

14. Berilo

Marcelo Soares Bezerra¹

Júlio de Rezende Nesi²

1. INTRODUÇÃO

O nome berilo é de origem antiga, sendo derivado da palavra grega *beryllos*, que era aplicada para designar as gemas verdes, muito apreciadas e valorizadas pela humanidade. Esta denominação se aplica ainda hoje a um mineral composto quimicamente por um silicato de alumínio e berílio, utilizado tanto como gemas, que recebem nomes específicos de acordo com as suas colorações, como em outros usos industriais.

O metal berílio foi descoberto em 1798, pelo químico francês Nicholas Louis Vauquelin que precipitou um novo hidróxido de berílio obtido pela dissolução do berilo em hidróxido de potássio. Em 1828, na Alemanha, o metal berílio foi obtido em laboratório, pela primeira vez, pelo químico alemão Friedrich Wöhler, pela redução de cloreto de berílio com potássio metálico em cadinho de platina. Na França, A. A. Bussy também isolou o metal berílio neste mesmo ano, utilizando o mesmo método. Wöhler e Bussy denominaram-no de berílio e glucínio, respectivamente (Neves, 1987).

Na França, em 1898, P. Lebeau publicou informações sobre a produção de cristais de berílio por eletrólise e preparação da liga de berílio-cobre por redução direta de óxido de berílio. Na Alemanha, em 1916, Orterheld publicou um trabalho constante de diagramas, demonstrando o equilíbrio do berílio com cobre, alumínio, prata e ferro (Hecht, 1997). E o primeiro processo comercial, através da eletrólise de uma mistura fundida de BeF_2 e BaF_2 , foi inventado por A. Stock e H. Goldschmidt, em 1932 (Greenwood e Earnshaw, 1989).

Mais tarde, em 1957, o nome foi unificado para berílio. Mas na França, ele ainda é conhecido pelo nome de glucínio. Esta denominação é devida ao gosto adocicado dos seus sais químicos.

¹ Eng. de Minas/UFPE, Especialista em Eng. Econômica/UNICAMP, CPRM - Serviço Geológico do Brasil

² Geólogo/UFPE, Especialista em Geologia Econômica/UFOP, CPRM - Serviço Geológico do Brasil

Trata-se de um metal muito leve, de baixa densidade ($1,848 \text{ g/cm}^3$), bastante rígido, de coloração branco-prateado, com ponto de fusão a 1.287°C e ponto de ebulição a 2.500°C .

O berílio é um dos mais novos metais em suas aplicações. Até 1926, não passava de uma mera curiosidade, quando então novas e excepcionais propriedades mecânicas foram descobertas na liga cobre-berílio com 2,0% de Be. Em 1932, os Estados Unidos iniciaram a produção comercial das primeiras ligas cobre-berílio. Entre 1940 e 1950, diversos países, como Estados Unidos, Rússia e França, desenvolveram processos para a obtenção do berílio metálico e sua transformação para o aproveitamento comercial. Neste período, a principal área interessada no desenvolvimento do berílio foi a nuclear, decorrente das suas excepcionais propriedades nucleares (Neves, 1987).

O berílio, devido às suas notáveis propriedades, seja na forma de ligas, metal ou outro composto (óxidos e sais), detém um vasto campo de aplicações industriais que ampliaram consideravelmente a demanda pelas suas fontes, entre as quais, o mineral berilo.

A corrida pelo mineral berilo, verificada principalmente entre os anos de 1935 e 1945, proporcionou um apreciável aumento nos trabalhos de prospecção, pesquisa geológica e exploração mineral em depósitos minerais, principalmente de pegmatitos, em diversos países, atingindo o seu ápice durante toda a Segunda Guerra Mundial.

No Brasil, essa exploração mineral abrangeu os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Alagoas, Bahia e o nordeste de Minas Gerais, mobilizando tanto o DNPM (Departamento Nacional da Produção Mineral) como também a Comissão Americana de Compras. Isso motivou a vinda de técnicos norte-americanos do USGS (United States Geological Survey) que, com os técnicos do DNPM, estudaram dezenas de depósitos de pegmatitos dessa região. Duas cidades, uma no Estado da Paraíba, Campina Grande e outra no Estado de Minas Gerais, Governador Valadares, se tornaram os principais pólos comerciais dos produtos minerais dos pegmatitos, principalmente berilo, tantalita-columbita, cassiterita, minerais de lítio e gemas.

Entretanto, foi a partir de 1955 que o berílio passou a se tornar um metal estratégico, face às suas aplicações específicas na área espacial. Desta maneira, o berílio vem se afirmando como um metal fundamental para os países desenvolvidos e o domínio da tecnologia do berílio e suas ligas como uma meta muito importante para os países em desenvolvimento (Neves, 1987).

O berílio forma ligas especiais com cobre, alumínio, ferro, níquel, cobalto e outros metais, proporcionando às mesmas uma incomparável combinação de tenacidade, dureza extraordinária, resistência à corrosão, condutividade térmica e elétrica e elasticidade. O emprego mundial do berílio nos diferentes campos de aplicações, por aproximação, é feito sob a forma de ligas especiais (75%), de óxido de berílio (15%) e de berílio metálico (10%).

2. MINERALOGIA E GEOLOGIA

2.1. Mineralogia

O berilo e a bertrandita são os principais minerais de berílio e os mais importantes comercialmente, constituindo-se como as principais fontes deste metal. Outros minerais de berílio, que no futuro podem tornar-se economicamente importantes, são fenaquita, eudidimita, berilita, crisoberilo e helvita (Harben e Bates, 1990).

O berilo é um silicato de alumínio e berílio de composição química $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$. Seu conteúdo teórico é equivalente a 12,0/13,5% de óxido de berílio (BeO) ou 5,0% do metal berílio. As impurezas e as substituições por álcalis, principalmente sódio, potássio, lítio, e às vezes rubídio e céσιο, ou mesmo hélio e H_2O , reduzem este teor para valores próximos de 11,0% de óxido de berílio (Harben e Bates, 1990).

Klockmann e Ramdohr (1961) distinguem dois tipos de berilos: comum ou industrial e nobre ou de qualidade gema.

O berilo industrial ocorre nas cores branca, verde pálida ou verde amarelada e é geralmente opaco. Os cristais possuem um aspecto prismático hexagonal (curto ou longo) e mais raramente tabulares. São bem desenvolvidos, geralmente euédricos, exibem estrias verticais, de clivagem basal imperfeita, alta dureza (7,5 a 8,0 na escala Mohs) e massa específica 2,63 – 2,80 g/cm^3 , variável com a proporção de álcalis.

