



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**

PAULO VITOR MOREIRA MACHADO

**SITUAÇÃO DA ECONOMIA MINERAL DO NIÓBIO NO BRASIL E
NO MUNDO**

**GEOCIÊNCIAS
U.F.P.A.**

**Belém-PA
Setembro - 2016**

PAULO VITOR MOREIRA MACHADO

SITUAÇÃO DA ECONOMIA MINERAL DO NIÓBIO NO BRASIL E
NO MUNDO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Estanislau Luczynski.

Belém-PA
Setembro – 2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Machado, Paulo Vitor Moreira 1991-
Situação da economia mineral do nióbio no Brasil e no mundo /
Paulo Vitor Moreira Machado. – 2016.
75 f : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Estanislau Luczynski

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) –
Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências,
Faculdade de Geologia, Belém, 2016.

1. Geologia Econômica - Brasil. 2. Nióbio - Brasil. I. Título.

CDD 22 ed.: 553.0981

PAULO VITOR MOREIRA MACHADO

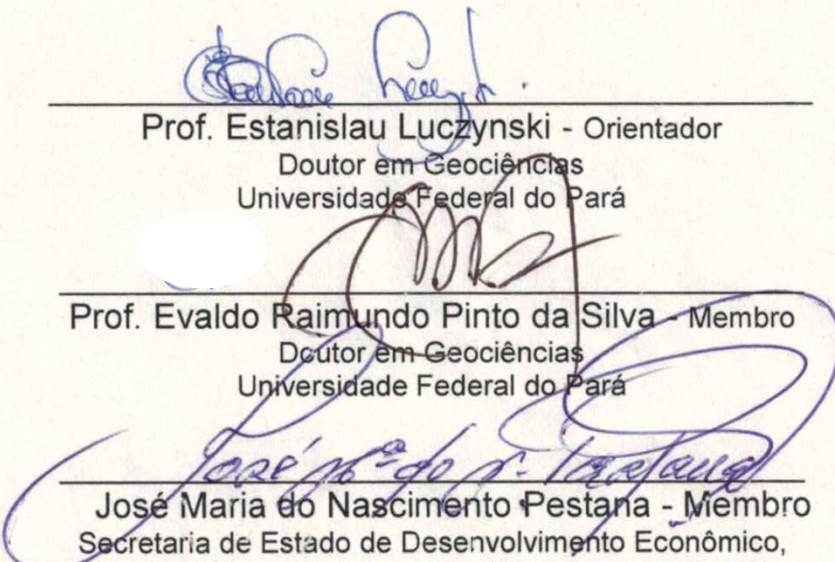
**SITUAÇÃO DA ECONOMIA MINERAL DO NIÓBIO NO BRASIL E NO
MUNDO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará - UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Aprovado em: 30/09/2016

Conceito: BOM

Banca Examinadora:



Prof. Estanislau Luczynski - Orientador
Doutor em Geociências
Universidade Federal do Pará

Prof. Evaldo Raimundo Pinto da Silva - Membro
Doutor em Geociências
Universidade Federal do Pará

José Maria do Nascimento Pestana - Membro
Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico,
Mineração e Energia do Estado do Pará (SEDEME)

À todos que me deram força para concluir esse trabalho e em especial a Deus que sempre me mostrou o caminho no curso de geologia e na vida para alcançar meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Acredito que a conclusão deste trabalho encerra um grande ciclo na minha vida.

Esse árduo trabalho se iniciou ainda criança, na alfabetização quando meus pais, Márcia Cláudia e Paulo César, ensinavam-me, ao seu modo, o ABC.

Já no ensino fundamental devo agradecer a uma das pessoas mais importante, que é minha avó, Maria Altelige, que muito se esforçou para que tivesse uma ótima educação e que nunca deixou me faltar nada. E também a minha professora da 4º série, Luzinete Rocha, que muito me ajudou a superar a timidez e o nervosismo.

Aos meus irmãos; Paulinho, pelas incontáveis aulas de física e matemática, ao Henrique, que apesar das brigas, sempre estivemos juntos e ao meu irmão do coração Jimmy Lucas, que me ensinou a ter paciência.

A minha namorada Leticia Briglia, por seu companheirismo e amor, especialmente nas horas que não me deixou desistir. E especialmente por me ajudar a enxergar a vida em toda sua plenitude.

Ao meu orientador Prof. Dr. Estanislau Luczynski pela paciência e apoio para ajudar no produto deste trabalho e por fazer de forma honrosa seu papel de orientar, auxiliar, motivar e principalmente aconselhar pacientemente nos momentos em que persistiam as dúvidas e se tornava difícil encontrar as soluções.

E por fim um muito obrigado aos amigos da turma de 2010 e 2011 com quem eu tive o prazer de conviver por esses 5 anos, em especial à, Lorena de Freitas, Daiveson (Neymar), Meireani Gonsalves, Adson Pinheiro, Karen Lopes, Thiago Madruguinha, Janylle Trindade e José Renilson.

RESUMO

O Nióbio (Nb) de número atômico 41, é um elemento de transição pertencente ao grupo 5 (grupo do vanádio) na classificação periódica dos elementos. Por ser muito resistente à corrosão e às altas temperaturas tem diversas aplicações industriais que vão do aço, passando por turbinas de avião até os setores bélico, nuclear e aeroespacial. Em termos comerciais, o Nióbio costuma ser transacionado em dois formatos: como liga ferro-nióbio (LFeNb) e como óxido de nióbio (ONb). Os principais importadores de LFeNb são: a Holanda com 29% do total, seguida por China (22%), Cingapura (16%), Estados Unidos (14%) e Japão (11%). Já os importadores de ONb são integrantes do NAFTA (Tratado Norte-Americano de Livre Comércio) (81%), e a China (19%). Quanto à produção, o Brasil ocupa o primeiro lugar (93,67% do total) seguido de Canadá (5,28%) e Austrália (1,05%). Internamente, os principais estados produtores são Minas Gerais e Goiás, mas também há registro de reservas no Amazonas e em Roraima. Atualmente, duas empresas respondem pela exploração no Brasil: a Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) e a Mineração Catalão de Goiás. Além do Brasil, apenas Canadá e Angola são exportadores de Nióbio, porém em pequenas quantidades. Contudo, apesar da importância geopolítica do Nióbio, ainda não há no âmbito do governo brasileiro regulamentação ou uma política mineral brasileira de gestão, em termos de produção, aproveitamento tecnológico e melhor rendimento econômico.

Palavras-chave: Nióbio. Geologia Econômica. Política Mineral Brasileira.

ABSTRACT

Niobium (Nb) with atomic number 41 also belongs to Group 5 (vanadium group) of periodic table of the chemical elements. It has two physical properties that drawn the attention of several industrial sectors (steel production, turbines, defense industry, nuclear generation and space industry, for example): it is corrosion resistant and is very resistant to corrosion and withstands high temperatures. For marketing purposes, Niobium is traded by two forms: iron-niobium alloy (LFe-Nb) e niobium oxide (ONb). The main importers of LFe-Nb are: Holland 29%, followed by China (22%), Singapore (16%), United States (14%) and Japan (11%). On the other hand, the importers of ONb are the countries of NAFTA (North American Free Trade Agreement) (81%), and China (19%). Focusing on production, Brazil is the largest producer (93.67%), followed by Canada (5.28%) and Australia (1.05%). The main states are Minas Gerais and Goiás, but some deposits were detected in Amazonas and Roraima. Two companies are explorers: Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) and Catalan Mining Goiás. Besides Brazil, only Canada and Angola are exporters, however they are small scale ones. In spite of the geopolitical role of Niobium, by the Brazilian government can be noticed the lack of forwarding-looking policies about production, technology and economic revenues.

Key words: Niobium. Economic Geology. Mineral Brazilian policy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1- Localização do depósito de Araxá. | 18 |
| Figura 2- Sistema Geológico dos depósitos endomagmáticos..... | 19 |
| Figura 3- Mapa geológico do complexo alcalino-carbonático de Araxá (MG). 20 | |
| Figura 4- Evolução do complexo carbonático de Araxá. | 21 |
| Figura 5- Mapa de localização da área. | 22 |
| Figura 6- Representação esquemática das divisões do manto de intemperismo em Catalão I. | 24 |
| Figura 7- Contorno do corpo mineralizado no solo, no Depósito Morro do Padre. | 25 |
| Figura 8- Localização do depósito de seis lagos..... | 26 |
| Figura 9-Distribuição dos elementos no Morro dos Seis Lagos. | 28 |
| Figura 10- Produção de nióbio em toneladas entre 1997 e 2014..... | 38 |
| Figura 11- Exportação brasileira e canadense de ferro-nióbio para os Estados Unidos, dados de agosto de 2012. | 41 |
| Figura 12- Evolução do preço das ligas de Ferro-Nióbio e de óxido de Nióbio entre 1997 e 2014 | 42 |
| Figura 13- Matriz de Criticidade (EUA)..... | 45 |
| Figura 14- Ao fundo, o depósito de estéril com os taludes em ascendência. Em área acima das nascentes do córrego que passa ao fundo da propriedade. | 53 |
| Figura 15- Diagrama simplificado para avaliação do ciclo de vida dos metais. 55 | |
| Figura 16- Unidade de concentração: (A) Separadores magnéticos; (B) Saída da Magnetita; (C) etapa de Deslamagem; (D) Etapa de Flotação. | 57 |
| Figura 17- Barragem de Rejeitos. | 58 |
| Figura 18- Fluxograma proposto como modelo para elaboração da ACV do nióbio..... | 62 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1- Reserva brasileira de nióbio, em toneladas. | 29 |
| Tabela 2- Total das reservas de nióbio por unidade da federação, em 10 ³ toneladas..... | 30 |
| Tabela 3- Distribuição da reserva lavrável de pirocloro contido no minério e a produção Nb ₂ O ₅ contido no concentrado no Brasil e outros países produtores. | 31 |
| Tabela 4- Principais aplicações do Nióbio..... | 34 |
| Tabela 5- Identificação e conteúdo das etapas do fluxograma proposto. | 63 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 Justificativa | 13 |
| 1.2 Objetivos | 13 |
| 2 METODOLOGIA | 15 |
| 3 GEOLOGIA DOS DEPÓSITOS DE NIÓBIO | 16 |
| 3.1 Principais depósitos brasileiros de Nióbio | 17 |
| 3.1.1 Depósito de Araxá (MG) | 17 |
| 3.1.2 Depósito de Catalão (Go) | 22 |
| 3.1.3 depósito de Seis Lagos (Am) | 26 |
| 3.2 Reservas de nióbio no mundo e no Brasil | 29 |
| 4 ECONOMIA MINERAL E MERCADO DO NIÓBIO | 31 |
| 4.1 Aplicações | 32 |
| 4.1 Produção | 34 |
| 4.2 Exportações | 39 |
| 4.3 Preço | 41 |
| 5 POLÍTICA MINERAL DO NIÓBIO | 43 |
| 5.1 Nióbio mineral crítico e estratégico | 44 |
| 5.2 Política brasileira para o nióbio | 47 |
| 6 IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS DA MINERAÇÃO DO NIÓBIO | 50 |
| 6.1 Impactos socioambientais em Araxá e Catalão | 50 |
| 6.1.1 Araxá (MG) | 50 |
| 6.1.2 Catalão (Go) | 52 |
| 6.2 Avaliação do ciclo de vida (acv) do nióbio | 54 |
| 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 64 |
| REFERÊNCIAS | 70 |

1 INTRODUÇÃO

Em 1801, o químico inglês Charles Hatchett (1765-1847) descobriu o elemento químico de número atômico 41, com ponto de fusão 2568 °C atualmente denominado Nióbio (Nb) (SOUSA; FERNANDES; GUERRA, 2012). Em 1905, começou a pesquisa sobre as aplicações do nióbio a partir do seu estado puro. Contudo, só em 1950, com a corrida aeroespacial durante a Guerra Fria, é que o interesse pelo metal e suas aplicações cresceram exponencialmente. Um evento importante nesse sentido foi a descoberta da maior jazida mundial de pirocloro, localizada no Brasil, no começo da década de 1950, pelo geólogo brasileiro Djalma Guimarães (LEITE et al., 1988). De fato, até meados do século passado, não havia muito interesse no metal e este não era produzido em grande escala.

O elemento Nióbio é pouco abundante na crosta terrestre e não é encontrado na forma elementar, mas sim em compostos minerais. A maior parte do metal em circulação no mundo é proveniente de jazidas de minérios localizadas no Brasil e no Canadá. Com relação ao Brasil, o país produz mais de 90% do metal consumido e tem aproximadamente 98% da reserva mundial. A maior parte do metal minerado no Brasil (cerca de 95%) é exportada, principalmente para os países da União Europeia, EUA, China e Japão (DNPM, 2008). Atualmente, somente duas empresas respondem por cerca de 90% da produção mundial de nióbio. A Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) e a Mineração Catalão de Goiás, ambas no Brasil. Além de nosso país, apenas o Canadá e Austrália exportam uma pequena produção de nióbio (BOGO, 2011).

Em termos de aplicações comerciais, estas se devem principalmente às características físico-químicas que o nióbio apresenta: é o metal refratário de menor densidade ($d = 8,57 \text{ g/cm}^{-3}$), é dúctil, maleável e, em pequenas quantidades, melhora consideravelmente algumas propriedades mecânicas do aço. Assim, seu principal emprego é na obtenção de ligas, especialmente aquelas envolvendo aços de alta resistência amplamente utilizados nas indústrias automobilística e naval (plataformas marítimas) e na construção civil (pontes, oleodutos, viadutos e edifícios). Na indústria aeroespacial, o nióbio é

muito utilizado na produção de superligas que operam em altas temperaturas, e que estão presentes na composição de motores a jato de alto desempenho para fins comerciais e militares (SOUSA; FERNANDES; GUERRA, 2012).

