



## CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO MINÉRIO DE TUNGSTÊNIO DO MUNICÍPIO DE BODÓ - RN, BRASIL.

**SOUZA, R.L.<sup>1</sup>, BARROS, F.B.M.<sup>1</sup>, GOMES, M.F.<sup>1</sup>, LIRA, B.B.<sup>2</sup>, OLIVEIRA, J.C.S.<sup>3</sup>,**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Laboratório de Tecnologia Mineral. E-mail: rodrigoluis\_23@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Laboratório de Tecnologia da Construção.

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Departamento de Engenharia de Minas, Laboratório de Tecnologia Mineral.

### RESUMO

A principal proposta deste trabalho foi à caracterização tecnológica do minério de tungstênio do Município de Bodó, no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. Os resultados mostraram que esse minério tem um teor médio de 1,27% de  $WO_3$  e 0,32% de  $TiO_2$ , sendo constituído, essencialmente, pelos minerais scheelita, quartzo, albita, rutilo, biotita, granada, magnetita e epidoto. A distribuição da massa do minério nas peneiras de -4+10, -4+20 e -200 malhas (0,074 mm) foram de 36,62, 49,71 e 12,59%, respectivamente. A distribuição da massa de  $WO_3$ , nas peneiras mencionadas nessa mesma ordem acima, foi a seguinte: 22,10 40,51 e 9,01%. Após a britagem em tamanhos menores que 4 malhas (4,76 mm), a massa de minério que ficou abaixo de 200 malhas correspondeu a 12,59%, onde se encontra 9,01% da massa de  $WO_3$ . A caracterização mostrou que o titânio é oriundo do mineral rutilo, o qual tem potencial para ser aproveitado como subproduto do processamento da scheelita, uma vez que estes dois minerais, tradicionalmente, são concentrados por processos densitários.

**PALAVRAS-CHAVE:** caracterização tecnológica, minério de tungstênio.

### ABSTRACT

The main purpose of this work was the technological characterization of tungsten ore from Bodó Municipality, State of Rio Grande do Norte, Brazil. The results showed that this ore has an average content of 1.27% of  $WO_3$  and 0.32% of  $TiO_2$ , being essentially composed of scheelite, quartz, albite, rutile, biotite, garnet, magnetite and epidote minerals. The ore mass distribution in the -4 + 10, -4 + 20 and -200 mesh (0.074 mm) sieves were 36.62, 49.71 and 12.59%, respectively. The mass distribution of  $WO_3$  in the sieves mentioned in the same order as above was as follows: 22.10 40.51 and 9.01%. After crushing in sizes smaller than 4 meshes (4.76 mm), the ore mass below 200 meshes corresponded to 12.59%, where 9.01% is the mass of  $WO_3$ . The characterization showed that the titanium comes from the rutile mineral, which has the potential to be used as a byproduct of scheelite processing, since these two minerals are traditionally concentrated by density processes.

**KEYWORDS:** technological characterization, tungsten ore.

## 1. INTRODUÇÃO

A scheelita é um mineral pertencente à classe dos tungstatos, conhecida como tungstato de cálcio, cuja composição química é  $\text{CaWO}_4$ , tendo 19,4% de CaO e 80,6% de  $\text{WO}_3$ . É encontrada principalmente em pegmatitos graníticos, associado com rochas graníticas, onde se acham em depósitos estratiformes de skarns ou rochas calcissilicáticas, possuindo associação com a cassiterita, fluorita, topázio, apatita, molibdenita e wolframita (Dana; Hurlbut 1974; Nesse, 2000).

O principal elemento de valor econômico da scheelita, o tungstênio(W), é aplicado em eletrodos para processos de soldagem a arco, tubos de propulsão para foguetes, válvulas termiônicas, lastro de caudas para aviões comerciais, metal liga para aços especiais, entre outros. Uma grande parte das jazidas e depósitos de scheelita localiza-se no Estado do Rio Grande do Norte, especificamente na região do Seridó, aonde se encontra as Minas Tomaz Salustino, Barra Verde, Boca de Lage e Bodó, como as principais na exploração desse minério no Brasil (DNPM, 2012).