Em função da proporção de álcalis, o berilo forma tipos diversos. Quando a quantidade de álcalis for inferior a 0,5%, apresentam-se em cristais prismáticos longos e bem formados; já quando o berilo é portador de álcalis em proporção superior a 0,5%, geralmente apresenta-se em cristais prismáticos curtos e/ou tabulares, pouco desenvolvidos a irregulares. Opticamente, o berilo é uniaxial negativo (Dias, 1973).

Os cristais de berilo industrial podem atingir tamanhos gigantescos. Em Keystone, na Dakota do Sul, EUA, foi encontrado um cristal com 9,0 m de comprimento por 1,50 m de seção transversal, pesando 61 toneladas. Na mina Tanquinho, em Picuí, no Estado da Paraíba, nordeste do Brasil, foi encontrado um agregado de cristais de berilo comum que no conjunto pesou cerca de 200 toneladas.

O berilo de qualidade gema apresenta-se límpido, transparente e translúcido, de brilho intenso, vítreo, bem cristalizado, com belas colorações, formando as variedades preciosas (gemas) bastante apreciadas e procuradas. Se a cor abrange todo o espectro do azul, refletindo as tonalidades encontradas no mar ao longo do imenso litoral brasileiro, é denominado de água marinha; se for verde vivo e intenso, chama-se esmeralda (daí o uso da expressão verde esmeralda); se a cor é rosa a rosa viva é amorganita ou vorobyevita; se for amarelo-dourado ou amarelo esverdeado é heliodoro e a variedade vermelho-groselha é bixbita. Uma outra variedade, a incolor, chama-se goshenita, mas é raramente utilizada como gema.

A bertrandita, um silicato básico de berílio, cuja composição química é $\text{Be}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2$, apresenta um conteúdo teórico variando entre 0,70 e 1,0% de BeO. Ela ocorre nas cores branca, amarela ou incolor, geralmente apresenta-se em pequenos cristais tabulares, ortorrômbicos, de granulação muito fina, com cerca de 0,025 mm de diâmetro, de clivagem basal perfeita, dureza 6 e massa específica $2,60 \text{ g/cm}^3$.

2.2. Geologia

Os depósitos minerais econômicos de berílio correspondem aos seguintes jazimentos: de pegmatitos graníticos, portadores de berilo industrial (ele ocorre em quantidades comerciais somente neste tipo de rocha) e de qualidade gema; de intrusões de pegmatitos berilíferos em rochas máficas/ultramáficas (inserindo-se neste caso, os depósitos de berilos verdes e de esmeraldas) e de tufos vulcânicos alterados por hidrotermalismo, portadores de bertrandita, atualmente restritos aos Estados Unidos.

O primeiro tipo de depósito que são os pegmatitos graníticos, classificam-se segundo o seu zoneamento interno. No nosso caso, em função deste zoneamento, eles são descritos pela literatura considerando duas classificações consideradas clássicas. A primeira, de Johnston Jr. (1945), mais simplificada, classifica os pegmatitos como homogêneos e heterogêneos, e a segunda, de Cameron (1949), de maior abrangência, os classifica em pegmatitos não diferenciados e pegmatitos

diferenciados não zonados e zonados, ou seja, em ambos os casos, são considerados dois grandes grupos de pegmatitos.

Os pegmatitos graníticos formam pequenos depósitos filonianos, apresentam formas e tamanhos dos mais diversos que, no conjunto, constituem as províncias pegmatíticas, estendendo-se por faixas da ordem de dezenas a centenas de quilômetros. Ocorre na forma de diques, em formas e tamanhos dos mais diversos, que parecem ligar-se às manifestações pós-tectônicas tardias da orogenia brasiliana e encaixam-se em litologias diversas do embasamento cristalino pré-cambriano, do proterozóico ao arqueano, como em xistos, quartzitos, gnaisses, migmatitos, granulitos e em granitóides.

Os pegmatitos heterogêneos ou diferenciados não zonados e zonados, são mais numerosos, são por vezes de grandes dimensões, com mineralogia acessória bem representativa. Compreendem corpos com alto grau de diferenciação textural desenvolvendo zoneamento interno. Considerando Johnston Jr., ele os subdividiu em zonas I, II, III e IV. Estes pegmatitos apresentam cristais de dimensões centimétricas a métricas, nas porções mais internas e com volumosos corpos de substituições e são principalmente portadores do berilo industrial e em menor proporção do berilo de qualidade gema.

As maiores concentrações do berilo industrial ocorrem na zona feldspática (zona III) sobre as bordas do núcleo de quartzo (zona IV), seja na forma isolada ou formando bolsões de até grandes toneladas. As gemas ocorrem como olhos dispersos no berilo industrial. Também podem ocorrer cristais de pequenos tamanhos, de berilo industrial disseminados na zona II.

Estes pegmatitos não são explorados apenas para obtenção de berilo, pelo fato deles hospedarem importantes concentrações econômicas de outros minerais de grande utilização industrial, tanto da classe dos minerais metálicos (tantalita-columbita, minerais de lítio e cassiterita), como dos minerais industriais (feldspato, caulim, mica e quartzo) e de outros minerais-gemas, como, por exemplo, as elbaítas, lazulita, euclásio e quartzo róseo.

Como o berilo participa, aproximadamente, em cerca de 0,35% de todo o corpo do pegmatito, isto significa dizer que a cada 100 toneladas de rocha tratada obtém-se 350 kg de concentrado de berilo industrial. Então, ele é quase sempre considerado como co-produto ou subproduto da atividade extrativa, viabilizada economicamente pela produção de outros minerais presentes, em maiores quantidades no corpo pegmatítico.

Os pegmatitos homogêneos ou não diferenciados, não apresentam zoneamentos, mas apenas poucas variações texturais internas. Também, não apresentam corpos de substituições tardios, ocorrem em números mais reduzidos e são de menores dimensões. São principalmente produtores de água marinha.

Cassedanne (1991) distinguiu principalmente na Província Pegmatítica Oriental do Brasil, os seguintes tipos de pegmatitos com água marinha:

- um tipo pouco evoluído com quartzo, biotita e grandes cristais de microclina, onde a estrutura gráfica é bastante desenvolvida; estão associados o quartzo em tripirâmides, quartzo morion, granada, magnetita, apatita, tópatio incolor e outros minerais;
- um segundo tipo com um pouco de albita e moscovita, podendo ocorrer amazonita e/ou topázio incolor; apresenta zoneamento mais desenvolvido;
- um terceiro tipo com albita e muscovita, esta última envolvendo a biotita; não há mais quartzo em tripirâmides, mas um pouco de fosfatos de ferro e manganês ou quartzo róseo.