Mundo afora, o interesse no mineral vem crescendo. Segundo o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, o volume de liga ferro-nióbio exportado cresceu 110% em 10 anos. Na opinião de Marcelo Tunes, diretor de Assuntos Minerários do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), o aumento da demanda é mérito dos produtores brasileiros, que sempre buscaram conquistar novos clientes no mundo (BRANCO, 2013).

Contudo, apesar do uso crescente e das diversas possibilidades de aplicação, o nióbio não tem a importância e o valor que possuem, por exemplo, o ouro e o petróleo. Segundo alguns autores, o virtual monopólio brasileiro tende a despertar cobiça e preocupação de potências econômicas, dando origem a desconfianças sobre o modo como o Brasil está lidando com esse recurso natural, do ponto de vista econômico (BRANCO, 2013). Nos principais centros tecnológicos mundiais, estão em curso pesquisas de alto nível, visando novas aplicações em equipamentos de alta tecnologia. Por outro lado, Bogo (2011) aponta o baixo índice de investimento do governo brasileiro em pesquisas de ponta e a não adoção, até o momento, de nenhuma política específica para o controle da exploração e produção com vistas a utilizar internamente o nióbio e agregar valor ao PIB nacional. Outras nações, em especial a China, maior produtor mundial de aços, necessita cada vez mais desse mineral para manter seu ritmo de crescimento. Isto acontece também com todos os países que têm no aço, a mola propulsora de seu desenvolvimento, principalmente no setor de alta tecnologia.

1.1 Justificativa

O nióbio apresenta significativa importância para a balança comercial brasileira do setor minero-metalúrgico, representando um saldo acima de US\$ US\$ 1,7 bilhão (DNPM, 2015) ou o equivalente a 43% do faturamento externo de toda a indústria nacional de ferro-ligas. A não comercialização de minério e sim do seu concentrado, maximiza o valor agregado dos produtos ofertados, trazendo benefícios para o faturamento geral à balança comercial do segmento (ANDRADE, 2000).

O aumento mais significativo do uso do nióbio ainda está por vir, especialmente devido à preocupação com a sustentabilidade. O ferro-nióbio pode, por exemplo, ajudar a produzir carros mais leves, que consomem menos combustíveis. Um carro médio tem entre 800 e 1.000 kg de aço. Ao se retirar 100 a 150 kg do automóvel, ele economizará um litro de gasolina para cada 200 km rodados. Sendo, também, utilizado em grandes obras de infraestrutura, é possível usar um aço mais resistente e construir a mesma estrutura 60% mais leve (IBRAM, 2012).

Entretanto, a indústria do nióbio não está totalmente livre da concorrência. Os elementos vanádio, titânio, molibdênio, tungstênio e tântalo podem, isoladamente ou combinados em certas proporções, conferir ao produto que os contém características próximas àquelas transmitidas pelo nióbio (ANDRADE, 2000). Isso reforça a necessidade, por parte das empresas de manter um constante trabalho de parceria com clientes, centros de pesquisa e universidades no sentido de promover, desenvolver e difundir, a tecnologia e a utilização do nióbio.

1.2 Objetivos

Geral:

Estudar a participação e importância do Nióbio em suas diferentes aplicações na indústria e economia mundial e nacional.

Específicos:

1. Identificar as reservas e projetos de exploração do elemento Nióbio no Brasil e no Mundo.

2. Discutir a participação do Brasil como exportador e produtor de nióbio.
3. Analisar a política econômica nacional do nióbio e o comportamento do mercado mundial, em termos de oferta, preço e novas reservas.
4. Avaliar a competição-substituição entre minerais, à exemplo do Vanádio e outros.
5. Avaliar o processo produtivo do nióbio e os impactos socioambientais.

2 METODOLOGIA

Este trabalho de conclusão de curso (TCC) se baseou em uma revisão bibliográfica sobre economia mineral do nióbio assim como todos os outros aspectos da sua cadeia produtiva. Para isso foi feita uma busca dos principais textos acadêmicos nos sites das principais universidades brasileiras, assim como no site de revistas especializadas no tema e ainda em acervos de órgãos do governo como DNPM, IBRAN, SEDEME, CPRM entre outros. Dessa forma formou-se uma ampla base de dados, a partir da qual foi feita análise sistemática, com a finalidade de desenvolver os diversos elementos deste trabalho como texto, gráfico, imagens e considerações finais.

O texto deste trabalho foi construído a partir da síntese da literatura especializada, assim como das diversas discussões acadêmicas feitas com o orientador deste TCC. As imagens foram adquiridas de trabalhos anteriores, com as devidas adaptações, principalmente as utilizadas no capítulo sobre a geologia dos depósitos de nióbio. Já os gráficos utilizados ao decorrer do trabalho foram elaborados com auxílio do *software Excel 2013*, a partir de dados disponíveis no site do DNPM e das mineradoras, como a CBMM e Anglo American.

Por fim, fez-se uma ampla discussão sobre a cadeia produtiva do nióbio e de como esse recurso mineral pode ser melhor aproveitado pelo governo brasileiro, de modo a ser um importante para o desenvolvimento econômico e social do Brasil.

3 GEOLOGIA DOS DEPÓSITOS DE NIÓBIO

O principal minério de nióbio é o pirocloro $[(Na,Ca)_2(Nb,Ti)_2(O,F)_7]$, que possui uma composição muito variável e ocorre principalmente em carbonatitos. Entre as variedades desse mineral ocorrem o betafita-pirocloro e bário-pirocloro, mineral-minério encontrado em Araxá (MG). No entanto, também ocorre na variedade columbita-tantalita $[(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6]$ em depósitos carbonatados, o que representa a quase totalidade das reservas e recursos identificados (LUZ; MUFARREJ; SILVA, 2010). Em termos geológicos, esses depósitos estão associados ao Complexo Carbonático-Alcalino. Uma feição geológica marcante é o elevado grau de intemperismo caracterizado por raras aparições em rochas frescas (LIMA, 2010). Segundo Ribeiro et al. (2013), carbonatitos são rochas ígneas compostas por mais de 50% de carbonatos. Podem ser intrusivos ou extrusivos, ocorrendo isoladamente ou em associação com rochas silicáticas para formar complexos alcalino-carbonatíticos, estes raros e com poucas centenas de ocorrências conhecidas mundialmente, sendo insignificantes na crosta, em termos de volume. Essas rochas abrigam uma grande variedade de mineralizações de importância econômica como: o pirocloro (Nb), a barita (Ba), o anatásio e rutilo (Ti), o zircão (Zr), a magnetita (Fe), a apatita (P e ETR¹), monazita e minerais da série bastnaesita-synchysita (ETR) e vermiculita. Além destes, destacam-se os carbonatos para a indústria do cimento. Além disso, alguns complexos podem formar depósitos de calcopirita, uraninita e fluorita.

A maioria dos carbonatitos ocorre em ambiente de intraplacas continentais, embora alguns ocorram em margens continentais e outros associados com orogênese ou *rifts*. Nestes ambientes, os carbonatitos são comumente associados a falhas maiores ou formam lineamentos de origens desconhecidas, pois não há nenhum controle estrutural aparente. A progressão de idades ao longo destes lineamentos é rara, ao contrário do que poderia se esperar se fossem gerados por *hot spot* (WINTER, 2001). O mesmo autor considera que essas rochas ígneas são formadas a partir da fusão do manto, sendo que existem diferentes teorias para explicar sua origem: fusão parcial

¹ ETR: Elementos Terras Raras.

direta do manto (lherzolito hidro-carbonatado), cristalização fracionada e imiscibilidade de líquidos a partir de um magma parental.

3.1 Principais depósitos brasileiros de Nióbio

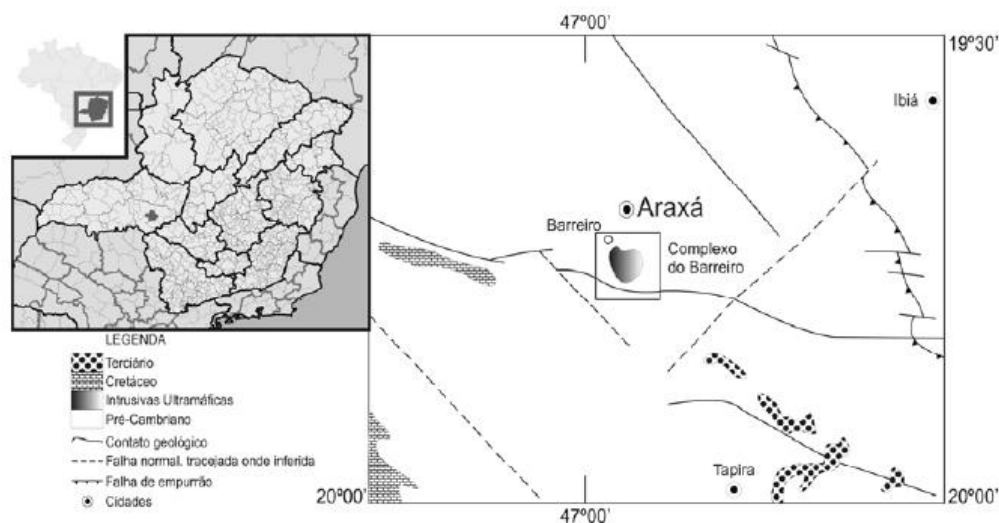
Os três principais depósitos de nióbio do Brasil são os de Araxá (MG), Catalão (GO) e Seis Lagos (AM). Estes depósitos apresentam características em comum, por exemplo: são do tipo residual, no qual, ação intempérica associada a erosão formaram um concentrado de minerais resistentes, como pirocloro, magnetita, apatita e minerais terras raras (ETR); apresentam geometria circular, com diâmetro variando entre de 4 e 6 km, associados aos complexos alcalinos carbonatíticos (LIMA, 2010).

Os depósitos de Araxá e Catalão são agrupados na Província Ígnea do Alto Paranaíba (APIP), por Gibson et al. (1995), e consistem de rochas alcalinas do Cretáceo Superior. O depósito de Seis Lagos está inserido no Domínio Imeri, que forma o embasamento de idades entre 1,81 e 1,79 Ga (PALMIERI, 2011).

3.1.1 Depósito de Araxá (MG)

O depósito de Araxá está localizado em município homônimo, no sudoeste do estado de Minas Gerais, mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Parnaíba (Figura 1). Este depósito está inserido no Complexo Carbonatítico do Barreiro (CCB), constituído por rochas ultramáficas metassomatizadas, cortadas por carbonatitos (TORRES, 1996), com enriquecimento residual de fosfato e espesso manto de intemperismo. O Complexo possui estrutura dômica, de formato semicircular e tem aproximadamente 4,5 km de diâmetro.

Figura 1- Localização do depósito de Araxá.



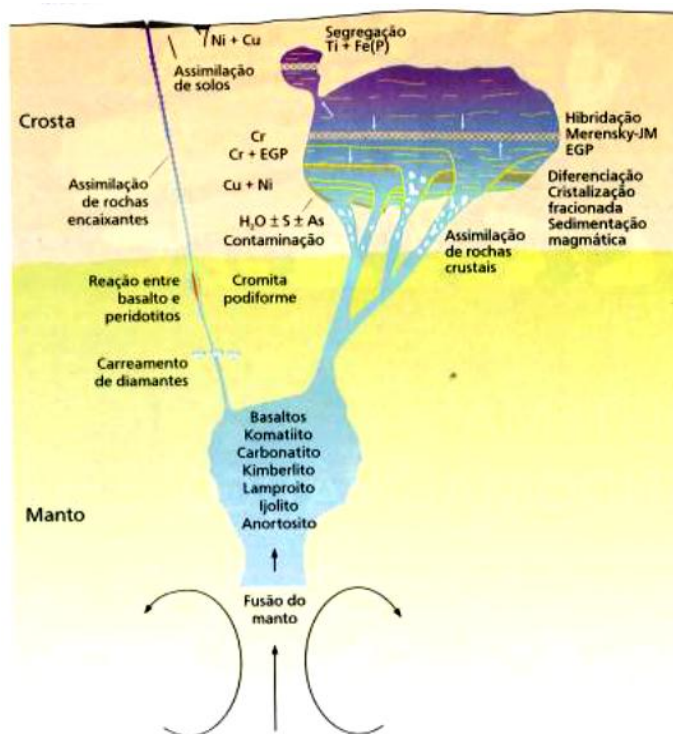
Fonte: Cruz e Filho, 2011.

Também ocorrem intrusões em quartzitos e xistos de idades proterozóica pertencentes ao Grupo Araxá, constituído por rochas ultramáficas metassomatizadas (glimeritos), cortados por carbonatitos e foscoritós. Ocorre a depósito residual de vários elementos como: Nb, P, U, Cu, Ti, ETR apresentando um perfil laterítico de 230 m de espessura (ISSA FILHO; LIMA; SOUZA,1984).

Acredita-se que o intemperismo provocou a formação da maior jazida de nióbio do mundo, com reservas estimadas em 460×10^6 t de pirocloro, a 2,5% de Nb_2O_5 (PARAISO; FUCCIO, 1981). Associado à jazida de nióbio, no mesmo complexo, ocorre uma importante jazida de fosfato, com reservas estipuladas em 123×10^6 t de apatita a 6% de P_2O_5 .