Na Região do Seridó, o minério de tungstênio é encontrado com um baixo teor de  $\text{WO}_3$ , significando, que depois do seu processamento, uma grande quantidade de rejeitos ficaram disponíveis na superfície terrestre e com possibilidades de aproveitamento. A concentração densitária com força gravitacional, empregada nessa Região, recuperou cerca de  $\frac{3}{4}$  da scheelita. Deste modo,  $\frac{1}{4}$  da scheelita ainda estão nos rejeitos, com chances reais de serem recuperados por concentração centrífuga ou hidrometalúrgica ou flotação.

A caracterização de um minério é fundamental para o aproveitamento dos recursos minerais. Nesta etapa, identificam-se os minerais presentes, as associações mineralógicas típicas, a distribuição granulométrica produzida por diferentes processos de fragmentação, a quantificação das operações unitárias, entre outras características. Estas informações fornecem os elementos para determinação do melhor fluxograma, maximizando a recuperação dos minerais de interesse econômico (GUPTA; YAN, 2006; SILVA, 2009).

Luz, França e Braga (2018) afirmam que os dados obtidos na etapa de caracterização mineralógica, após serem estudados e conciliados, são úteis para o aprimorado a respeito do comportamento do mineral-minério em relação a uma etapa específica de beneficiamento ou processo metalúrgico. Além disso, a caracterização proporciona a diminuição de resíduos e poluentes expostos na natureza para diminuir os impactos.

Deste modo, o objetivo principal desse trabalho foi avaliar as características mineralógicas e químicas do minério de tungstênio do Município de Bodó-RN, procurando ampliar as informações associadas ao mineral scheelita.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Preparação da amostra

O material para estudo foi coletado na Mina Bodó, no Município de Bodó, no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil.

Os estudos e ensaios foram realizados no Laboratório de Tecnologia Mineral da Universidade Federal de Pernambuco (LTM-UFPE), onde o minério foi secado ao ar livre para retirada da umidade existente. O minério seco pesou aproximadamente 126 Kg.

O material coletado (após a secagem) foi peneirado em 4 malhas (4,76 mm). O minério retido (+4#) foi fragmentado nos britadores de mandíbulas e rolos, nesta ordem, retornando para a mesma peneira. O minério coletado ficou todo abaixo de 4 malhas, sendo depois homogeneizado por meio de pilhas cônica e alongada.

A Figura 1 mostra o fluxograma empregado na preparação da amostra, visando à retirada de alíquotas representativas para realização das análises de distribuição granulométrica, caracterização mineralógica e química.

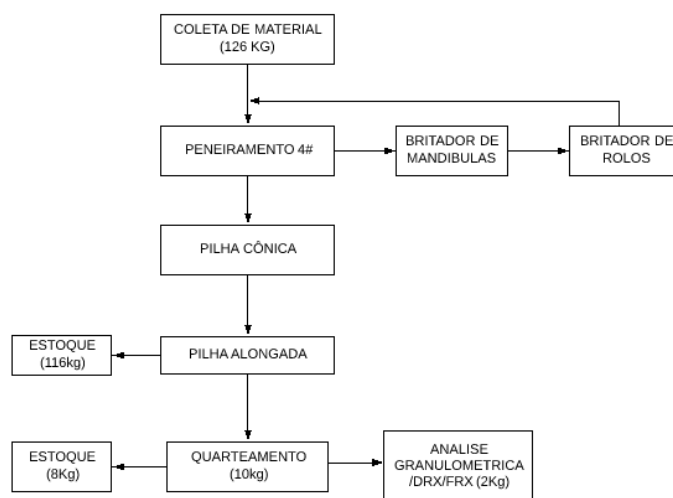


Figura 1 – Fluxograma da preparação das amostras

## 2.2. Análise granulométrica

Para a análise granulométrica, foram usadas três alíquotas de mais ou menos 500 g cada e efetuado um peneiramento em 48 malhas (0,296 mm), por via úmida. A fração retida em 48 malhas foi armazenada separadamente em três bandejas e o passante armazenado em três baldes. Após um repouso de 48 h, o excesso da água nos baldes (- 48 malhas) foi drenado com auxílio de uma mangueira. As seis frações resultantes desta operação foram secadas separadamente na mesma estufa.