Parece haver um controle litológico dos pegmatitos homogêneos ou não diferenciados produtores de água marinha, pois em geral, eles estão intimamente relacionados com gnaisse, enquanto que os produtores de mica ou tantalita-columbita estão encaixados preferencialmente em xistos. Isto ocorre na Província Pegmatítica Borborema-Seridó, na região de Lajes Pintadas – São Tomé, no campo pegmatítico da região de Tenente Ananias, no Estado do Rio Grande do Norte, e na Província Pegmatítica Oriental do Brasil, principalmente na região de Itambé, no Estado da Bahia.

Os pegmatitos produtores de berilo industrial ou de qualidade gema ocorrem no Brasil em três principais províncias: Província Pegmatítica Oriental do Brasil, de grande extensão, a maior delas, a mais rica em gemas, dividida em vários distritos e campos produtores, com milhares de depósitos que se estendem na porção oriental dos Estados da Bahia e de Minas Gerais, no Espírito Santo e no Rio de Janeiro, e outras duas menores, denominadas, Província Pegmatítica de Solonópole, localizada na porção centro-oeste do Estado do Ceará e Província Pegmatítica Borborema – Seridó, situada na região Seridó dos Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba. Citam-se também outras pequenas províncias, como as de Goiás/Mato Grosso, Paraná/São Paulo e a da região de Tenente Ananias, situada no extremo oeste do Estado do Rio Grande do Norte, nordeste do Brasil, grande produtora de água marinha.

O segundo tipo de depósito de berilo corresponde às intrusões de pegmatitos berilíferos em rochas máficas/ultramáficas que desenvolvem em seu contato um leito filitoso composto de uma mica intermediária entre biotita e flogopita, no qual estão dispersas as esmeraldas. Estas gemas podem também estar disseminadas em lentes estratiformes de talco-xistos, que resultam do metamorfismo de rochas ultrabásicas ricas em cromo e são cortadas por pegmatitos, ou foram mineralizadas a partir de rochas berilíferas subjacentes (Cassedanne, 1991).

Os principais depósitos conhecidos e produtores de esmeralda no Brasil distribuem-se nos Estados da Bahia, Goiás e Minas Gerais.

No Estado da Bahia, a produção situa-se na região da Serra da Jacobina, distribuindo-se em duas principais áreas, compreendendo os garimpos de Carnaíba, em Pindobaçu, e Socotó, município de Campo Formoso. Também ocorre esmeralda em outros municípios, como em Pilão Arcado, Mirangaba, Saúde, Antonio Gonçalves e Jacobina.

Em Goiás, em Santa Terezinha de Goiás, destacam-se os locais referidos como Trecho Velho, Trecho Novo, Sieba do Trecho Novo e Trecho do Netinho, e em Minas Gerais, como jazida de Itabira ou mina Belmont, em Itabira, sendo esta última jazida considerada como uma das mais ricas do país, e o garimpo Capoeirana, no município de Nova Era.

Outras ocorrências e indícios de esmeralda são assinaladas em outras áreas desses Estados, como em Santana dos Ferros, em Minas Gerais; Itaberaí, Mara Rosa, Porangatu e Pirenópolis, em Goiás. Na região oeste do Rio Grande do Norte, município de Paraná, são conhecidas ocorrências de esmeralda, ainda a prospectar, e no Ceará, existem as ocorrências de Tauá e Coqui.

Em menor proporção, o berilo também ocorre em outros depósitos, como em greisens, veios de quartzo, *placers* aluviais, elúvios e colúvios.

Os depósitos eluvionares de água marinha, por vezes, associam-se ou não a uma “stone-line”, eluviões recobrando os pegmatitos, como nas regiões de Catugi, Mucaia e Medina, em Minas Gerais, e em Jaquetó, na Bahia.

Os depósitos em *placers* aluviais respondem por parte da produção de água marinha no Brasil. Eles se estendem sobre uma vasta área, do sul da Bahia ao sul do Espírito Santo e no sudeste de Minas Gerais. As principais zonas de produção aluvionar ocorrem no vale do rio Marambaia e na região de Catugi. Jazidas de menor porte existem no vale do rio Mucuri (próximo de Medina), Pedra Azul e a

noroeste de Teófilo Otoni e perto de Ataleia, na lavra do Avião, todas situadas em Minas Gerais; no vale do rio Pontes, perto de Domingos Martins, no Espírito Santo, e em Jaquetó e Juerana na Bahia (Cassedanne, 1991).

O terceiro tipo de depósito de berilo corresponde ao da bertrandita. Ela é proveniente do depósito epitermal do Distrito Spor Mountain, em Utah, nos Estados Unidos, ocorrendo numa seqüência de rochas vulcânicas, do plioceno, cuja hospedeira é um tufo alterado. Ela foi formada pela alteração hidrotermal dos tufos vulcânicos, associando-se à fluorita, opala, calcedônia e montmorilonita, apresenta-se submicroscópica, com diâmetro de 0,025 mm. O depósito é tabular e concordante com as encaixantes, com uma extensão de 4,0 km e espessura média de 15,0 m (Harben e Bates, 1990).

Outra área favorável de mineralização de berílio, situa-se nos Estados Unidos, inclui o Distrito de Gold Hill, em Utah, que é um depósito de veio de quartzo com bertrandita, calcita e adularia cortando um monzonito. Nos Territórios do Noroeste do Canadá, a sudeste de Yellowknife, uma outra fonte do berílio são os depósitos de metais raros do Lago Thor. Eles estão contidos no interior do Complexo Lago Blatchford, um grande corpo ígneo, com gabro, sienito e granito de afinidades alcalinas (Harben e Bates, 1990).

2.3. Reservas Minerais de Berilo

O Brasil detém uma das maiores potencialidades geológicas para depósitos de berilo industrial e gemas, que são os jazimentos de pegmatitos. As atuais reservas oficiais conhecidas destes pegmatitos situam-se em duas, das três maiores províncias pegmatíticas brasileiras, produtoras de berilo industrial. São elas, as Províncias Oriental do Brasil, que englobam os Estados de Minas Gerais (detentor das maiores reservas), Rio de Janeiro, Espírito Santo e Bahia e de Solonópole, que abrange o Estado do Ceará. As reservas medida mais indicada, devidamente aprovadas pelo DNPM, totalizam cerca de 500 t de berílio metálico.

Estas reservas são constituídas por berilo de excelente a boa qualidade, com teores variáveis entre 10,0 e 12,0 % BeO, chegando em alguns casos, como em Minas Gerais, a atingir cerca de 14,0 % BeO.