Este depósito é do tipo endomagmático, o qual pode ser separado em dois subsistemas: o subsistema endógeno e o endógeno aberto ou com influência externa. Por sua vez, o depósito endógeno apresenta outras duas repartições: depósitos plutônicos e depósitos vulcânicos (Figura 2).

Figura 2- Sistema Geológico dos depósitos endomagmáticos.



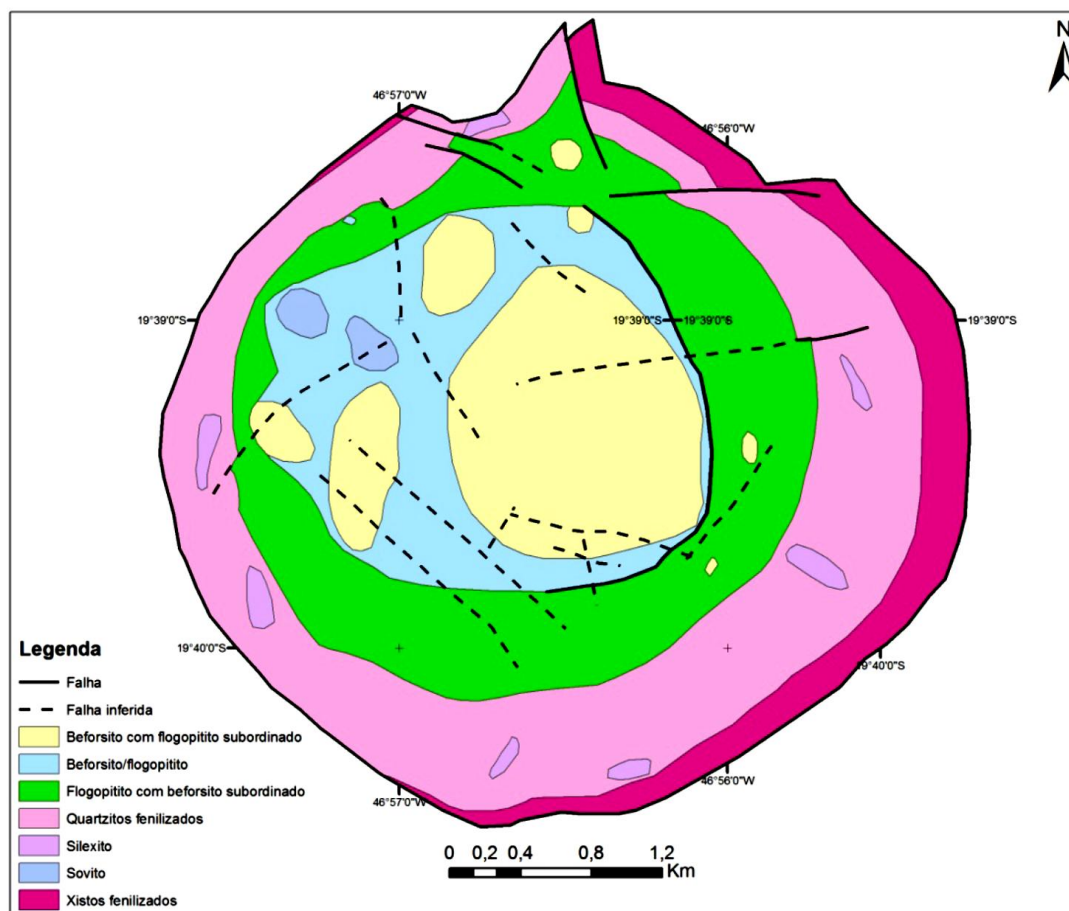
Fonte: Bionde, 2003

No que diz respeito aos depósitos endógenos plutônicos de Araxá, possivelmente os mesmos foram a formados dentro de um pluton, sem influência externa. Nessa categoria estão os principais depósitos do sistema, em dimensões e em valor. Os plutons carbonatíticos são os corpos magmáticos de maior variedade de minérios, sendo raras as intrusões desprovidas de algum tipo de concentração mineral com valor econômico.

Sabe-se que os carbonatitos geralmente ocorrem como parte de intrusões alcalino-ultrabásico com composições ijolíticas² diferenciadas, sendo estruturas vulcânicas ou plutônicas complexas com várias fases diferenciadas, mas com dimensões relativamente pequenas. Araxá é um dos maiores e o mais importante complexo alcalino-carbonatítico conhecido. O núcleo do complexo carbonático é formado por beforitos e glimeritos, com sovitos subordinados, envolvido por um anel de glimeritos que está em contato com quartzitos e xistos fenitizados. A mina de nióbio está situada em meio aos beforitos, na parte central do complexo. O qual contém minério residual e minério primário (Figura 3).

² Nefelina + augita.

Figura 3- Mapa geológico do complexo alcalino-carbonatítico de Araxá (MG).



Fonte: Cruz et al., (2011).

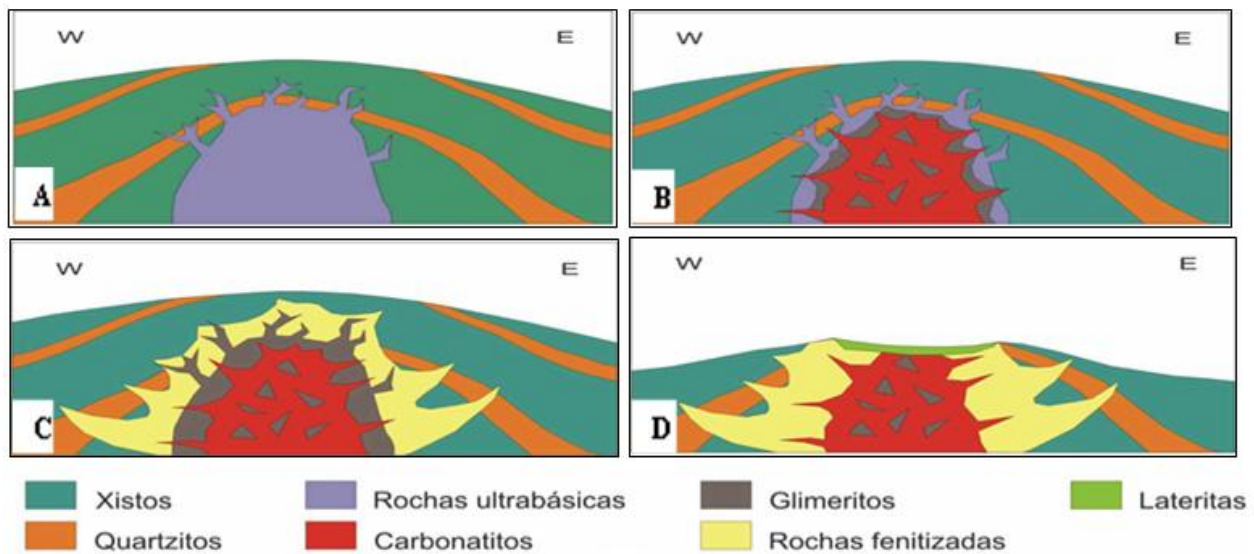
Segundo Issa Filho, Lima e Souza (1984), a ocorrência mineral em Araxá se deve à erosão em nível de meso e catazona. Primeiramente, ocorreu a intrusão de rochas ultrabásicas duníticas e peridotíticas em meio às supracrustais do grupo Araxá (Figura 4A). Em seguida, houve uma intrusão do magma carbonatítico e início do metassomatismo das rochas ultrabásicas, gerando glimeritos e fenitizando as encaixantes (Figura 4B). Por fim, houve a glimeritização das rochas ultrabásicas e a fenitização das encaixantes gerou núcleos de silexitos em meio aos quartzitos fenitizados (Figura 4C). A erosão e o intemperismo das rochas alcalinas geraram um manto de intemperismo no qual ocorreu o enriquecimento residual de minerais resistentes (Figura 4D).

O minério atualmente lavrado é do tipo laterítico ferruginoso que concentra pirocloro e apatita. Abaixo dessa crosta está o principal corpo

mineralizado. É um regolito, formado pela alteração e lixiviação do carbonatito, que concentra bário-pirocloro, apatita e monazita (Figura 4).

Nesse depósito há uma jazida de fosfato, na forma de apatita, explorada pela Mineração Arafertil, com reservas de $460 \cdot 10^6$ t de minério e teor médio de 15,07% P_2O_5 . A origem da jazida é também relacionada à alteração laterítica, que atuou desde o Terciário Inferior e permitiu a acumulação relativa da apatita (ISSA FILHO; LIMA; SOUZA, 1984).

Figura 4- Evolução do complexo carbonático de Araxá.

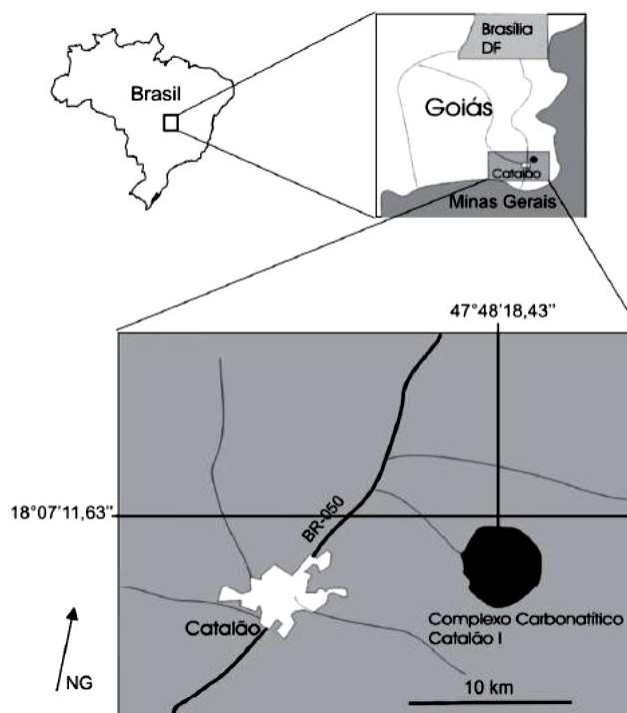


Fonte: Bionde, 2003

3.1.2 Depósito de Catalão (Go)

O complexo de Catalão está cerca de 20 km a nordeste do município homônimo, sudeste do Estado de Goiás, e 300 km a sudoeste da capital Brasília, no Distrito Federal (Figura 5).

Figura 5- Mapa de localização da área.



Fonte: Cardoso; Iannuzzi, 2006.

Descoberto em 1894, por Hussak, o Complexo de Catalão, no sudeste de Goiás (CARVALHO; BRESSAN, 1997), com dimensões de 6 km por 5,5 km, é intrusivo nos quartzitos e xistos do Grupo Araxá, intensamente fenitizados. Na região central do complexo, a depressão da lagoa é preenchida por espessos sedimentos lacustres representados por arenitos e argilitos, com idade provavelmente terciária.

É constituído essencialmente por rochas ultramáficas (piroxenitos e, provavelmente, dunitos) metassomatizadas e transformadas em flogopititos e foscoritos ricos em apatita e pirocloro, intrudidos por *plugs* de carbonatito do tipo sovito e berfosito, relativamente pobres em apatita (1 a 5% P_2O_5), mas ricos em monazita e em pirita. Destaca-se, nesse contexto, uma densa rede de

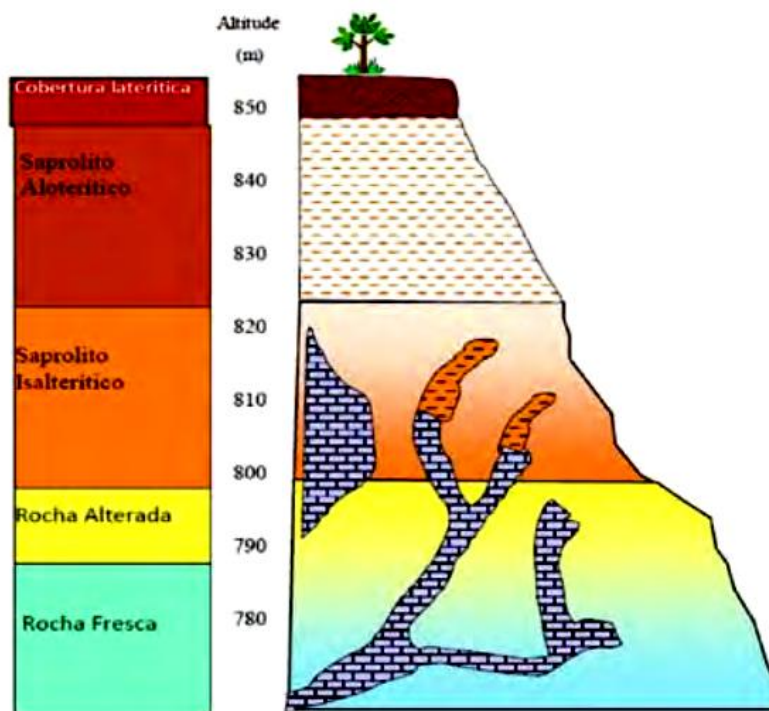
veios hidrotermais de carbonatitos ricos em apatita, posterior à intrusão dos *plugs* e desenvolvida nos flogopititos e nos foscoritos. Esses veios hidrotermais ricos em apatita representam a principal fonte do minério de fosfato explorado no Complexo de Catalão. Segundo Ribeiro et. al (2005), a fase principal do hidrotermalismo mineralizante foi sucedida por outra tardia, na forma de hidrotermalitos muito ricos em monazita. À exemplo dos casos anteriores, as mineralizações encontradas estão associadas aos processos de lateritização, que provocam acumulação residual de pirocloro e de apatita e neoformação de anatásio e de vermiculita. As pesquisas desenvolvidas pela METAGO (CARVALHO; BRESSAN, 1997) e pela Mineração Catalão de Goiás permitiram avaliar as reservas do complexo em: 440×10^6 t de minério de fosfato (com teor superior a 5% P_2O_5) mais 339×10^6 t de minério de titânio (com teor superior a 10% TiO_2), 15×10^6 t de minério de nióbio (com teor superior a 0,7% Nb_2O_5), 10×10^6 t de minério de vermiculita (com teor superior a 10% deste mineral), 15×10^6 t de minério de terras raras (com teor acima de 4% de $Ce_2O_3 + La_2O_3$). Atualmente, a Mineração Catalão de Goiás explora a jazida de nióbio com uma produção anual de 3.548 t de liga ferro-nióbio, enquanto a Ultrafértil explora a jazida de fosfato com uma produção anual de 5×10^6 t de minério (com 11% P_2O_5), o que resulta em 750.000 t de concentrado de apatita com teor de 36% P_2O_5 .