As três frações maiores que 48 malhas foram peneiradas separadamente em 10, 20, 28 e 35 malhas. As três frações menores que 48 malhas foram também peneiradas separadamente em 65, 100, 150 e 200 malhas, tendo em vista a limitação do aparelho de peneiramento. Uma balança digital mensurou a massa retida nas peneiras para cada alíquota. A distribuição granulométrica foi obtida pela média aritmética das três alíquotas.

O tamanho médio das partículas minerais retidas em cada peneira foi calculado pela média das aberturas das peneiras retida e passante.

## 2.3. Caracterização mineralógica

A difração de raios X foi realizada numa amostra representativa do minério, em que inicialmente, a amostra foi reduzida a 200 malhas e uma alíquota de 10g foi retirada para a realização desta análise.

A mineralogia do minério foi determinada com um difratômetro de raios X, usando o método do pó total, no equipamento *Bruker D2 PHASER*, operando com voltagem de 30 KV e a corrente de 10 mA ( $P = 300 \text{ W}$ ), radiação  $\text{Cu-K}\alpha = 1,54060 \text{ \AA}$ , empregando-se um detector *Bruker-AXS -Lynxeye*. A faixa de varredura ( $2\theta$ ) foi de 4 a  $80^\circ$ , com passo do goniômetro de  $0,02019^\circ$  e rotação constante da amostra em 10 rpm. A abertura da fenda primária foi de 0,4 mm, a fenda utilizada de 3 mm e o tempo de contagem por passo de 1 segundo. As amostras foram indexadas usando o aplicativo *DIFFRAC.EVA* com o banco de dados COD (REV 89244 20131011).

## 2.4. Análise química

Nesta etapa, fez-se a análise química do minério retido nas peneiras de 10, 20, 28, 35, 48, 65, 100, 150, 200 e abaixo de 200 malhas. Estas amostras foram analisadas por fluorescência de raios X (FRX), tendo sido determinados os teores dos seguintes compostos:  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{WO}_3$ .

Os materiais retidos nas peneiras mencionadas foram colocados numa estufa para secar a  $110^\circ\text{C}$  e depois levados para uma mufla, a  $1.000^\circ\text{C}$ , pelo tempo de 2 horas, para determinação da perda ao fogo (PF). As pérolas fundidas foram preparadas com tetraborato de lítio como fundente.

As pérolas foram analisadas em espectrômetro de fluorescência de raios-X Rigaku, modelo ZSX. Os resultados da varredura semiquantitativa foram recalculados para 100%, após a incorporação do valor da perda ao fogo, sendo expressos em percentagem em peso.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Distribuição granulométrica

A Tabela 1 representa a distribuição granulométrica depois que o minério foi reduzido abaixo de 4 malhas, tanto em termos de frações retidas e passantes. Os resultados correspondem ao valor médio da triplicata dos ensaios realizados.

**Tabela 1 – Distribuição granulométrica das partículas no minério**

Malha	Abertura (um)	Tamanho Médio (um)	Massa Retida (g)	Retida Simples (%)	Passante Acumulada (%)
-4+10	1680	2828	179,89	36,62	63,38
-10+20	850	1195	64,31	13,09	50,29
-20+28	600	714	33,48	6,82	43,47
-28+35	420	502	22,47	4,57	38,90
-35+48	300	355	55,26	11,23	27,67
-48+65	212	252	12,17	2,46	25,21
-65+100	150	178	23,96	4,88	20,33
-100+150	106	126	20,55	4,18	16,14
-150+200	75	89	17,42	3,55	12,59
-200	0	0	61,89	12,59	0,00
Total			491,40	100,00	

A Tabela 1 mostra que o 12,59% da massa de minério ficou abaixo de 200 malhas (0,074 mm), sendo que 36,62% e 49,71% situaram-se entre -4 +10 e -4+20, respectivamente.

### 3.2. Caracterização mineralógica

A Figura 2 apresenta o resultado da difratometria de raios X (DRX) do minério de tungstênio. Foram identificados os seguintes minerais: quartzo, biotita, scheelita, granada, magnetita, albita, rutilo, epídoto e hornblenda.