Com relação às demais províncias, como a Borborema – Seridó, dos Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, e de outros campos pegmatíticos menores, como das regiões de Arapiraca/Limoeiro de Anadia, no Estado de Alagoas e de Caruaru-Altinho, no Estado de Pernambuco, no Nordeste do Brasil,

não há referência sobre reservas oficiais conhecidas e aprovadas pelo DNPM de berilo industrial.

Não obstante ao potencial de milhares de depósitos de pegmatitos inseridos nestas províncias, as reservas oficiais de berilo industrial atualmente conhecidas no país referem-se apenas às áreas detentoras de portarias de lavras. Elas não representam, entretanto, o verdadeiro potencial do berilo industrial brasileiro, estando subestimadas em virtude do pequeno volume de trabalhos realizados de prospecção e pesquisa mineral nos pegmatitos explorados por garimpagem no país.

Outros países são também detentores de reservas de berilo industrial em depósitos de pegmatitos, como na China, Índia, França, Rússia, Cazaquistão, Argentina, África do Sul, Uganda, Ruanda, Austrália, dentre outros.

Com relação às reservas de esmeralda e berilo verde das intrusões de pegmatitos berilíferos em rochas máficas/ultramáficas, na região de Carnaíba, na Bahia, foram estimadas reservas de cerca de 2.040 toneladas de esmeralda/berilo, com um teor médio de 0,107 kg de esmeralda por m³. Em Santa Terezinha de Goiás, foram estimadas reservas geológicas de 300.000 toneladas de talco-xistos esmeraldíferos, com uma concentração média de 600 a 700 gramas de gema por tonelada de rocha. Em Itabira, foram quantificadas reservas medidas de 1.160.000 m³ de biotita-flogopita xistos com esmeralda, com um teor médio de 2,05 gramas de esmeralda por m³ de xisto.

No contexto mundial, em depósitos não relacionados a pegmatitos, os Estados Unidos detém as maiores reservas conhecidas de berílio contido. São depósitos epitermais caracterizados pela presença da bertrandita, situados no Distrito de Spor Mountain, de Utah, cujas reservas medida mais indicada somam cerca de 18.000 toneladas de metal contido, com teor médio de 0,69% BeO (Harben e Bates, 1990).

As reservas mundiais de berilo não estão suficientemente delineadas para demonstrar a sua distribuição pelos diversos países. Estima-se que os recursos mundiais de berílio metálico contido nos minerais berilo e bertrandita são da ordem de 80.000 toneladas.

2.4. Produção e Consumo de Berilo

A grande arrancada da produção de berilo no Brasil ocorreu no período da segunda grande guerra mundial, quando os Estados Unidos estimularam a procura

de minérios de tungstênio, berílio e tântalo no Nordeste do Brasil. A produção de concentrado de berilo industrial registrada a partir dos anos de 1942, 1943 e 1944 proveniente do Nordeste, principalmente dos Estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará, atingiu picos máximos de produção, da ordem de 1.700, 2.000 e 1.500 toneladas, respectivamente (Relatório da Diretoria, DNPM/DFPM, 1944).

Após o término da segunda guerra, a produção do concentrado de berilo industrial decaiu. Posteriormente, a partir do início da década de 1950, ocorreu uma substituição lenta e gradual do mercado dos minerais metálicos para os minerais industriais dos pegmatitos, especialmente feldspato e caulim, para suprir as indústrias cerâmicas instaladas nas regiões nordeste e sudeste do Brasil. Nesta ocasião, a produção do concentrado de berilo industrial tornou-se uma atividade sazonal, principalmente explorada na época de secas prolongadas ou em função da melhoria de preços no mercado internacional.

Na década de 1980 e início de 1990, a produção nacional de concentrado de berilo industrial voltou a crescer, oscilando entre 800 a 1.000 toneladas/ano. Em 1984, atingiu o pico máximo, quando foram produzidas cerca de 1.200 toneladas, sendo toda esta produção principalmente proveniente dos Estados de Minas Gerais e Rio Grande do Norte, que responderam por aproximadamente 1.000 toneladas, seguindo-se em menor proporção, Paraíba, Bahia, Ceará e Rio de Janeiro. Na ocasião, diversas empresas exploravam e/ou comercializavam o concentrado de berilo industrial, dentre elas, assinalam-se a Mineração Santa Tereza, Minerva Exportadora, Cabot do Brasil, SAB Trading, Brasimet Comércio e Indústria, Mineração Sertaneja, Alonso Bezerra Comércio e Indústria, Companhia Industrial Fluminense, Companhia Estanho Minas Brasil, NGK Metais do Brasil, dentre outras.

Toda esta produção nacional do concentrado de berilo industrial é vinculada ao mercado internacional, sendo exportada principalmente para os Estados Unidos, que é o maior produtor e consumidor mundial de concentrado e de produtos manufaturados de berílio. E este aspecto condiciona a nossa produção a suportar os efeitos das oscilações características deste mercado.

No Brasil, o consumo interno do concentrado é insignificante. Historicamente, foram feitas tentativas internas para agregar mais valor ao concentrado de berilo produzido no país, dentro de uma política nacional para os minérios considerados estratégicos, para apoiar o desenvolvimento tecnológico nacional.

Em 1952, foi feita a primeira tentativa de produção de BeO pela empresa Proberil, que se instalou em Resende, no Estado do Rio de Janeiro, mas que não deu certo. Em 1984, a Companhia Vale do Rio Doce e a Arqueana de Minérios e Metais desenvolveram esforços para implantar, com tecnologia japonesa, um projeto de metalurgia de berílio metálico, partindo de um concentrado via flotação, que também não deu certo. Neste mesmo ano, mediante um contrato celebrado com a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), o Instituto de Projetos (INPRO) da Fundação Percival Farquhar, em Governador Valadares, em Minas Gerais, desenvolveu em escala-piloto a produção de carbonato de berílio (Neves, 1987), consumindo cerca de 100 toneladas de concentrado de berílio por ano, mas paralisaram as suas atividades a partir de 1988, sendo posteriormente desativado e com poucas chances de ser retomada.

A partir de meados da década de 1990, a produção nacional do concentrado de berílio industrial iniciou um período de declínio, decrescendo continuamente até 2000, atingindo uma produção insignificante nos anos seguintes. Atualmente, o mercado do berílio brasileiro está bastante incerto e retraído. A pequena produção registrada nos últimos anos está sendo estocada.