Segundo Palmieri (2011), este depósito pode ser dividido em três onas, Superior, Intermediária, e Inferior, sendo que a primeira corresponde ao minério supergênico, coincidente com o manto de intemperismo, e as outras duas a distintos domínios da mineralização em rocha fresca (minério primário).

A zona superior é formada por diferentes níveis intempéricos, representados por variações mineralógicas, como o minério caulínico-oxidado, minério do tipo silcrete, e minério micáceo. A relação direta entre o solo e a rocha é evidenciada pelas zonas estéreis intercaladas com zonas mineralizadas no solo tal qual na rocha fresca. O minério supergênico tem um fator de enriquecimento residual de nióbio de cerca de 30% devido à lixiviação principalmente dos carbonatitos. A porosidade dos solos desenvolvidos sobre as rochas intrusivas facilitou a percolação de fluidos durante o intemperismo, o que levou à formação de níveis de silcrete, preferencialmente sobre as regiões

de minério mais rico. A profundidade destes níveis é controlada pela interface entre o minério caulínico-oxidado e o minério micáceo, que representa uma superfície de contraste de permeabilidade (Figura 6).

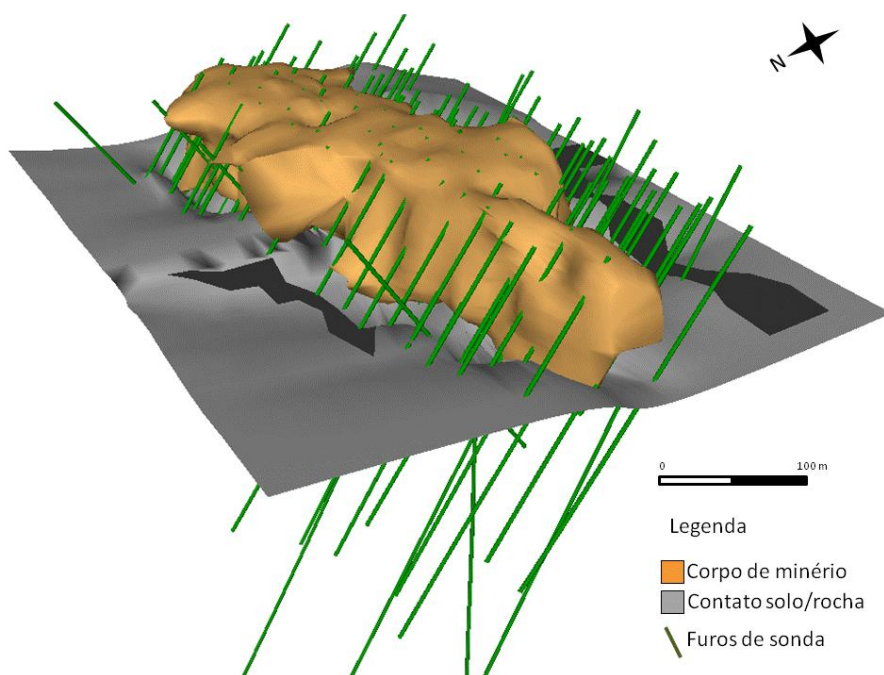
Figura 6- Representação esquemática das divisões do manto de intemperismo em Catalão I.



Fonte: Fonte: CPRM, 2015

O envelope mineralizado no solo tem orientação principal E-W, possui cerca de 70 m de profundidade, 475 m de comprimento na direção leste-oeste, e 100 m de largura na direção norte-sul e totaliza 2.981.000 t com teor de 1,69 % Nb_2O_5 (Figura7).

Figura 7- Contorno do corpo mineralizado no solo, no Depósito Morro do Padre.



Fonte: Assis (2009).

A rocha fresca foi dividida em duas zonas. A zona intermediária, sotoposta à zona superior, consiste de enxame de diques de apatita-nelsonito (N1), cálcio-carbonatito (C1), pseudo-nelsonito (N2) e magnésio-carbonatito (C2), as duas últimas predominantes nessa unidade, encaixadas em fraturas nos filitos e anfibolitos fenitizados do Grupo Araxá. A geometria dessa zona varia com a profundidade. Nas porções mais profundas, os enxames de diques de nelsonito e carbonatito estão concentrados em uma faixa estreita, que se alarga em direção à superfície. Tal comportamento está provavelmente relacionado com a diminuição da pressão litostática nos níveis superiores, permitindo a ocorrência de um maior número de fraturas abertas por onde os magmas carbonatítico e, em menor intensidade, o nelsonítico, puderam percolar (ASSIS, 2009).

A zona inferior consiste de um *sill* ou pequena câmara acamadada, onde ciclos sucessivos e rítmicos mostram a evolução dos nelsonitos N1 aos cálcio-carbonatitos C1, por cristalização fracionada a partir de um magma original nelsonítico.

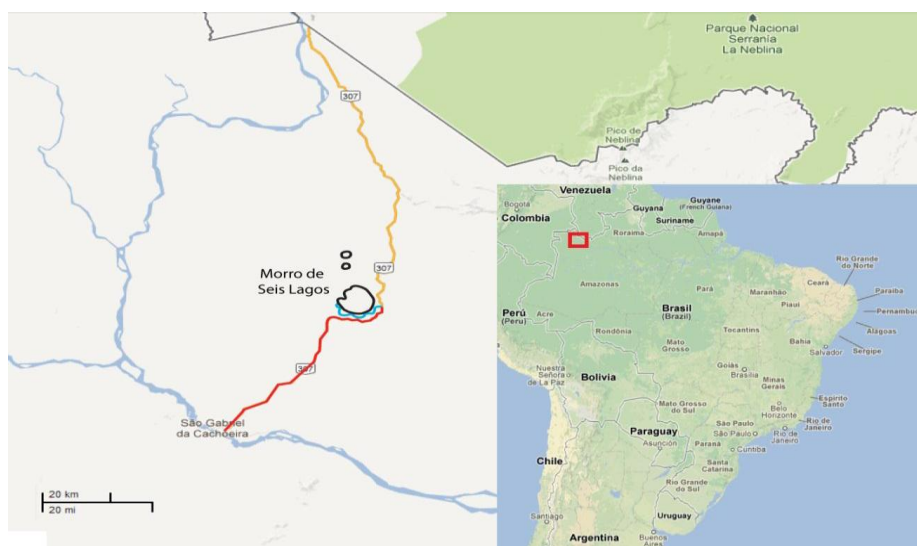
O depósito de nióbio de rocha fresca, isto é zona intermediária somada à zona inferior, possui 11.518.000 t de recursos de nióbio com teor de 1,48 %

de Nb_2O_5 . O montante total de recursos de nióbio no depósito Morro do Padre (medido + indicado+ inferido em minério primário + minério residual) é de 14.499.000 t, a 1,52 % Nb_2O_5 (PALMIERI, 2011).

3.1.3 depósito de Seis Lagos (Am)

Este importante depósito está localizado 60 km a nordeste da cidade de São Gabriel da Cachoeira no município homônimo, estado do Amazonas (Figura 8), nas cabeceiras do rio Lá, com acesso através da BR-307 e pelo Igarapé Mirim.

Figura 8- Localização do depósito de seis lagos.



Fonte: Giovanini (2013)

Este depósito está inserido na Província Rio Negro proposta por Santos et al. (2006), mantém limite a leste com a província Parima-Tapajós e comporta dois domínios tectono-estratigráficos designados de: Alto rio Negro com *trends* NE-SW, intrusivos em granitoides do tipo S, gerados a partir de fusão crustal em ambiente *sin a tardi-colisional*; e o Domínio Imeri que apresenta lineamentos com direção preferencial NE-SW (ex. serras Urucuzeiro, Imeri e Tapirapecó), além de faixas internas com deformação heterogênea associadas a expressivas zonas de cisalhamento (SANTOS et al., 2006).

O morro dos Seis Lagos foi descoberto durante o projeto RADAM, no início da década de 1970, quando foi possível observar anomalias

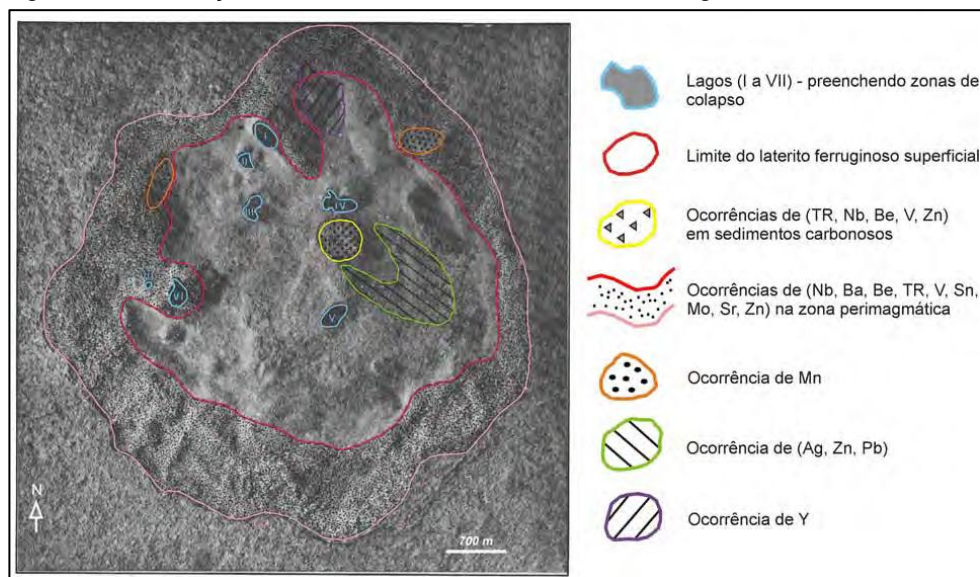
radiométricas de até 15.000 cps, em formato circular que se destacavam em meio a densa cobertura vegetal da floresta amazônica (GIOVANNINI, 2013).

Já em 1975, a Companhia de Recursos Minerais (CPRM) realizou pesquisas nesta área com base nas anomalias e quatro furos de sondagens efetuados no morro de Seis Lagos (VIÉGAS FILHO; BONOW, 1976). Neste estudo foi descoberto o maior depósito de nióbio do mundo, com uma reserva totais de $2,9 \cdot 10^6$ t de Nb_2O_5 , com teor médio de 2,81%, cuja a gênese está associada a lateritização de carbonatitos. Este depósito também apresenta concentrações residuais de ETR, principalmente de Ce e La.

As estruturas de Seis Lagos são tidas como um complexo carbonatítico do tipo siderita-ovito (ISSLER; SILVA, 1980) mineralizado em nióbio. Este é encontrado na estrutura do rutilo e da brookita (rutilo columbífero e brookita columbífera), presentes em toda canga ferrífera. Quase 70% das amostras analisadas acusam valores de 2.000 ppm (limite superior ao de detecção).

A estrutura de Seis Lagos mostra uma grande abundância de elementos químicos (Figura 9), cuja distribuição é marcada por associações do tipo Nb-Ba-Be-TR-V-Sn-Mo-Sr-Zn (zona perimagmática), Tr-Nb-Be-V-Zn (sedimentos carbonosos) e Ag-Zn-Pb-Mn-Y (em zonas bem individualizadas dentro da estrutura).

Figura 9- Distribuição dos elementos no Morro dos Seis Lagos.



Fonte: Viégas Filho e Bonow (1976).

Corrêa, Costa e Oliveira (1988) caracterizaram este depósito como constituído essencialmente por minerais de ferro (hematita, goetita) com alguns acessórios importantes, como hollandita, romanechita, pirolusita, lithioforita, florencita, cerianita, gibbsita, ilmeno-rutilo, brookita niobífera e rutilo niobífero, além de monazita, zircão e quartzo. Estes últimos foram considerados indicativos de que o substrato do morro dos Seis Lagos seria constituído por carbonatito.

Com o estudo do perfil laterítico a partir de furos de sondagens foi verificada a existência de um dique de carbonatito cortando as rochas encaixantes a 230 m de profundidade. Em relatório da CPRM este carbonatito foi descrito como sendo um provável beforsito, porém nas análises realizadas foi verificado ser um ferrocronatito, sendo a siderita o principal mineral carbonático.

O carbonatito de Seis Lagos possui cor cinza e está levemente alterado, provavelmente de natureza hidrotermal. Na descrição deste furo de sondagem também foram encontrados alguns diques de rochas alcalinas cortando as rochas encaixantes granito/gnáissicas, que estão muito alteradas.