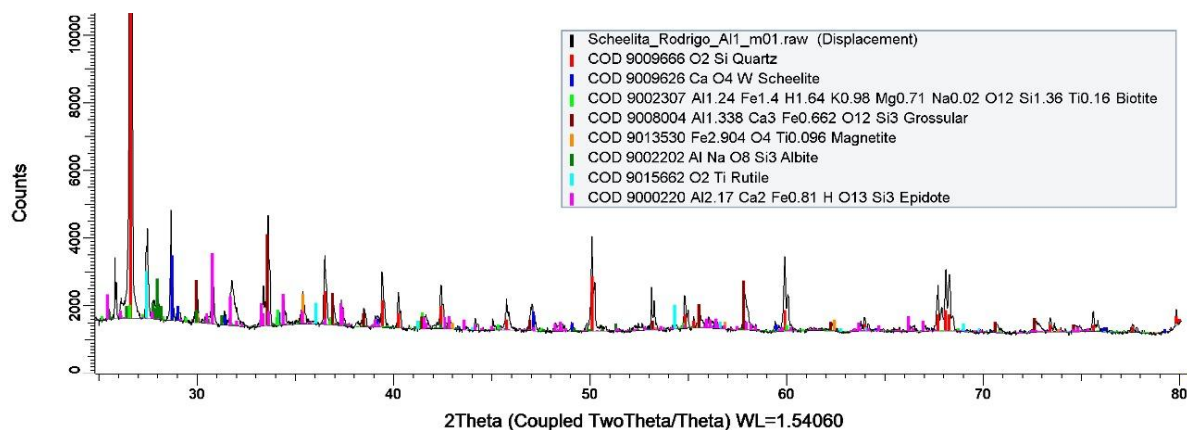


Figura 2 - Difratograma de raios X do minério de tungstênio

### 3.3. Caracterização química

A Tabela 2 apresenta os resultados das análises químicas realizadas por fluorescência de raios X para cada uma das faixas granulométrica do minério.

Tabela 2 - Composição química do minério por faixa granulométrica

Elemento	Teor (%)	-4+10	-10+20	-20+28	-28+35	-35+48	-48+65	-65+100	-100+150	-150+200	-200
Na <sub>2</sub> O	0,78	0,28	0,42	0,23	0,22	0,58	0,42	0,27	0,35	0,27	0,32
MgO	0,66	0,50	0,51	0,47	0,46	0,51	0,60	0,53	0,64	0,67	1,35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,73	8,75	8,61	9,05	10,15	12,38	13,28	14,32	14,88	15,27	15,69
SiO <sub>2</sub>	64,89	70,79	70,93	69,15	66,01	60,41	57,75	55,81	54,68	52,82	50,69
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,12	0,10	0,10	0,09	0,08	0,10	0,19	0,20	0,16	0,25	0,30
K <sub>2</sub> O	0,62	0,60	0,59	0,68	0,57	0,64	0,65	0,61	0,67	0,67	0,49
CaO	8,82	7,55	7,39	8,43	10,30	12,67	13,58	14,53	14,20	14,46	8,51
TiO <sub>2</sub>	0,41	0,28	0,28	0,27	0,28	0,20	0,27	0,22	0,28	0,34	0,56
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,05	0,04	nd	0,05
MnO	0,24	0,29	0,29	0,22	0,27	0,21	0,22	0,22	0,28	0,25	0,38
Fe <sub>2</sub> O <sub>3T</sub>	6,70	5,87	5,46	5,73	6,07	7,17	7,63	8,19	8,61	9,27	11,97
WO <sub>3</sub>	<b>1,27</b>	<b>0,70</b>	<b>1,63</b>	<b>1,94</b>	<b>2,11</b>	<b>1,54</b>	<b>1,69</b>	<b>1,28</b>	<b>0,95</b>	<b>1,11</b>	<b>0,83</b>
PF	4,76	4,29	3,79	3,74	3,48	3,59	3,72	3,77	4,26	4,62	8,86
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

A Tabela 2 mostra que o minério tem um teor de 1,27% de WO<sub>3</sub> e 0,41% de TiO<sub>2</sub>, com valores variando entre 0,7 e 2,11% de WO<sub>3</sub> e 0,20 a 0,56% TiO<sub>2</sub>, respectivamente.