O declínio da produção nacional do concentrado de berílio foi motivado por fatores relacionados com o mercado internacional. Dois deles foram marcantes: o aumento da produção e consumo interno da bertrandita nos Estados Unidos e o excesso de oferta do concentrado de berílio industrial no mercado norte-americano, proveniente, a partir da década de 1980, da China e França e, posteriormente, da China e Rússia.

No contexto mundial, os Estados Unidos sempre lideraram como grandes produtores, consumidores e fornecedores de concentrados e de produtos manufaturados de berílio. Em 2002, a sua produção atingiu 100 toneladas de metal contido, correspondente a 62% da produção mundial, seguida pela Rússia com 25% (40 toneladas de metal contido) e China com 9% (15 toneladas de metal contido). Juntos, estes três países respondem por 96% da oferta mundial de berílio. Na Tabela 1, é apresentada a evolução recente da produção mundial de berílio, com tendência de declínio, sendo evidenciada a expressiva participação americana, seguida pela Rússia, e a modesta produção brasileira até o ano de 2000.

Nos Estados Unidos, a demanda estimada no ano de 2000 para bens de uso final foi de 60% para componentes eletrônicos, 20% para componentes elétricos, 10% para aplicações aeroespaciais e 10% em outros usos, conforme detalhado na Figura 1, segundo Cunningham (2003).

No que tange às importações, as estatísticas oficiais brasileiras registram a entrada de pequenas quantidades de produtos manufaturados de berílio com uso presumido na indústria metal mecânica.

Tabela 1: Produção mundial estimada de berilo, por país^(1,2) (t).

País⁽³⁾	1998	1999	2000	2001	2002
Brasil	5 ⁽⁴⁾	11 ⁽⁴⁾	13 ⁽⁴⁾	-	-
Cazaquistão	100	100	100	100	100
Madagascar ⁽⁵⁾	30 ⁽⁴⁾	20	2 ⁽⁴⁾	1 ⁽⁴⁾	1
Moçambique	-	-	-	1 ⁽⁴⁾	1
Portugal	5	4	4	5	5
Rússia	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Estados Unidos. (boca da mina ⁽⁶⁾)	6.080	5.070	4.510	2.480	1.970
Zâmbia	7	7	7	7	7
Total	7.230	6.210	5.640	3.610	3.100

Fonte :USGS

(1) Total mundial, dados dos EE.UU e dados estimados estão arredondados para 3 dígitos.

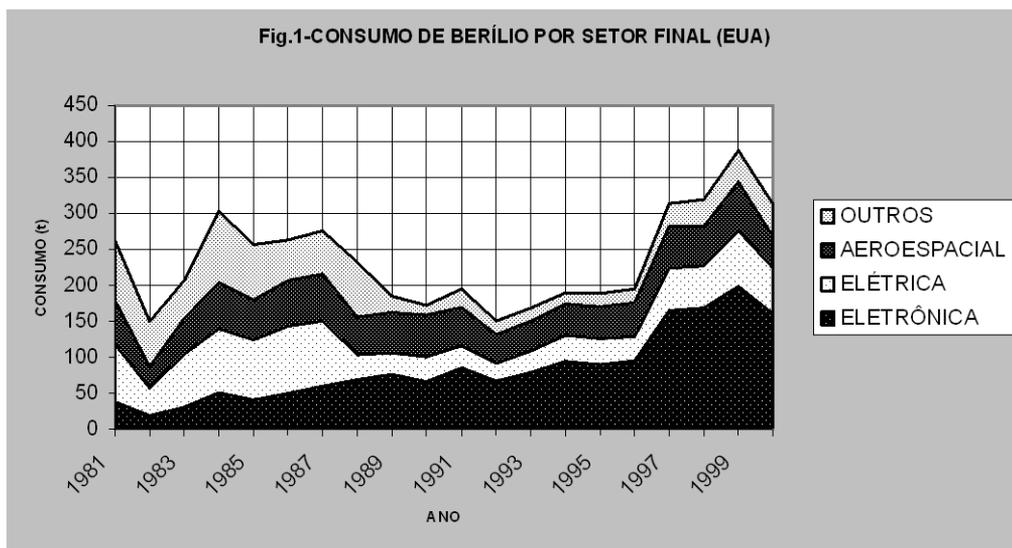
(2) Tabela inclui dados disponíveis até Junho, 2003.

(3) Em adição aos países listados, a China produziu berilo, e a Bolívia pode também ter produzido, mas as informações disponíveis não são adequadas para formular uma estimativa confiável da produção.

(4) Figura reportada.

(5) Inclui produtos ornamental e industrial.

(6) Inclui minério de bertrandita, calculado como equivalente ao berilo contendo 11% de óxido de berílio.



Com referência à produção de berilo verde e esmeralda, os garimpos de Carnaíba e Socotó, na Bahia, de Santa Terezinha de Goiás, em Goiás, e de Itabira e Capoeirana, em Minas Gerais, respondem pela maior produção de esmeralda bruta lapidável do Brasil.

Como subprodutos destas minas, principalmente na Bahia, ocorrem a molibdenita e, em segundo plano, scheelita e alexandrita, que é uma outra gema capaz de competir em valor com a esmeralda.

A produção oficial de esmeralda bruta, dos anos de 2000, 2001 e 2002, foi de 247, 216 e 252 kg, respectivamente, sendo totalmente proveniente do Estado de Minas Gerais, segundo o Sumário Mineral/DNPM, do ano de 2003. Estas estatísticas, entretanto, não incluem a produção clandestina de berilo verde e esmeralda que ocorrem em outras regiões do Brasil.

3. LAVRA E BENEFICIAMENTO

O berilo é produzido em regra geral como co-produto ou subproduto da lavra de minerais de pegmatitos, principalmente do tipo heterogêneos, que são corpos de rochas filonianas, que ocorrem de formas lenticulares a ovóides, com dimensões que variam entre 10 e 600 metros de comprimento, 10 a 80 metros de espessura e profundidades comprovadas de dezenas de metros.

Os constituintes destes pegmatitos se dividem em dois grandes grupos: os minerais estruturais (quartzo, feldspato, caulim e mica) que constituem as grandes massas destes corpos, ocupando zonas com predominância de um ou mais minerais específicos; e os minerais acessórios (tantalita, columbita, berilo, cassiterita, minerais de lítio e gemas) que se apresentam em porções relativamente pequenas nestas zonas, conforme a especialização metalogenética do depósito.