3.2 Reservas de nióbio no mundo e no Brasil

Em face ao exposto anteriormente, agora já se pode ter uma ideia das reservas de Nb no Brasil (Tabela 1):

Tabela 1- Reserva brasileira de nióbio, em toneladas.

| Minério/Município/ Estado | Reservas Medidas | Contida (Nb₂O₅)/kg | Indicada (Contida) | Inferida (Contida) |
|---|---------------------------------|---|-------------------------------|-------------------------------|
| Pirocloro/São Gabriel Cachoeira (AM) | 38.376.000 | 1.094 | 6.019 | 79.767 |
| Pirocloro/Araxá (MG) | 105.770.851 | 2.564.571 | 1.13.064 | 5.812.660 |
| Pirocloro/Tapira (MG) | 21.590.000 | 48 | – | – |
| Pirocloro/Catalão (GO) | 594.496 | 10.181 | 78.885 | 22.700 |
| Pirocloro/Ouvidor (GO) | 170.178.042 | 3.159 | – | – |
| Colombita – Tantalita/Ariquemes (RO) | 11.588.858 | 950.000 | – | – |
| Columbita – Tantalita/Jamari (RO) | 38.376.000 | 959.034 | 78.885 | 79.767 |
| Total Reservas | 1.701.780.10⁶ | 4.488.087 | – | – |

Fonte: Adaptado de (DNPM, 2006)

O nióbio existe em diversos países, mas 93% das reservas conhecidas no mundo estão no Brasil, que atualmente comercializa mais de 90% do total consumido no planeta, seguido por Canadá e Austrália (DNPM, 2015). As reservas brasileiras são da ordem de 10.843.827 t e estão localizadas em Minas Gerais (75%), Amazonas (21%) e Goiás (3%) (Tabela 2). Há reservas de menor volume também em Roraima, mas elas, como as do Amazonas, estão em região de fronteira ou em áreas de reservas indígenas. Atualmente, não há previsão de abertura de novas minas no país além daquelas já em lavra. Em continuação, o nióbio de São Gabriel da Cachoeira (AM) requer tecnologia

específica que permita seu aproveitamento econômico (BRANCO, 2014) (Tabela 2).

Tabela 2- Total das reservas de nióbio por unidade da federação, em 10^3 ton.

| UF | Minério | Medida Nb_2O_5 (ton) | Teor (%) | Indicada 10^3 t | Inferida 10^3 t | Total 10^3 t |
|-------|----------|------------------------|----------|-------------------|-------------------|----------------|
| MG | 10^3 t | 3.851.232 | 0,61 | 15.400 | 1.100 | 649.060 |
| AM | 632.560 | 2.038.523 | 1,13 | 460.640 | 2.852.893 | 3.493.328 |
| GO | 179.795 | 97.504 | 0,32 | 39.638 | 8.208 | 77.951 |
| Total | 30.105 | 5.987.259 | 0,71 | 515.678 | 2.862.201 | 4.220.339 |

Fonte: DNPM, 2006

As reservas lavráveis de nióbio no Brasil estão nos estados de Minas Gerais, Amazonas, Goiás e Rondônia. Como já dito anteriormente, as principais reservas encontram-se em Araxá (MG) com uma reserva lavrável de $411,5 \times 10^6$ t de minério de pirocloro. Já em Goiás as principais reservas estão em Catalão com reserva lavrável de $106,8 \times 10^6$ t de minério pirocloro. Por fim, no Amazonas destaca-se o depósito de Pitinga, no município de Presidente Figueiredo com uma reserva lavrável de $159,7 \times 10^6$ t de minério columbita-tantalita e de modo menos representativo Rondônia com reservas lavráveis de $42,1 \times 10^6$ t (DNPM, 2015).

4 ECONOMIA MINERAL E MERCADO DO NIÓBIO

O Brasil é o maior produtor de nióbio e tem as maiores reservas mundiais, seguido por Canadá, Austrália, Egito, República Democrática do Congo, Groenlândia, Rússia (Sibéria), Finlândia, Gabão, Tanzânia, dentre outros. Sendo que apenas os três primeiros são produtores de nióbio (DNPM, 2015) (Tabela 3).

Tabela 3- Distribuição da reserva lavrável de pirocloro contido no minério e a produção Nb_2O_5 contido no concentrado no Brasil e outros países produtores.

| Discriminação | Reservas (t) | Produção (t) | | | |
|---------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | 2012 | 2013 | 2014 | (%) |
| Países | 2014 | 2012 | 2013 | 2014 | (%) |
| Brasil | 10.827.843 | 82.214 | 76.899 | 88.771 | 93,67 |
| Canadá | 200.000 | 4.710 | 5.260 | 5.000 | 5,28 |
| Outros | nd | 375 | 1.000 | 1.000 | 1,05 |
| Total | >11.027.843 | 87.299 | 83.159 | 94.771 | 100,00 |

Fonte, DNPM, 2015.

Os principais estados produtores de nióbio são Minas Gerais e Goiás com capacidade de produção, respectivamente, de 6×10^6 t/ano e $3,9 \times 10^6$ t/ano de minério de pirocloro. Os teores do minério variam de 0,41% a 2,71%. Em 2014, a produção nos dois estados foi da ordem de 88.771 t de nióbio contido no concentrado Nb_2O_5 , 51.737 t de liga Fe-Nb e 4.857 t de óxido de nióbio e derivados. As duas principais cidades produtoras são Araxá (MG) e Catalão (GO). O estado do Amazonas apesar de não ser produtor de nióbio tem capacidade para tal, com depósitos da ordem de 2,9 bilhões de t com teor médio de 2,81% de Nb_2O_5 (DNPM, 2015)

4.1 Aplicações

O interesse pelo nióbio deve-se a suas propriedades físico-químicas, principalmente por ser um elemento refratário de menor densidade ($8,6\text{g/cm}^3$) com ponto de fusão aproximado de 2.500°C . Na década de 1950, com o início da corrida espacial, o interesse pelo nióbio aumentou bastante e logo foram desenvolvidas ligas de nióbio, como Nb-Ti, Nb-Zr e Nb-Ta-Zr, para serem utilizadas na indústria espacial e nuclear, além de magnetos supercondutores em tomógrafos de ressonância magnética para diagnóstico por imagem. Esse importante elemento também é aplicado na siderurgia ao contrário de outros elementos refratários (FERNANDES JR., 2008) (Tabela 4). Atualmente, os principais produtos de nióbio de interesse industrial são o ferro-nióbio, o pentóxido de nióbio, as ligas grau vácuo e o nióbio metálico (SILVEIRA, 2013).

A aplicação mais importante do nióbio é como ferro-nióbio para conferir melhoria de propriedades nos aços, especialmente nos de alta resistência e baixa liga (ARBL). Para aumentar a resistência mecânica do aço, basta elevar o teor de carbono, contudo algumas propriedades do aço como soldabilidade, tenacidade e conformabilidade são prejudicadas neste caso. Para isso é adicionado uma quantidade de nióbio na faixa de 0,04%, ou seja, para cada tonelada de aço, são acrescentadas 400 gramas de nióbio (FERNANDES JR., 2008). Também permite, por exemplo, a construção de estruturas de menor peso e custo reduzido.

Este aço especial pode ser utilizado na construção de oleodutos e gasodutos e plataformas para exploração de petróleo em águas profundas, construção naval. Na indústria automobilística, o aço microligado confere alta resistência mecânica e é utilizado em chassis de caminhões e rodas de veículos. Os aços microligados também estão presentes na fabricação de barras para concreto armado (vergalhões), em construções civis, na área nuclear (fabricação de reatores nucleares), em locais de alta atividade sísmica (terremotos), na fabricação de trilhos ferroviários principalmente em curvas e desvios onde o desgaste do aço é mais intenso.

O nióbio também é utilizado em na fabricação de aços inoxidáveis, o que representa 10% do consumo mundial de nióbio. A principal utilidade deste aço está na produção de escapamentos automotivos. O Nióbio também entra na

formação do carboneto (NbC) para cilindros de laminadores e eletrodos para endurecimento superficial (FERNANDES JR., 2008).

Outra importante utilização é na liga INCONEL 718, materiais projetados para funcionar por longos períodos em atmosferas oxidantes e corrosivas, submetidas a temperaturas acima de 650° C. É uma liga a base de níquel (53%), e com teores de 5,3% a 5,5 % de nióbio e é utilizada principalmente nos motores a jato civis e militares. Por exemplo, a General Electric (GE) produz o motor CFM56 (atualmente o mais usado) contem aproximadamente 300 kg de nióbio de alta pureza. É também utilizado na indústria nuclear e criogênica e na indústria petroquímica (FERNANDES JR., 2008).

O nióbio metálico é um dos metais que mais resistem à corrosão, principalmente em meios ácidos e metais alcalino. É componente de lâmpadas de alta intensidade para iluminação pública associado ao metal tungstênio (W). Em estado puro, o nióbio encontra aplicação em aceleradores de partículas subatômicas (SILVEIRA, 2013).

O óxido de nióbio é utilizado na produção de cerâmicas finas como capacitores cerâmicos, lentes óticas, ferramentas, peças de motor e alguns elementos estruturais resistentes ao calor e a abrasão. A fabricação destes materiais requer o ONb com 99,9% de pureza é utilizado para a fabricação de peças cerâmicas, lentes óticas, condensadores e atuadores cerâmicos (FERNANDES JR., 2008).

Tabela 4- Principais aplicações do Nióbio

| Produto | Principais Produtores | Participação do mercado (%) | Aplicações | Principais Mercados |
|---|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|---|
| Ferronióbio (~60% de Nb contido) | CBMM | 90% | ARBL ³ | Indústria Automotiva Engenharia Pesada Setor Petroquímico Usinas de Energia Oleodutos e Gasodutos |
| | Anglo American | | Aço Inoxidável | |
| | IAMGOLD | | Aços resistentes ao Calor | |
| Ferronióbio Vácuo (99% Nb contido) | CBMM | 3% | Superligas | Indústria aeroespacial Setor Petroquímico |
| Nióbio Metálico (~50% - 65% Nb contido) | CBMM | 3,40% | Supercondutores | Aceleradores de Partículas Ressonância Magnética |
| Óxido de Nióbio (> 99% Nb contido) | CBMM | 3,40% | Cerâmicas Catalisadores | Óptica Eletrônica |

Fonte: IAMGOLD (2016).

4.1 Produção

No Brasil, as duas únicas empresas produtoras de nióbio são a Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) em Araxá (MG) e a Mineração Catalã de Goiás Ltda, controlada pelo grupo Anglo American do Brasil de capital britânico. Em 2008, a CBMM produziu 91,44% do total nacional produzido da liga ferro-nióbio e 100 % da produção de óxido de nióbio (FERNANDES JR., 2008). As duas mineradoras brasileiras operam a céu aberto enquanto no Canadá a mina de Saint Honoré, pertencente a Niobec *Inc* faz lavra subterrânea. Nos dois tipos de mineração são empregados processos

³ ARBL: Aços de alta resistência e baixa liga

tradicionais de desmonte e transporte do minério para as respectivas usinas de beneficiamento. Na CBMM, a usina de concentração foi projetada para beneficiar $3,5 \cdot 10^3$ t/dia de minério e possui capacidade de produção de 90 mil t/ano, com teor de 60% de Nb_2O_5 (LIMA, 2010). No entanto, as diferenças mineralógicas das duas minas obrigaram as mineradoras a aplicar diferentes técnicas para extrair, beneficiar e transformar o concentrado em liga de ferro nióbio.

Na Mineração Catalão o minério é extraído de três minas. A mina de Boa Vista tem alto teor de sílica e as duas outras contêm um alto teor de minério de ferro, o que levou a um beneficiamento separado, caso contrário, a quantidade de nióbio extraída seria muito pequena. A partir da mina, o minério é levado em caminhões convencionais até a unidade de britagem e moagem. Primeiramente, este minério é britado e moído, até atingir uma granulometria ideal, em seguida é feita uma separação magnética, o deslame e a flotação, processos físicos de onde são retiradas as impurezas. Após estes processos, ocorre o processo alumino térmico, onde todo o concentrado é transformado em ferronióbio (FERNANDES JR., 2008).

A CBMM possui uma planta significativamente maior do que a da Anglo American em tamanho e escala. A mina de pirocloro da CBMM está localizada no complexo do Barreiro, dentro de uma área mineralizada a nióbio. Esta área é circundada por uma cobertura laterítica, composta por elementos como apatita e barita. A mineração é feita a céu aberto por bancos de 10 metros de altura sem a necessidade de uso de explosivos ou qualquer outro artifício, pois o material é extremamente friável. Este minério é transportado por correia até a unidade de concentração. Primeiramente, o minério é britado e moído, até atingir uma granulometria ideal, em seguida é feita uma separação magnética, a retirada de alguns resíduos desnecessários e a flotação⁴. Na unidade de sinterização são retirados os teores de enxofre (S) e água (H_2O) e na unidade de desfosforação são retirados o fósforo (P) e o Chumbo (Pb).