Os resultados da caracterização mineralógica, vistos no tópico 3.2, permite dizer que o tungstênio e titânio são provenientes dos minerais scheelita e do rutilo, respectivamente.

O minério tem um teor de  $WO_3$  (1,27%) bastante elevado quando se compara com os valores de outras jazidas existentes na Região do Seridó, no Rio Grande do Norte.

### 3.4 Distribuições de $WO_3$

A Tabela 3 apresenta a distribuição da massa de  $WO_3$  no minério para cada uma das faixas granulométricas. Os resultados mostram que, após a fragmentação do minério abaixo de 4 malhas, a massa de  $WO_3$  no minério ficou distribuída, nas frações -4+10 e -4+20, em 22,10% e 40,51%, respectivamente.

A determinação do grau de liberação da scheelita por faixas granulométricas e um estudo de moagem está em andamento.

**Tabela 3 - Distribuição da massa de  $WO_3$  no minério por faixas granulométricas**

Abertura		Retida simples (%)	Teor $WO_3$ (%)	Distribuição $WO_3$ (%)
Malha	mm			
-4+10	1,650	36,62	0,70	22,10
-10+20	0,837	13,09	1,63	18,41
-20+28	0,592	6,82	1,94	11,38
-28+35	0,420	4,57	2,11	8,37
-35+48	0,296	11,23	1,54	14,88
-48+65	0,209	2,46	1,69	3,64
-65+100	0,148	4,88	1,28	5,41
-100+150	0,105	4,19	0,95	3,44
-150+200	0,074	3,55	1,11	3,36
<200	.	12,59	0,83	9,01
Total		100	1,16	100

## 4. CONCLUSÃO

Esse trabalho permitiu as seguintes conclusões:

- A composição mineralógica do minério de Bodó é constituída, essencialmente, pelos minerais scheelita, quartzo, albita, rutilo, biotita, granada, magnetita e epidoto;
- No minério de Bodó, foi constatada a presença do mineral rutilo, com um teor médio de 0,32% de  $TiO_2$ . Este resultado indica a possibilidade de recuperação do rutilo como subproduto da concentração da scheelita;
- O minério de Bodó tem um teor médio elevado de 1,27% de  $WO_3$  quanto comparado com as de outras jazidas da Região do Seridó (em torno de 0,4% de  $WO_3$ );

- d) Nas frações -4+10, -4+20 e abaixo 200 malhas (0,074 mm), o percentual da massa de minério foi de 36,62, 49,71 e 12,59%, respectivamente, e as distribuições da massa de  $WO_3$ , nesta mesma ordem, foram 22,10, 40,51 e 9,01%;
- e) Na fragmentação em 4 malhas, 12,59% da massa do minério ficou abaixo de 200 malhas, resultando numa perda de 9,01% de massa de  $WO_3$ , mesmo antes do minério ser tratado por processos densitários empregando-se unicamente as forças gravitacionais.

## 5. REFERÊNCIAS

- Borges, Alysson A.; Medeiros da Luz, José Aurélio; Ferreira, Eliomar Evaristo. **Caracterização da parcela magnética de minério fosfático de carbonatito**. Rem: Revista Escola de Minas, vol. 61, núm.1, enero-marzo, 2008, pp. 29-34 Escola de Minas. Ouro Preto, Brasil.
- DANA, J.D.; HURLBUT Jr., C.S.: **Manual de mineralogia**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico e EdUSP, 1974. 2 vol.
- Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Norte**. Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff [e] Fernanda Soares de Miranda Torres. - Recife: CPRM, 2010.
- GODEIRO, et al (2010). **Caracterização de pré-concentrado do rejeito de scheelita da mina brejuí em concentrador centrífugo**. *Revista HOLOS*, Natal, v5. 2010.
- GUPTA, A.; YAN, D.; **Mineral processing design and operation: an introduction**. Elsevier, 2006.
- Luz, Sampaio e França (2010). **Tratamento de Minérios – 5º Edição/Ed**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. 960p.
- Nesse, W. D. (2000), **Introduction to mineralogy**. Oxford University Press, ISBN-10: 0195106911, New York.
- TELMA MONREAL CANO. **Sumário Mineral DNPM**, 2013.