I, apresentou uma concentração significativa de tungstênio. No entanto, os dois últimos ensaios realizados na mesa oscilatória não foram efetivos para concentrar a scheelita. Este fato deve-se à faixa granulométrica de alimentação dos ensaios, pois o primeiro ensaio foi alimentado com uma faixa de tamanho entre 104 e 212 μm , granulometria adequada para concentração em mesa oscilatória. Enquanto os dois últimos ensaios foram alimentados com um d_{80} igual a 212 μm e d_{50} igual a 90 μm , como mostra a figura 4.

Tabela I: Análise química simplificada dos produtos dos ensaios gravimétricos.

Ensaio	Teor de tungstênio (%)	
Mesa oscilatória 1	Concentrado	0,75
	Rejeito 1	0,035
	Rejeito 2	0,040
Mesa Mozley	Concentrado	0,66
	Rejeito	0,47

Para o tratamento dos finos, tamanho inferior a $104\mu\text{m}$, o teste com a mesa Mozley apresentou uma concentração expressiva da scheelita, visto que, a eficiência de concentração nesta mesa é normalmente na ordem de 40%.

A elevada recuperação da scheelita e a baixa recuperação mássica mostra a apreciável concentração por flotação, tabela II. Nos três primeiros ensaios observou-se uma considerável mineralização da espuma, indicando uma recuperação expressiva. No entanto, no quarto ensaio de flotação não houve mineralização de espuma. Este fato, deve-se ao hexametáfosfato de sódio adicionado como depressor neste último ensaio que deprimiu não apenas a fluorita e calcita.

Tabela II. Resultados dos ensaios de flotação.

Ensaio	Teor de tungstênio (%)	Recuperação mássica (%)	Recuperação do tungstênio (%)	
Flotação 1	Alimentação	0,61	21	83
	t = 3 min.	2,15		
	t = 6 min.	1,31		
	t = 9 min.	1,00		
	Rejeito	0,12		
Flotação 2	Alimentação	0,61	19	95
	t = 3 min.	3,81		
	t = 6 min.	2,10		
	t = 9 min.	1,23		
	Rejeito	0,04		
Flotação 3	Alimentação	0,38	11	88
	t = 3 min.	3,00		
	t = 6 min.	3,03		
	t = 9 min.	2,36		
	Rejeito	0,05		

O difratograma da figura 5 é a análise mineralógica da amostra do concentrado do segundo ensaio de flotação coletada em três minutos de ensaio. Nota-se que esta amostra é constituída basicamente de scheelita, fluorita, tremolita, fluorapatita e calcita, ou seja, minerais com características físico-químicas semelhantes, o que era de se esperar já que não foi utilizado nenhum tipo de depressor neste ensaio.

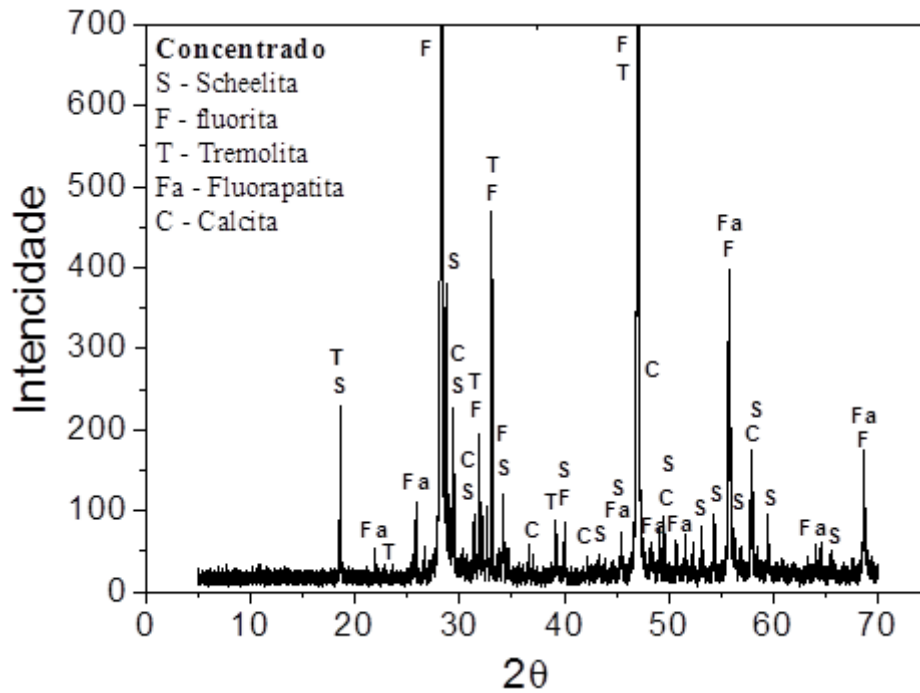


Figura 5. Difratograma do concentrado do segundo ensaio de flotação.

A figura 6 ilustra amostras dos produtos do primeiro ensaio de concentração gravimétrica, na mesa oscilatória, submetidas a uma fonte de UV. Essas amostras apresentam uma textura relativamente grosseira e bastante heterogênea.