Em 1980, a CBMM iniciou a produção de óxido de nióbio de alta pureza em escala industrial, passando a ofertá-lo ao mercado. O ONb é obtido diretamente do concentrado de pirocloro via deposição em ácido fluorídrico e

⁴ Para a retirada de impurezas.

posterior extração através de metil-isobutil-cetona. Em 1988, a CBMM desenvolveu novos avanços tecnológicos em sua unidade industrial de produção do óxido, estabelecendo capacidade instalada de $2.5 \cdot 10^3$ t/ano. O desenvolvimento e a disponibilidade do óxido de nióbio favoreceram a pesquisa tecnológica para a produção de ligas especiais, níquel-nióbio e ferro-nióbio de alta pureza. O processo adotado pela CBMM para a produção desses produtos foi o de redução alumino térmica. Com a utilização de um forno fabricado pela Leybold - Heraeus da Alemanha, a CBMM passou a produzir em 1989, lingotes de 650 kg de nióbio puro. O processo de obtenção de metal é o de Forno de Feixe de Elétrons - tecnologia de alto vácuo e é considerado o principal processo para purificação e obtenção do metal.

Duas tecnologias podem ser utilizadas para a produção de nióbio. Na rota do pirocloro, o óxido de nióbio é convertido em unidades de ferro-nióbio (HSLA) por intermédio do processo de redução alumino térmico ou pela redução em forno de arco elétrico. O mais comum método de produção do metal, utilizado por outras empresas, é o da redução alumino térmica a partir do óxido. Trata-se de um processo semelhante ao que é utilizado para a produção do ferro-nióbio de alta pureza e da liga níquel-nióbio. Utilizando a redução alumino térmica, a nova metalúrgica da CBMM opera processo semi-contínuo de reação, alimentada em reator fechado para a produção de ferro-nióbio "standard". A engenharia desse novo processo metalúrgico proporciona menor consumo de alumínio em pó, reduzindo a emissão de poluentes na atmosfera. A atual capacidade instalada é de 70 t/08h, sendo sua capacidade total de $22.8 \cdot 10^3$ t/ano. Em geral, o óxido de nióbio (Nb_2O_5) é utilizado para a produção de outros componentes tais como: cloreto de nióbio ($NbCl_5$), carboreto de nióbio (NbC), ou niobato de lítio ($LiNbO_3$).

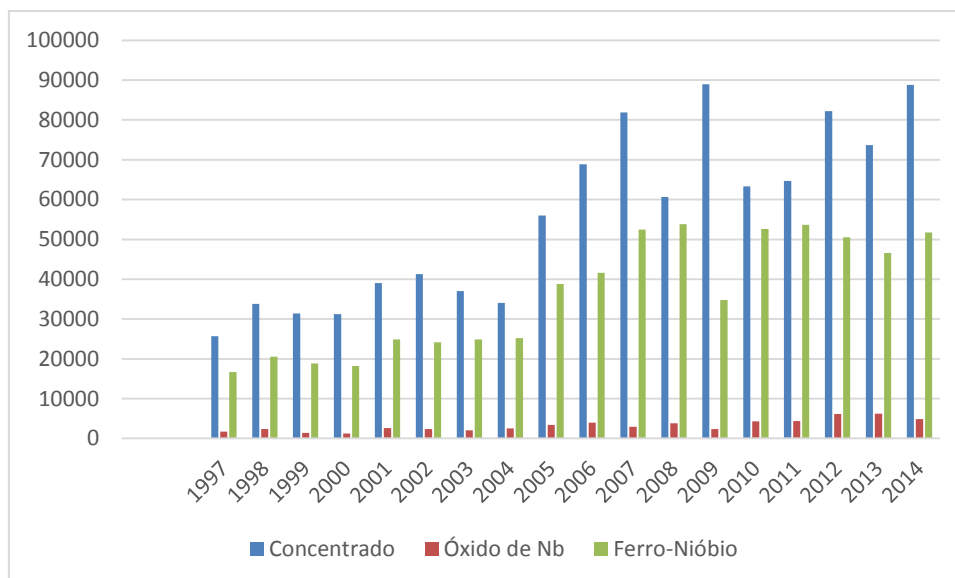
Finalmente, cabe mencionar que a COPPE conseguiu patente internacional de tinta anticorrosiva produzida à base de nióbio. A tinta patenteada poderá reduzir radicalmente os gastos em aços especiais para o setor industrial, principalmente nos setores químico e petrolífero. A tinta à base de nióbio é a primeira patente internacional obtida pela COPPE, que no momento possui 72 patentes solicitadas, sendo 14 em âmbito internacional (FERNANDES JR., 2008).

A partir da chamada “niobização” que enfatiza a aplicação de revestimento anticorrosivo à base de nióbio, a indústria petrolífera poderá utilizar aço comum, muitíssimo mais barato do que alguns aços inoxidáveis. A tinta pigmentada com nióbio, cuja patente foi concedida nos EUA, possui a vantagem de poder ser aplicada a frio. Já o método de aspersão térmica, cuja patente ainda está sendo analisada, consiste em aplicar óxido de nióbio aquecido a 300 °C com o chamado *thermal spray* (SANTOS; SILVA, 2014).

Em virtude das mais diversas aplicações, a produção mundial de nióbio vem aumentando ano após ano desde 2000, exceto em 2009, quando houve uma acentuada queda devido à recessão mundial. A participação brasileira na produção mundial situa-se, em todo o período da amostra, acima de 85% (SILVEIRA, 2013). Em uma análise comparativa da produção nacional de nióbio nos últimos 18 anos (1997-2014), mostrou um aumento de 245,84% na produção do concentrado de pirocloro, de 18,33% na produção do óxido de nióbio e de 210,15% na produção da liga ferro-nióbio (Figura 10). Já entre 1997 e 1998 verificou-se um crescimento de 31,56% na produção do concentrado e 22,99% na liga ferro-nióbio. Segundo Fernandes Jr. (2008) a construção do gasoduto Bolívia-Brasil influenciou fortemente a demanda pelo metal. As crises especulativas no sudeste asiático (1997) e na Rússia (1998) afetaram negativamente a produção de nióbio entre 1998-1999 e também no ano 2000.

Entre 2001 e 2002 houve uma recuperação na produção e comercialização dos derivados do nióbio, com um crescimento relativo entre 2000 e 2002 de 32,42% para o concentrado de nióbio e de 32,69% na produção da liga ferro-nióbio. O aumento na produção foi resultado na melhoria das vendas, do bom desempenho da indústria automobilística e aeronáutica, notadamente a europeia, em razão da exigência de metais mais leves e resistentes.

Figura 10: Produção de nióbio em toneladas entre 1997 e 2014



Fonte: Do autor. Dados, DNPM (2009 – 2015).

Em 2003, foi registrada uma queda na produção principalmente do concentrado de nióbio e do óxido de nióbio, com valores respectivos entre 2002 e 2003 de 10,44% e 12,95%. Este fato foi consequência da retração do mercado internacional, resultando na paralisação da planta de produção de óxido de nióbio e por haver oferta superior à demanda e aos estoques.

A partir de 2004, ocorre um aumento significativo da produção dos derivados de nióbio, principalmente o concentrado e a liga ferro-nióbio, em função do maior aquecimento da demanda no mercado mundial. O vertiginoso crescimento econômico dos países asiáticos na última década, principalmente a China e a Índia, contribuiu para o aquecimento do mercado de ferro-ligas, incluindo a liga ferro-nióbio, este crescimento foi mais acentuado entre 2006 e 2007, atingindo 19% da produção de concentrado e de 26,17% na produção da liga ferro-nióbio (FERNANDES JR. 2008).

A crise econômica de 2008/2009 (que atingiu principalmente os EUA, Inglaterra, Espanha e Irlanda) afetou diversos setores econômicos, alguns deles com relação direta com a cadeia produtiva do nióbio, como o da indústria automobilística e o setor de petróleo (gasodutos e oleodutos). A produção de nióbio (contido na liga ferro-nióbio), em 2009, foi de 34.746 t, 35,5% inferior ao volume produzido em 2008 (DNPM, 2010).

A produção e a comercialização dos derivados de nióbio entre 2010/2011 (liga Fe-Nb e óxido de nióbio) retornaram aos patamares de

produção bem próximos do ano de 2008 (vide tabela 2), quando ocorreu uma grave crise econômica no hemisfério norte (EUA e países da Europa Ocidental) (DNPM, 2011). Já no período entre 2010 e 2014 houve um aumento de 40,17% na produção do nióbio concentrado, devido a recuperação da economia mundial.

4.2 Exportações

Em 2014, o Brasil exportou aproximadamente 71.263 t de liga Fe-Nb, com 47.034 t de nióbio contido, aproximadamente 90% de sua produção e 880 t de óxido de nióbio. A receita gerada pelas exportações da liga ferro-nióbio foi de aproximadamente US\$ 1,7 bilhão. Os principais países importadores da liga ferro-nióbio foram os Países Baixos (Holanda) com 29% do total seguidos por China (22%), Cingapura (16%), Estados Unidos (14%) e Japão (11%). O óxido de nióbio foi exportado para o NAFTA⁵ (81%), e China (19%) (DNPM, 2015).

O Brasil não realiza importações de nióbio desde 1993, sendo autossuficiente para atender as demandas do mercado interno, além de suprir a quase totalidade da demanda mundial pelo produto. Em 1981, a CBMM programou uma política de nacionalização, estimulando outras empresas a fabricar produtos como o pó de alumínio e o cloreto de cálcio (FERNANDES JR., 2008).

Entre 1997 e 2008, houve um crescimento nas exportações da liga ferro-nióbio, tanto em quantidade exportada, quanto em valores em dólares. Em 1997, foram exportados 13.947 t da liga ferro-nióbio e em 2008, 48.562 t, um crescimento de 248,2%. Já em valores exportados, em 1997 foi de US\$ (FOB⁶) 211, 600.00 e em 2008 de US\$ 1,601,902.00, um crescimento de 557,1%. Quanto ao óxido de nióbio foi observada uma queda na quantidade e um aumento nos valores exportados de 49,4% e 45,4% respectivamente. O contínuo aumento nas exportações da liga ferro-nióbio e a redução do óxido observadas neste período, principalmente a partir do ano 2000, deu-se em função da concorrência predatória no segmento de óxido de nióbio e de ligas grau vácuo, para as quais, o óxido é a matéria prima principal. A ação da

⁵ NAFTA: Tratado Norte-Americano de Livre Comércio.

⁶ Free on board: o comprador paga o frete e o seguro.

concorrência de material proveniente de subproduto do estanho (Fe-Nb Ta) e da columbita-tantalita reprocessados na Rússia e na China levou a uma expansão na oferta de óxido no mercado (FERNANDES JR., 2008). O saldo da balança comercial dos produtos derivados de nióbio cresceu 367,76% no período analisado. Entre 2004 e 2005 registrou-se um crescimento de 83% e entre 2006 e 2007, em virtude do *boom* chinês, foi registrado um aumento de 105%. Em 2007 e em 2008, o saldo ultrapassou a barreira de US\$ 1,000, 000, 000.00.

Os Estados Unidos é um dos principais mercados do nióbio brasileiro, devido a importância desse mineral nas indústrias aeroespaciais, de defesa e de energia. (CUNNINGHAM, 2000). Além de Brasil e Canadá outros seis países exportam nióbio para o EUA: Bélgica, China, França, Alemanha, Holanda e Reino Unido. No entanto, Brasil e Canadá juntamente, correspondem por mais de 98% das importações de nióbio pelos EUA.

A Figura 10 mostra a exportação brasileira e canadense de ferro-nióbio para os Estados Unidos (Figura 11). Assim como em outros mercados, nos EUA, também, o Brasil detém maioria absoluta do fornecimento de ferro-nióbio. A participação brasileira chega em 2008 a corresponder 91% das importações totais de ferro-nióbio dos EUA. A importação americana salta de 6,6 mil t no ano de 2002 para quase 12 mil t em 2007, ano de crise nos países desenvolvidos (SILVEIRA, 2013).

A China é o principal mercado para o nióbio no mundo, consumindo cerca de 22% de todo ferro-nióbio produzido, sendo a produção doméstica desprezível. Assim a China tem sido o principal importador de nióbio dos últimos anos, sendo que 94% de suas necessidades de ferro-nióbio são importadas do Brasil (CBMM, 2014).

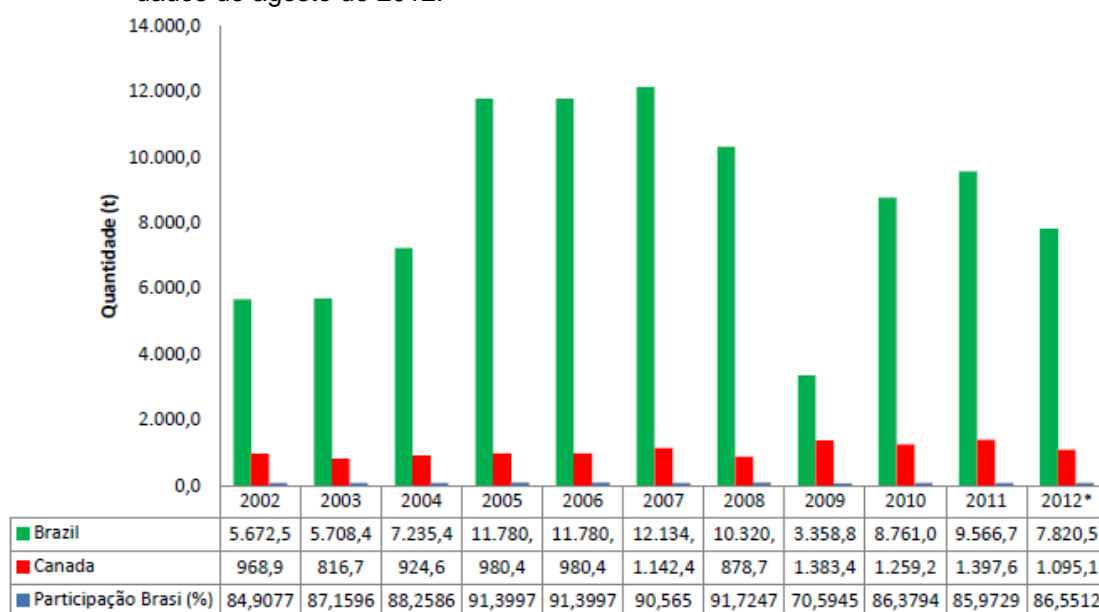
Apesar de a China ser o maior consumidor de nióbio, o consumo específico ainda é reduzido em comparação às outras economias do mundo. Como a principal aplicação do nióbio é em aços e a China ser produtora de metade de todo o aço mundial, o mercado chinês representa o maior potencial de crescimento para o mercado. Como exemplo, cite-se que enquanto as economias mais desenvolvidas utilizam de 80 a 100 g/t a China só utiliza 20g/t. Em termos de tecnologia, a China ainda precisa avançar na implementação da tecnologia dos aços com base nióbio para a indústria automobilística, embora

já esteja à frente do Brasil na adoção dos aços mais modernos, e principalmente na implementação da tecnologia dos aços base nióbio para usos estruturais.