A mineralização do berilo, nos pegmatitos heterogêneos, está concentrada em “buchos” na zona de grandes cristais de feldspato, no contato com o núcleo de quartzo, ocorrendo também de forma disseminada na zona de pequenos cristais de feldspato. Nos trabalhos de garimpagem que visam à produção específica do berilo ou de suas gemas, é comum a abertura das frentes de lavra diretamente nestas zonas, procedimento que muitas vezes torna inviável o desmonte, na medida em que se aprofundam os trabalhos.

O aproveitamento integral do pegmatito heterogêneo, que se configura como de melhores resultados econômicos, é calcado num plano de lavra esboçado em função de parâmetros tais como a topografia, as dimensões e zoneamento do corpo, a competência das rochas encaixantes, etc.

Em regra geral, são aplicados métodos de lavra a céu aberto, fatiando o corpo mineral em níveis horizontais, verticalmente equidistantes de acordo com a sua profundidade, aproveitando-se o desnível topográfico para acessar o pegmatito mediante cortes transversais na encaixante. A exploração é desenvolvida ao longo da zona mineralizada, avançando o desmonte em bancadas longitudinais ao corpo.

No caso de lavra subterrânea, desenvolve-se túnel ou poço na encaixante para acessar o pegmatito, abrindo-se galerias de direção ao longo do comprimento do corpo, de onde se bifurcam levantes, aproveitando a gravidade para operar o desmonte.

Nos corpos constituídos por rochas duras, o desmonte é executado com perfuração pneumática e uso de explosivos. Nas rochas brandas pode ser feita com ferramentas manuais ou com trator de esteira, escavadeiras ou pás mecânicas, que operam simultaneamente no carregamento do minério.

O berilo é selecionado nas frentes de lavra por meio de cata manual e transportado para fora da frente de lavra.

No caso da lavra de gemas, como a esmeralda, onde a mineralização do pegmatito permeia o xisto encaixante, também se aplicam métodos a céu aberto

ou subterrâneo. No primeiro caso, como da jazida de Itabira, em Minas Gerais, utilizam-se máquinas escavadeiras para o trabalho de extração do material diretamente sobre o xisto esmeraldífero, devido ao seu alto grau de decomposição. Este material é depois transportado para a usina de beneficiamento por meio de carregadeira pneumática. A partir daí, é iniciado o trabalho de recuperação da esmeralda, com a lavagem prévia do conjunto, para depois ser granulométricamente separado e finalmente catado manualmente (Souza, 1991). Já em Santa Terezinha de Goiás, em Goiás, e em Carnaíba e Socotó, na Bahia, a lavra é subterrânea. São desenvolvidos poços verticais profundos, de onde partem galerias ou grunas, que são estreitas e irregulares, horizontais ou inclinadas, seguindo a rocha mineralizada. O desmonte é feito com a utilização de explosivos. O transporte do material até a superfície é feito com caçambas de borracha, alçadas por sarilhos manuais ou guinchos elétricos e, em alguns serviços, já utilizam elevadores de mina. O xisto mineralizado é conduzido aos lavadores, onde é feita manualmente a catação das gemas. O rejeito desta operação é geralmente revolvido em busca de esmeraldas que escaparam na seleção inicial (Costa e Sá, 1991).

Lavrado o minério, a concentração do berilo, quando necessária, se faz por fragmentação dos blocos brutos, para liberação dos grãos de menores dimensões, fazendo-se a separação do berilo por métodos manuais.

A utilização de processos de moagem, para a separação mecânica por métodos gravimétricos, é dificultada por causa da densidade do berilo estar próxima da densidade do feldspato, do quartzo e de outros minerais contidos nos pegmatitos. Em outros países são relatados casos de plantas de moagem com circuito de flotação para separar o berilo dos outros silicatos encontrados nos pegmatitos, procedimento que é dificultado por apresentarem estes minerais, superfícies com características semelhantes, pois são formados a partir do tetraedro da sílica. No entanto, a existência de diferenças estruturais (o berilo tem estrutura anelar; enquanto o quartzo e o feldspato, em *framework*; o espodumênio, em cadeia; e a mica, lamelar) e de substituições isomórficas do átomo de silício por outros cátions possibilitam a flotação seletiva do berilo, mediante o estabelecimento de condições físico-químicas adequadas.

4. USOS E FUNÇÕES

Peças decorativas

Quando o berilo é obtido sob a forma de cristais bem desenvolvidos (mais de 10 cm de comprimento e mais de 2 cm de diâmetro) e com cores atrativas, ele é comercializado *in natura* como peça para colecionadores, museus e decoração.

Gemas

A fração do berilo bruto que se apresenta limpa de impurezas, com cores, transparências, brilho, peso e propriedades físicas que possam ser trabalhadas como gemas, é destinada para uso na joalheria em objetos pessoais de adorno. A classificação das gemas no mercado internacional utiliza, como parâmetros, o seu peso, a cor em graus variáveis com o matiz, o tom e a saturação, a pureza da gema e os aspectos técnicos da lapidação.

O grupo do berilo engloba uma variedade de minerais que se apresentam em cristais hexagonais e com a mesma composição química, que se prestam a esta utilização, assim denominadas:

Água-Marinha - coloração variando desde o azul claro até azul escuro ou esverdeado, sendo a cor mais apreciada, comercialmente, as azuis intensas, cuja tonalidade pode ser produzida artificialmente por aquecimento térmico a 400°C.

Esmeralda - coloração verde, é uma das pedras mais procuradas, sendo por isto também produzida sinteticamente pelos métodos da fase fundida (cristalização a partir de uma fusão anidra a temperaturas entre 640 e 900°C a pressões ambientais) e hidrotermalismo (cristalização a partir de soluções aquosas acima de 100°C e alta pressão).

Morganita - também conhecida como berilo rosa por sua cor rósea clara e tons violetas, devido à presença de manganês ou céσιο na sua estrutura cristalina. Por meio de tratamento térmico, a temperaturas acima de 400°C, pode-se obter sinteticamente colorações mais escuras.

Heliodoro - variedade de cor amarelo dourada, amarelo esverdeado ou amarelo amarronzada, sendo o ferro o principal constituinte responsável por esta coloração.

Goshenita - variedade incolor de berilo, de ocorrência muito rara, e quando submetida à radiação de raios gama, apresenta cores amarelas, alaranjadas ou azuladas.

Bixbita - cor vermelho salmão ou vermelho groselha, variedade muito rara e ainda não encontrada no Brasil.