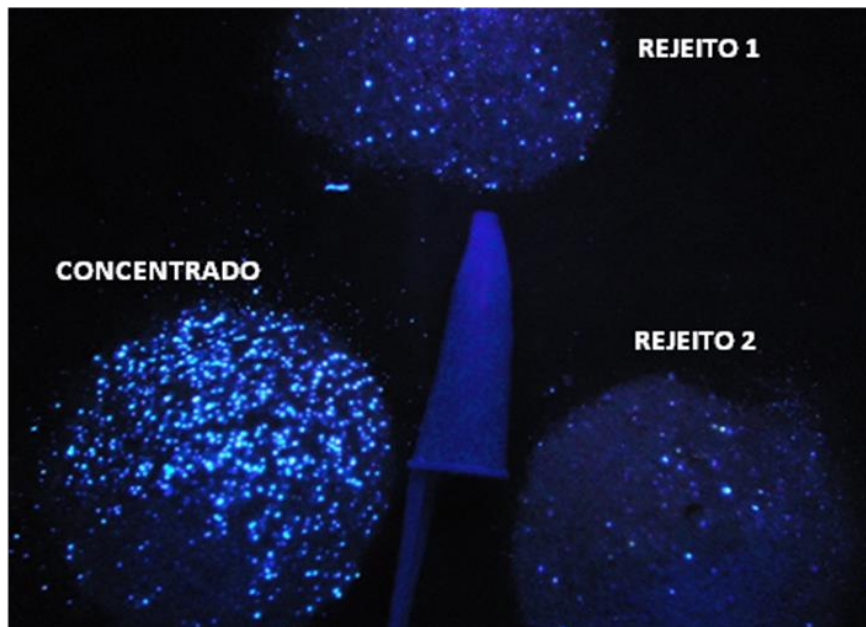


Figura 6. Amostras do concentrado e rejeitos do primeiro ensaio gravimétrico.

De forma análoga, a figura 7 ilustra amostras do concentrado coletado em três minutos de flotação e o rejeito do segundo ensaio de flotação. Fica claro que o concentrado apresenta uma textura fina e homogênea, confirmando assim a maior seletividade e eficiência dos testes de flotação comparados com a concentração gravimétrica.

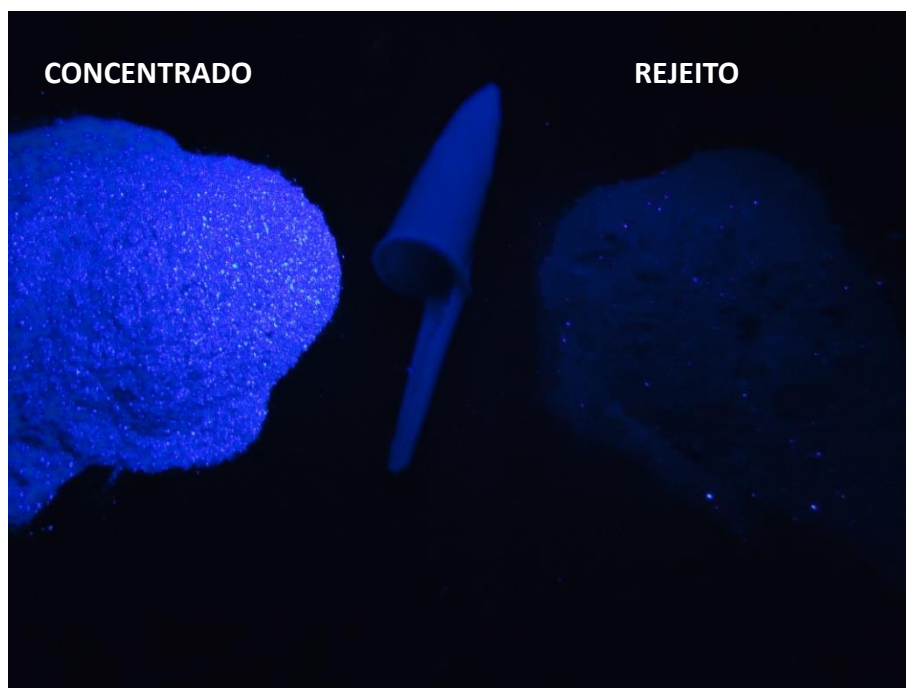


Figura 7. Amostras do concentrado e rejeito do segundo ensaio de flotação.

4. CONCLUSÕES

A concentração de amostras de um minério de scheelita de baixo teor oriundo da Região Norte de Portugal foram realizados usando mesa oscilatória, mesa Mozley e flotação. O ensaio realizado com a mesa oscilatória, que foi alimentado com uma faixa granulométrica entre 104 e 212 μ m, apresentou uma pré-concentração da scheelita, no entanto, os ensaios realizados na mesma mesa não apresentaram concentração quando foram alimentados com material com d_{80} igual a 212 μ m. Para a concentração gravimétrica da fração fina, inferior a 104 μ m, o teste com a mesa Mozley mostrou uma significativa concentração da scheelita. Os ensaios de flotação apresentaram baixa recuperação mássica e alta recuperação de scheelita, chegando a 95%, embora o concentrado também contenha fluorita, calcita, tremolita e fluorapatita.

5. AGRADECIMENTOS

O autor J. N. Nunes agradece ao Banco Santander e ao CNPq pelo apoio financeiro na forma de bolsa de estudo e bolsa de Iniciação Científica que permitiu o desenvolvimento deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

APLAN, F.F. Tungsten, In: Mineral Processing Handbook. WEISS, N.L. (Editor), Society of Mining Engineers, New York, p.27/17-27/19, 1985.

BEI'KOVA, O. N., LEONOV, S. B., KUKHAREV, B. F., STANKEVICH V. K. Prospective Reagents for Flotation Concentration of Scheelite Ores, *Journal of Mining Science*, v. 31, n. 1, p.64-68, 1995.

XUEDA, T., XIAOYUN, Z., LONGFENG, L., DIANZUO, W. Room temperature cleaner flotation technique for scheelite rough concentrate, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, v. 7, n. 2, p.19-24, 1997.