4.3 Preço

O preço do nióbio está diretamente relacionado ao comportamento da

Figura 11- Exportação brasileira e canadense de ferro-nióbio para os para os Estados Unidos, dados de agosto de 2012.

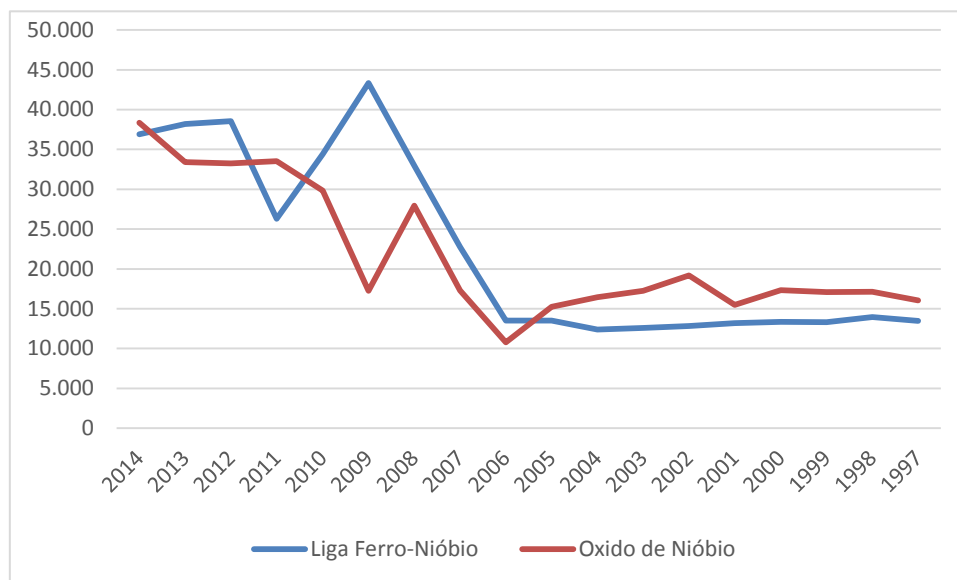


Fonte: Silveira (2013).

siderurgia e à demanda mundial pelo metal, que por sua vez está associada à realização de grandes projetos que utilizam aços fortalecidos pelo nióbio como: gasodutos, refinarias, plataformas de exploração de petróleo, etc. O preço esteve relativamente estável entre 2002 e 2006. Já entre 2006 e 2008, observa-se um forte aumento dos preços mundiais de insumos a base de nióbio. O forte aumento de preço foi reflexo, principalmente, da elevada demanda da indústria siderúrgica chinesa, da realização de novos investimentos e da renovação dos contratos, conforme já mencionado (SILVEIRA,2013). Já entre 2010 e 2014 houve uma relativa estabilização dos preços das ligas de Ferro-nióbio e de óxido de nióbio, com valorização de aproximadamente 40% (Figura 12)

A evolução dos preços do ferro-nióbio no mercado americano. Em 2002 o preço do ferro-nióbio era de US\$ 8,13/kg. Em 2012 esse preço saltou para US\$ 28,26/kg. Um crescimento de 247%.

Figura 12- Evolução do preço das ligas de Ferro-Nióbio e de oxido de Nióbio entre 1997 e 2014



Fonte: Do autor. Dados; DNPM, 2009 - 2015

5 POLÍTICA MINERAL DO NIÓBIO

Para se compreender a atual política mineral do nióbio, no Brasil e no mundo, é preciso retomar a história desse importante bem mineral. Durante a década de 1950, foram descobertos dois importantes depósitos, um no Canadá (Oka) e outro no Brasil (Araxá), mas até então, a aplicação era limitado pelo custo elevado. Com a produção primária de nióbio houve um ganho de importância no desenvolvimento de materiais de engenharia (Fernandes Jr. 2008), uma vez que, esse período marcou o início das corridas armamentista e espacial entre os EUA e a antiga URSS, o que impulsionou o desenvolvimento de ligas metálicas. Atualmente, o principal mercado para o nióbio é na área siderúrgica, pois a adição de 100 gramas de ferro-nióbio na composição do aço aumenta a resistência, a tenacidade e também diminui o peso das estruturas metálicas (IBRAM, 2012).

Todavia, a importância estratégica dos recursos brasileiros de nióbio é reduzida e está associada ao desenvolvimento tecnológico ligado a ele. O exemplo de desenvolvimento tecnológico do metal e suas aplicações ao longo de quase seis décadas pela CBMM – Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração podem ser usados como referência para o desenvolvimento de outros bens minerais presentes no País (CBMM, 2014).

De fato, o nióbio tem sido incluído em várias relações de minerais críticos. Estudos realizados pelos EUA, União Europeia, Japão e Coreia do Sul dão ao nióbio posição de destaque, pois o fornecimento está concentrado em um único país (atualmente mais de 90% do suprimento), qual seja o Brasil. Preocupações de cunho militar e de preservação de setores produtivos críticos não são relevantes, principalmente porque representam uma fração minúscula dos usos do nióbio, que, como já explicado, é principalmente utilizado pela indústria siderúrgica (CBMM, 2014).

O analista John Kaiser ressalta que as grandes empresas de mineração são normalmente refratárias a investir em minas desses minerais críticos porque não podem prever a demanda resultante de políticas variadas, inovações imprevisíveis e pequena escala dos projetos (KAISER, 2011). Elas se sentem mais seguras ao lidar com a demanda dos minerais tradicionais (ferrosos, não ferrosos, metais preciosos e diamante). De fato, somente a

MOLYCORP é conhecida internacionalmente há décadas, tendo tradição no ramo das terras raras desde 1952. Em 1977 ela foi incorporada pela Unocal (Union Oil of California) e seu valor de mercado atingiu US\$ 4,98 bilhões em maio de 2011. Foi sócia da CBMM em Araxá durante algumas décadas, tendo vendido a totalidade de suas ações para a família Moreira Salles em 2007

5.1 Nióbio mineral crítico e estratégico

Segundo Villas Boas (1992) a classificação de um mineral como estratégico depende do país e de suas necessidades. Quanto à diferença entre mineral crítico e estratégico reside no fato de que o primeiro ao ter seu fornecimento ameaçado ou interrompido gerar prejuízo econômico. Já o segundo está ligado ao uso militar e defesa nacional. Porém nem todo mineral crítico é estratégico, mas todo mineral estratégico é crítico.

Portanto, a definição de quais são os minerais ou recursos naturais críticos depende de cada país: o risco de acesso depende da disponibilidade do recurso natural, a importância econômica depende do grau de desenvolvimento tecnológico e de como a riqueza do país é gerada. A lista dos minerais críticos de um determinado país varia ao longo do tempo: depende do avanço da tecnologia global e nacional, da evolução das relações comerciais e políticas do país com os países fornecedores (VALÉRIO, 2013).

Para os especialistas da União Europeia (UE), a matéria-prima é considerada crítica quando os riscos de pouca oferta, bem como seus impactos sobre a economia são mais altos quando comparados com a maioria das outras matérias-primas. O conceito de mineral crítico adotado pela UE abrange as seguintes *commodities*: antimônio, berílio, cobalto, fluorita, gálio, germânio, grafita, índio, magnésio, MGP⁷, nióbio, tântalo, ETR e tungstênio. O estudo também revelou que o alto risco da oferta se baseia no fato de que uma fatia considerável da produção mundial provém de poucos países, O nióbio está nessa lista devido a sua ampla utilização em micro capacitores, ferro-ligas e pelo fato de haver quase que um monopólio por parte do Brasil (MACHADO, 2011).

⁷ Metais do Grupo da Platina.

Já para os EUA, o caráter crítico dos minerais foi abordado segundo uma Matriz de Criticidade, onde um eixo vertical se refere ao impacto da oferta ou restrição e o eixo horizontal diz respeito ao risco da oferta (Figura 13).

Figura 13:Matriz de Criticidade (EUA).



Fonte: Modificado de Eggert (2008)

Nessa matriz, o mineral mais crítico de todos é o ródio (MGP), situado no campo superior direito da figura. O que oferece o menor risco é o cobre, mas o impacto da sua escassez será maior que do vanádio, titânio e lítio. O nióbio é considerado de médio a alto risco da oferta (nível 3) e com médio a alto impacto da oferta (nível 3). Esta classificação diz respeito à maneira como o Brasil é percebido pelo comitê de especialistas, devido à posição privilegiada do Brasil como fornecedor desta *commodity* para o mercado americano (EGGERT, 2008). Atualmente, os especialistas americanos rejeitam a qualificação de mineral estratégico, preferindo designá-los de *minerais críticos*.

O Japão prefere a designação de *metais raros* em contraposição a metais críticos. Contudo, admite-se que as duas expressões sejam equivalentes. Porém, especificamente o nióbio não é considerado um mineral

raro para os pesquisadores japoneses, embora o mineral tenha sido alvo de uma investida de capitais japoneses e coreanos através da compra de 15% das ações da CBMM, maior produtora nacional de nióbio, no dia 03/03/11. O consórcio comprador é formado pela Nippon Steel, JFE Holdings, Sojitz Corp, Posco e NPS, estas duas últimas coreanas.

Como já dito anteriormente, a China é o principal mercado para o nióbio no mundo ao consumir cerca de 25% de todo ferro-nióbio produzido e ter 94% de suas necessidades de ferro-nióbio importadas do Brasil (CBMM, 2014). Como comparação, vê-se que Brasil produz cerca de 30 milhões t/aço/ano e já a China responde por 740 milhões t/aço/ano ou cerca de metade do aço produzido em todo o mundo (CBMM, 2014). Contudo, a concentração de nióbio no aço chinês é de apenas 20g/t enquanto no brasileiro varia de 80g/t a 100g/t.

Devido a essa baixa concentração de nióbio no aço chinês, as empresas brasileiras vêm desenvolvendo programas, desde a década de 1970, para o desenvolvimento desse importante mercado. Os quais já vêm mostrando resultados satisfatórios, como a adoção por parte dos chineses da tecnologia dos aços ao nióbio empregados em tubulações de transporte de gás. As especificações que limitavam o teor de nióbio em tais aços foram modificadas para permitir o uso da tecnologia mais avançada e eficiente neste campo de aplicação (CBMM, 2014).

No Brasil a abordagem da questão do mineral crítico obedece a outra lógica, diferente daquela adotada nos blocos de países consumidores, considerados acima, em função de ser o Brasil uma nação em desenvolvimento. O conceito de mineral crítico admite aqui duas categorias distintas: bem mineral cuja falta ou escassez cria problemas graves para a economia do País; bem mineral com elevado potencial para exportação pelo fato de ser considerado crítico pelos países importadores, ou com grandes chances de propiciar alto valor agregado se produzido no Brasil (MACHADO, 2013).

O nióbio é considerado um mineral crítico devido ao grande volume de exportações, e é classificado como um metal não convencional. A falta desse mineral não afetaria o país de forma direta, mas sim de forma indireta, devido ao desabastecimento do mercado nacional.

Machado (2013) acredita que enquanto o Brasil não tiver um parque industrial de empresas *high-tech* de capital nacional, a escassez de matérias-primas afetará a nossa economia de modo indireto, refletindo-se no preço e disponibilidade de produtos que contêm esses materiais raros. Esta situação é semelhante a aquela que enfrentarão outros países como Argentina, México, Espanha, Turquia, Índia e tantos outros com uma base tecnológica ainda incipiente ou incompleta.

5.2 Política brasileira para o nióbio

Como já visto anteriormente o nióbio é um mineral de grande importância para indústria, tendo a aplicação em diferentes setores da economia, o que o torna um mineral estratégico, logo sua falta causaria grandes transtornos para a comunidade internacional, principalmente para os países desenvolvidos, principal compradores. Como já se sabe esse mineral apresenta quase que 90% de suas reservas depositadas no Brasil, o que torna este país alvo de interesses de empresas internacionais, bem como de outros governos, como comprovado via Documento do Departamento de Estado dos EUA, que veio a público em 2010 no caso *Wikileaks*, que inclui as minas brasileiras na lista de locais considerados estratégicos para a sobrevivência dos EUA. O interesse também pôde ser observado em 2011 quando um grupo de companhias chinesas, japonesas e sul-coreanas adquiriram por US\$ 4 bilhões 30% do capital da brasileira CBMM (ALVARENGA, 2013).