O processo da transformação da pedra bruta em jóia envolve as seguintes etapas:

- Lapidação - que consiste no corte da superfície mineral em diversas facetas, em talhes que realcem a cor e o brilho da gema.
- Design - desenho detalhado da peça elaborando estilos artísticos no metal que irá acomodar a pedra, de maneira a sobressaltar as suas características.
- Fundição - escolha, derretimento e mistura dos metais para escultura da peça.
- Moldagem - consiste no trabalho artístico com o metal para modelagem da peça.
- Cravamento da Pedra - tem por objetivo fechar as garras do metal moldado, para fixar a pedra na peça.
- Polimento da Jóia - dar uniformidade e maior brilho ao metal.

Usos industriais

O berilo que não apresenta características para uso como peça de coleção ou gema é comercializado sob a forma de concentrados com teores em torno de 10 a 14% BeO para processamento industrial. Como inexitem, no Brasil, usinas de transformação do berilo, este concentrado é exportado para outros países onde é processado para um estágio intermediário de hidróxido de berílio e posterior transformação industrial para óxido de berílio, berílio metálico ou ligas metálicas.

Até a década de 1980, o berílio sob uma destas formas (liga, metal ou óxido) encontrava seu principal uso em componentes elétricos e em aplicações nucleares. A demanda evoluiu nos últimos anos para ênfase na tecnologia e miniaturização em telecomunicações, eletrônica automotiva, computadores e em produtos do meio óptico.

O primeiro passo no processamento do minério é a obtenção do hidróxido de berílio por meio de uma das seguintes vias:

- i. O processo do fluoreto, onde o concentrado de berílio é moído, misturado com fluoreto férrico de sódio, briquetado, sinterizado e lixiviado com água;

desta solução é precipitado o hidróxido de berílio com adição de soda caustica a temperatura de ebulição.

- ii. No processo do sulfato é requerida a fusão do berilo a 1600°C, em forno elétrico, seguida do resfriamento do material fundido, em água, obtendo uma massa vidrada; esta é submetida a um processo que envolve moagem, digestão em ácido sulfúrico e lixiviação com água, formando uma solução de sulfato de berílio; por meio de filtração é removida a sílica e à solução resultante é adicionada amônia para precipitação do alumínio sob a forma de alume. Em seqüência, a solução recebe a adição de soda cáustica, sendo então aquecida para precipitar o hidróxido de berílio sob a forma granular.

O **óxido de berílio (berilia)** é obtido pelo ataque do hidróxido de berílio com ácido sulfúrico produzindo uma solução de sulfato de berílio tetrahidrato, a qual é concentrada por evaporação e então resfriada resultando na formação de cristais de sulfato de berílio que, após calcinação a 1.430°C, gera a formação do óxido de berílio. Este material cerâmico único combina uma resistividade elétrica e uma constante dielétrica extremamente altas com uma grande condutividade térmica. Por estas propriedades, ele encontra um grande campo de aplicação em sistemas de ignição automotivo, materiais cerâmicos para computadores, isolantes elétricos, transistores de potência, substrato de circuitos eletrônicos e lasers. Sendo também o óxido de berílio um material transparente a microondas, como resultado, pode ser usado em sistemas de comunicação e fornos de microondas.

O **berílio metálico** é extraído do hidróxido de berílio a partir de um processo de purificação por meio de dissolução em bifluoreto de amônia, seguido de adição de reagentes e processos de filtração para remoção das impurezas, evaporação e recuperação do berílio fluoreto de amônia, por cristalização. Este composto é tecnicamente decomposto por aquecimento, gerando o fluoreto de berílio e volatilizando a amônia. Removido o sal, o fluoreto de berílio é reagido com magnésio metálico em fornos elétricos de indução, a 1300°C, para produzir berílio metálico e fluoreto de magnésio. Resfriando esta mistura, é produzido um bolo sólido que contém berílio, fluoreto de magnésio e fluoreto de berílio não reagido. Esta mistura é britada e lixiviada com água, resultando o berílio metálico e o fluoreto de magnésio, sendo este descartado e os seixos de berílio fundidos a vácuo para remover qualquer escória ainda neles aderida, moldando-se então o metal sob a forma de lingotes.

Pelas suas propriedades de transparência aos Raios-X, o berílio metálico é aplicado em janelas de Raios-X; por refletir nêutrons e dissipar calor é requerido na fabricação de latas para conserva, de moderador de nêutrons, de varetas de

controle e de refletores de reatores nucleares, e em sistemas espaciais providos de energia nuclear; exibindo alta rigidez, baixo peso e estabilidade dimensional numa ampla faixa de temperatura, é usado em veículos espaciais, componentes de áudio e de computadores de alta velocidade, sistemas de guia inercial, freios de aeronaves militares, espelhos e componentes de sistema óptico espacial.

A liga metálica mais usada na indústria é produzida pela fundição do hidróxido de berílio com o cobre eletrolítico e o carbono, em fornos de arco elétrico operando a 1.800/2.000°C. Esta liga mestra, contendo cerca de 4% de berílio, é refinada com adição de cobre para fabricar diversas ligas de Cu-Be, fundidas sob as formas de pranchas e tarugos contendo de 0,5 a 2% de berílio.

Por apresentarem alta condutividade elétrica e térmica, resistência à fadiga e à corrosão, considerável resistência à tração e tenacidade, estas ligas são manufaturadas como molas, conectores e chaves elétricas em aplicações nas indústrias automobilística, aeroespacial, de computadores e equipamentos domésticos; de tubos de grandes diâmetros para a perfuração de petróleo; de mancais e embuchamentos de equipamentos pesados; de fios para placas de circuitos impressos; de barras e placas para partes de solda elétrica; e de componentes de maquinaria, moldes para vidros, metais e plásticos.

Outras ligas são produzidas pela fusão do berílio com outros metais, como alumínio, magnésio, níquel, bronze, destacando-se o desenvolvimento da liga de Be-Al, contendo 65% de berílio que vem obtendo grande aplicação na fabricação de partes de helicópteros, aviões de caça a jato e sistemas bélicos.

5. MINERAIS E MATERIAIS ALTERNATIVOS

Os minerais do grupo do berilo, usados como peças decorativas e gemas, sofrem a concorrência de outras espécies minerais que apresentam também características estéticas atrativas para decoração e adorno pessoal.

A massificação do uso de jóias e bijuterias tem encorajado o uso de materiais alternativos de mais baixo custo como vidros, madeira, plásticos e sintéticos que, no entanto, não guardam a nobreza e a qualidade da pedra natural.

Importantes depósitos epitermais de bertrandita contida em tufos vulcânicos, de ocorrência restrita aos Estados Unidos, concorrem com o berilo como fonte alternativa de berílio. A bertrandita é um silicato básico de berílio, tem um conteúdo teórico variando de 0,70% a 1,0% BeO, bastante inferior ao teor de

BeO no berilo; porém, a disseminação mais regular da bertrandita em grandes massas de minério permite condições econômicas competitivas para o seu aproveitamento.

O berílio metálico pode ser substituído pelo aço e pelo titânio em aplicações estruturais, pela grafita em reatores nucleares e por materiais compósitos em aplicações estruturais.

A liga de berílio tem como substituto, em alguns usos industriais, a liga de fósforo bronze, mas estas substituições podem resultar em perda de desempenho nos materiais fabricados.

O óxido de berílio disputa a concorrência com o nitreto de alumínio em algumas aplicações na indústria cerâmica.

6. RISCOS AMBIENTAIS

O manuseio do berílio ou dos materiais processados contendo berílio, no estado sólido, não acarreta riscos à saúde. Entretanto, a poeira e a fumaça geradas durante o processamento industrial do berilo requerem cuidados especiais para reduzir os riscos potenciais da berilose, uma doença crônica do pulmão.

No Brasil não existem plantas industriais de berílio ou de seus compostos, e nos três países produtores, Estados Unidos, Rússia e Cazaquistão, são editadas normas rígidas para instalação e manutenção de equipamentos de controle da poluição atmosférica e estabelecimento de programas de saúde e segurança para o pessoal envolvido na produção, medidas que contribuem para aumentar o custo final dos produtos de berílio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALTAR, C.A.M.; MACHADO, Del-VEECCHIO, A.O., CARAGEORGOS, T. e BARROS, M.L. de S.C. (1985). Beneficiamento de pegmatitos do Nordeste. Recife: UFPE, s.d. 58p.

BEZERRA, M. S. (1994). Aspectos econômicos da micro mineração de pegmatitos. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, Balneário Camboriú. Boletim de resumos expandidos. Balneário Camboriú: SBG, 3v. v.2, p.131- 132.

- CAMERON, E. N. *et al.* Internal structure of granitic pegmatites. Econ. Geol. Monogr., 2, 115p. 1949.
- CASSEDANNE, J. P.(1991). Tipologia das jazidas brasileiras de gemas. *In*: SCHOBENHAUS, C.; QUEIROZ, E. T. de; COELHO, C. E. S. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília: DNPM/CPRM, v.4. il. p.17-36.
- COMIG - COMPANHIA MINERADORA DE MINAS GERAIS; CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (2001). Projeto Leste. Província Pegmatítica Oriental. Mapeamento geológico e cadastramento de recursos minerais. MICROSERVICE. Belo Horizonte. Disponível em CD ROM.
- COSTA, S. A. de G. e SÁ, W. L. de (1991). Garimpos de esmeralda de Santa Terezinha de Goiás, Goiás. *In* : SCHOBENHAUS, C.; QUEIROZ, E.M. de; COELHO, C.E.S. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília : DNPM/CPRM, v. 4. il. p. 245-258.
- CUNNINGHAM, L. D. (2003). Beryllium. Mineral Commodity Summaries, annual, p.34-35, Jan. Disponível em: <http://www.minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/beryllium/100303.pdf>
- CUNNINGHAM, L. D. (2002). Beryllium. *In*: Minerals yearbook - 2002. Metals and minerals. U.S. Geological Survey, v.1 Disponível em -<http://www.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/beryllium/bermyb02pdf>
- CUNNINGHAM, L. D. (2003). Beryllium recycling in the United States. in 2000.United States: Geological Survey, 12p. il. (U. S. Geological Survey. Open File Report 03-282) - <http://pubs.usgs.gov/of/2003/0f03-282>
- DIAS, J. (1973). Perfil analítico do berílio. Rio de Janeiro, DNPM, 20p. il. (Brasil. Departamento Nacional da Produção Mineral, Boletim 5).
- GOLDSCHMIDT, V. M. (1954). Geochemistry. Oxford: Claredon Press, 730p.
- GOVETT, G. J. S. (1983). Rock geochemistry in mineral exploration. Amsterdam: Elsevier, 461 p.
- GREENWOOD, N. N. e EARNSHAW, A. (1989). Chemistry of the elements. Oxford: Pergamon Press England.
- HARBEN, P. W. (1995). Beryllium minerals. *In*: The Industrial Minerals Handbook. London: Industrial Minerals Division, 253p. (Metal Bulletin PLC) p.26-28.

- HARBEN, P. W. e BATES, R. L. (1990). Industrial Minerals. Geology and World Deposits. London: Industrial Minerals Division, 312p. (Metal Bulletin PLC)
- HECHT, C. (1997). Geologia do Berílio. In: SCHOBENHAUS, C.; QUEIROZ, E. T. de; COELHO, C. E. S. Principais depósitos minerais do Brasil. Brasília: DNPM/CPRM, v.4b il. p.331-336.
- JOHNSTON JR., W. D. (1945). Os pegmatitos berilo – tantalíferos da Paraíba e Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. Rio de Janeiro: DNPM/DFPM, 81p. il. (Boletim, 72).
- KLOCKMANN, F. e RAMDOHR, P. (1961). Tratado de Mineralogia. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S. A., 736p.
- KRAMER, D. A. B. (1998). In: U.S Geological Survey Minerals Yearbook 1996. Metals and minerals. U.S: Geological Survey, v.1 p. 107-112.
- LUZ, A. B.; BALTAR, C. A. M. e Del VECCHIO, A. O. (2001). Relatório Técnico de Viagem aos Estados Unidos no Âmbito do Projeto CTPETRO, RV-10/01-CETEM.
- MCNEILL, D. B. (1999). Mining Annual Review, p.B102-B103.
- NEVES, H. T. (1987). Berílio – Brasil exportador de minério ou produtor de óxido e liga metálica. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE MINERAIS E METAIS ESTRATÉGICOS, 1, Rio de Janeiro. Atas. Rio de Janeiro, 159p. il.
- PETKOF, B. (1980). Beryllium. In: U.S. Bureau of Mines. Mineral facts and problems. Washington: U.S. Govt. Print Off, 1060p. (Bureau of Mines. (Bulletin 671) p.85-96.
- PINTO, A. F. e BRITO, M. A. (1978). Estudo de pré-viabilidade para lavra de pegmatito, Urucum, Galiléia, Minas Gerais. Mineração Metalurgia, vol.42, n.404, p.43-45, nov.
- SOUZA, J. L. (1997). Jazida de esmeralda de Itabira, Minas Gerais. In: SCHOBENHAUS, C.; QUEIROZ, E.M. de; COELHO, C.E.S. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília. DNPM/CPRM, v. 4. . il. p.223-242.