Uma corrente da sociedade brasileira, formada principalmente por militares e acadêmicos, apontam para a necessidade do governo brasileiro ter um maior controle sobre a comercialização do nióbio, já que nações como a China, maior produtor mundial de aços, necessita cada vez mais deste mineral para manter seu ritmo de crescimento, assim como para os países que têm no aço ou em setores de alta tecnologia importantes vetores da economia (BOGO, 2011).

Além disso, o governo brasileiro ainda não prevê nenhuma abordagem específica para o nióbio dentro das discussões sobre o novo marco regulatório da mineração. A oferta de nióbio está praticamente toda nas mãos das duas gigantes privadas que atuam no país sem que haja a articulação de uma

política de desenvolvimento de um parque industrial nacional consumidor de nióbio. Por outro lado, as exportações de ferro-nióbio contribuem para o *superávit* da balança e o metal é hoje o 3º item mais importante da pauta mineral de exportações (ALVARENGA, 2013).

Segundo Gomes Paula (2010) é necessária uma ação do governo brasileiro aos moldes da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo), para que haja um maior controle sobre o preço do nióbio. Por exemplo, uma turbina de jato, que custa milhões de dólares, leva em sua fabricação 300 kg de nióbio, que é vendido a US\$ 400/kg, segundo a Bolsa de Metais de Londres. Ou seja, num equipamento de milhões de US\$ se gasta poucos dólares com um mineral, sem o qual a turbina não poderia ser viabilizada.

Contudo a sua utilização garante alto desempenho em setores relacionados à siderurgia, sobretudo na produção de aços de alta resistência. Hoje, o nióbio já pode ser considerado um insumo essencial para indústria aeroespacial, de óleo e gás, naval e automotiva. Contudo, alguns autores como Alvarenga (2013) opinam que por não se tratar de uma fonte de energia primária ou de alto nível de consumo como o petróleo, a proposta da criação de uma OPEP do Nióbio é infundada, pois o aumento do preço desse insumo favoreceria a abertura de novas minas ao redor do mundo.

Há também especulações quanto ao real preço do nióbio no mercado exterior, pois há suspeitas de subfaturamento, pode-se inferir um preço médio do mineral da ordem de US\$ 11 mil/t, o que gera hoje cerca de US\$ 600 milhões na balança brasileira de pagamentos (BOGO, 2011). De modo geral, há uma grande controvérsia sobre o valor do minério, pois se especula que no mercado negro o preço chega a ser de US\$ 500/kg, ou seja, US\$ 500.10⁶/T, o que muda radicalmente o panorama da balança de pagamentos. A considerar este valor e a exportação de 50.000 t/ano, teríamos US\$ 25 bilhões a mais na balança de pagamentos, contudo isso não pode ser comprovado, pois os preços não são negociados em bolsas e as produtoras possuem subsidiárias em outros países (ALVARENGA, 2013).

Segundo Gomes Paula (2010) há também suspeitas que o nióbio é contrabandeado do Brasil. Todavia, mesmo que esse mineral seja considerado nobre e encontrado em poucos países, o preço está muito distante do valor do

ouro. Segundo estatísticas oficiais, a liga ferro-nióbio foi comercializada em 2012 pelo preço médio de US\$ 26, 500/t. Já cotação média da onça do ouro (31,10 gramas) foi de US\$ 1, 718/t. Apesar do seu uso crescente e das inúmeras possibilidades de aplicação, o nióbio não tem a importância e o valor que possuem, por exemplo, o ouro e o petróleo (BRANCO, 2013).

Embora as reservas nacionais sejam de classe mundial (842,46 milhões de toneladas), há quem tema que elas estejam sendo lavradas de modo inadequado, com risco de o nióbio vir a faltar no futuro. Segundo Branco (2013), a preocupação não procede. Somente em Araxá (MG), há reservas para 200 anos, no atual nível de consumo. E as reservas de Rondônia e do Amazonas sequer entraram em produção ainda.

Outra informação sem fundamento que tem sido divulgada é que a produção não aumenta por motivos obscuros e antinacionais. A afirmação carece de fundamento porque, se o mercado mundial fosse inundado por uma grande produção de nióbio, ainda que todo ele fosse brasileiro, a tendência seria seu preço cair acentuadamente. Rogério Cerqueira Leite, renomado físico brasileiro, lembra que dominar o mercado mundial como o Brasil domina é mais um obstáculo que uma vantagem, pois nenhum consumidor gosta de depender de um único fornecedor. Muitos deles preferem evitar essa dependência usando substitutos do nióbio, como vanádio, tântalo e titânio, ainda que mais caros (BRANCO, 2013).

6 IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS DA MINERAÇÃO DO NIÓBIO

Nas últimas décadas o conceito de desenvolvimento sustentável resultou no aumento das pressões da comunidade internacional para melhorar a eficiência da utilização dos recursos naturais e a redução da geração e emissão de resíduos. Neste contexto, pode ser incluída a indústria metalúrgica que é uma das maiores consumidoras destes recursos e de energia e grande geradora de resíduos (ALVES, 2015).

Os principais impactos causados pela atividade de mineração correspondem à contaminação do lençol de água subterrânea e dos rios, a poluição do ar e do solo, os impactos sobre a fauna e a flora, assoreamento, erosão, mobilização de terra, instabilidade de taludes, encostas e terrenos em geral, lançamento de fragmentos e vibrações, além da poluição visual e sonora (ALVES, 2015).

5.1 Impactos socioambientais em Araxá e Catalão

5.1.1 Araxá (MG)

Araxá é um município brasileiro do estado de Minas Gerais, na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Sua população estimada em julho de 2015 era de 102.238 hab. (IBGE, 2015). O município possui mineralizações de apatita (utilizada na produção de fosfato e fertilizantes) e de pirocloro (fonte de nióbio e tântalo), localizadas no Complexo Alcalino do Barreiro. Além disso, urânio e tório aparecem na região em minerais secundários, sujeitos a processos intempéricos.

O estado de Minas Gerais, por meio da Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG), é o detentor da jazida de nióbio de Araxá. A Companhia Mineradora do Pirocloro de Araxá (COMIPA) é a empresa arrendatária dos direitos de lavra do minério de pirocloro, concedidos não só à CBMM, como também à CODEMIG (SUPRAM, 2009)

Diversos programas de contribuição social são desenvolvidos para os funcionários da empresa em Araxá, abrangendo saúde, educação, moradia e um fundo de pensão. A comunidade local também foi contemplada com a

construção e equipagem do SENAI/SESI, centro com diversos cursos profissionalizantes. A CBMM investe também em projetos ambientais, como a construção e manutenção de viveiros e criadouros para espécies ameaçadas da região e de um núcleo de educação ambiental (PINTO et al., 2011).

A despeito de sua contribuição para a comunidade, pesquisas demonstram a complexidade das relações da empresa com o meio ambiente, em função da natureza do próprio minério com que trabalha. No processo produtivo do nióbio é necessário verificar a presença de minerais radioativos, terras raras, bário, cloro, dentre outros elementos, fontes potenciais de impactos ambientais. Além disso, outros efeitos colaterais comuns à mineração se destacam, como a supressão de vegetação, a modificação do relevo, a emissão de efluentes líquidos e de particulados, e a própria verticalização da cadeia produtiva na indústria da transformação mineral (PINTO et al., 2011).

O primeiro conflito entre uma parte da comunidade e a empresa se deu em 1982, quando foi detectado que as águas subterrâneas situadas a jusante da Barragem 4 do complexo da CBMM estavam contaminadas por bário, um metal considerado potencialmente tóxico. Apesar da presença natural de um alto *background* natural do elemento, foi comprovada a contaminação pelos efluentes do processo de lixiviação do minério. A CBMM assumiu a responsabilidade pelo ocorrido, passando a adotar procedimentos de controle, monitoramento e neutralização de possíveis danos (PINTO et al., 2011).

Já em fevereiro de 1991, em função de uma inversão térmica, não houve dispersão do material processado pela empresa CBMM, e todo o resultado da combustão no processo metalúrgico foi lançado diretamente na atmosfera de Araxá (ROCHA, 2008). A CBMM garantiu que apenas óxido de alumínio havia sido emitido, e que, na proporção em que aconteceu, não era prejudicial à saúde. Entretanto, a ecóloga Rosângela Rios relatou, à época, que, possivelmente, a cidade pode ter sido submetida à chuva ácida, resultante da combustão do ácido clorídrico. Afirmou também que deve ter sido lançado radônio na atmosfera da cidade, uma vez que, quando os minerais radioativos não voláteis são queimados, parte deles é liberada. A empresa, mesmo não confirmando tais informações, passou a usar filtros antipoluentes (ROCHA, 2008).

Em Araxá, o urânio aparece também associado ao pirocloro (NOGUEIRA, 1984). Estudos sobre o processo operacional de uma indústria de lavra e beneficiamento de nióbio no Brasil demonstraram aumento da concentração de elementos radioativos nos resíduos da lixiviação e na escória. Do ponto de vista gerencial, tais rejeitos devem ser separados dos demais, e os locais onde serão depositados devem ser isolados de forma a evitar que qualquer pessoa (trabalhadores ou não) seja exposta à radioatividade (ALVES, 2015). O beneficiamento do pirocloro também produz como um dos produtos finais, cloreto de bário, sal altamente solúvel, que foi lançado em uma barragem de rejeito de onde contaminou o aquífero subjacente (BEATO, VIANA; DAVIS; 2004).

Em 2004, foi detectada a presença desses elementos radioativos em alta concentração em águas superficiais e subterrâneas. Os resultados apontaram a ocorrência de um maior transporte de radiação pelas águas subterrâneas em relação a águas superficiais. Como recomendações foi sugerido a realização do monitoramento hidroquímicos e também de análises sistemáticas semestrais (MANCINI; BONOTTO, 2004).

Já em 2008, constatou-se que a água consumida pelos moradores do Barreiro estava contaminada por bário (JORNAL DE UBERABA, 2009), com teores de 1,07 mg/l, sendo que o valor máximo permitido (VMP) para o consumo da substância é de 0,7 mg/l. Diante deste cenário, uma ação judicial foi movida contra a CBMM e Bunge Fertilizantes, pedindo indenização de R\$ 16,3 milhões para as cerca de 120 famílias que moram no complexo (DIÁRIO DE ARAXÁ, 2008).

5.1.2 Catalão (Go)

Catalão é um município brasileiro do estado de Goiás. Sua população em 2015 é de 98.737 hab. e seu PIB recenseado em 2008 é de mais de R\$ 4,348 bilhões, o que o coloca como a terceira maior economia de Goiás (IBGE, 2015).

A exploração mineral no município é baseada na extração e beneficiamento de fosfato e nióbio, com atuação das empresas: Anglo

American Nióbio *Ltda*, Anglo American Fosfatos *Ltda*. e por último, a empresa Vale Fertilizantes (GONSALVES; MENDONÇA, 2015).

Os impactos ambientais da mineração de nióbio em Catalão afetam principalmente as comunidades agropecuárias de Coqueiro e Macaúba, os camponeses são impactados pela atividade mineral, principalmente pela localização das minas (Figura 14). A Comunidade Macaúba presencia os impactos da mineração desde as décadas de 1960 e 1970, com expropriação do campesinato e transformação de camponeses em operários da indústria mineral. Além disso, os impactos ambientais como poluição sonora, do ar e das águas, além da degradação das paisagens locais ameaçam as condições de existência e reprodução coletiva dos camponeses (GONSALVES; MENDONÇA, 2015).

Figura 14- Ao fundo, o depósito de estéril com os taludes em ascendência. Em área acima das nascentes do córrego que passa ao fundo da propriedade.



Fonte: Gonsalves e Mendonça, 2015

Os efeitos da atividade mineral vão dificultando cada vez mais as vidas dos camponeses. Uma das causas diretas disso são os impactos na água. A posição das pilhas de estéril não gera apenas a poluição visual, mas também atinge a principal fonte natural da existência das famílias, as nascentes de

água. Essa pilha de rejeitos localiza-se num divisor de águas, onde estão algumas das principais nascentes que irrigam os córregos, pequenas barragens e regos locais. Por isso, as intervenções geradas pelos empreendimentos de mineração impactam diretamente as nascentes (GONSALVES; MENDONÇA, 2015).

A análise desenvolvida por Harvey (2012) deixa exposta a natureza espoliadora exercida pelo capital na sociedade contemporânea. Neste sentido, a mineração exemplifica as contradições do capital. O Brasil e a América Latina, de forma geral, emergem como os principais fornecedores de recursos minerais para o mercado global, reconfigurando o papel geopolítico desses territórios. Isso leva a uma ampliação do capital nesses países subdesenvolvidos, contudo essa acumulação ocorre de maneira desigual, já que há uma marginalização das populações tradicionais, da força de trabalho e uma degradação do meio ambiente local, como pode ser percebido nas comunidades agricultoras de Catalão.

6.2 Avaliação do ciclo de vida (acv) do nióbio

Segundo Alves (2015), o beneficiamento do minério consiste de um processo que agride a natureza, por meio da geração de enorme quantidade de resíduos sólidos que não são reaproveitados, além da degradação causada pela extração superficial do minério, da geração de resíduos líquidos e da emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera. Por outro lado, do ponto de vista tecnológico o uso do nióbio na metalurgia é necessário para a produção de inúmeros tipos de ligas metálicas, amplamente usadas em diversos setores industriais, assim como em inúmeros campos da ciência e tecnologia.

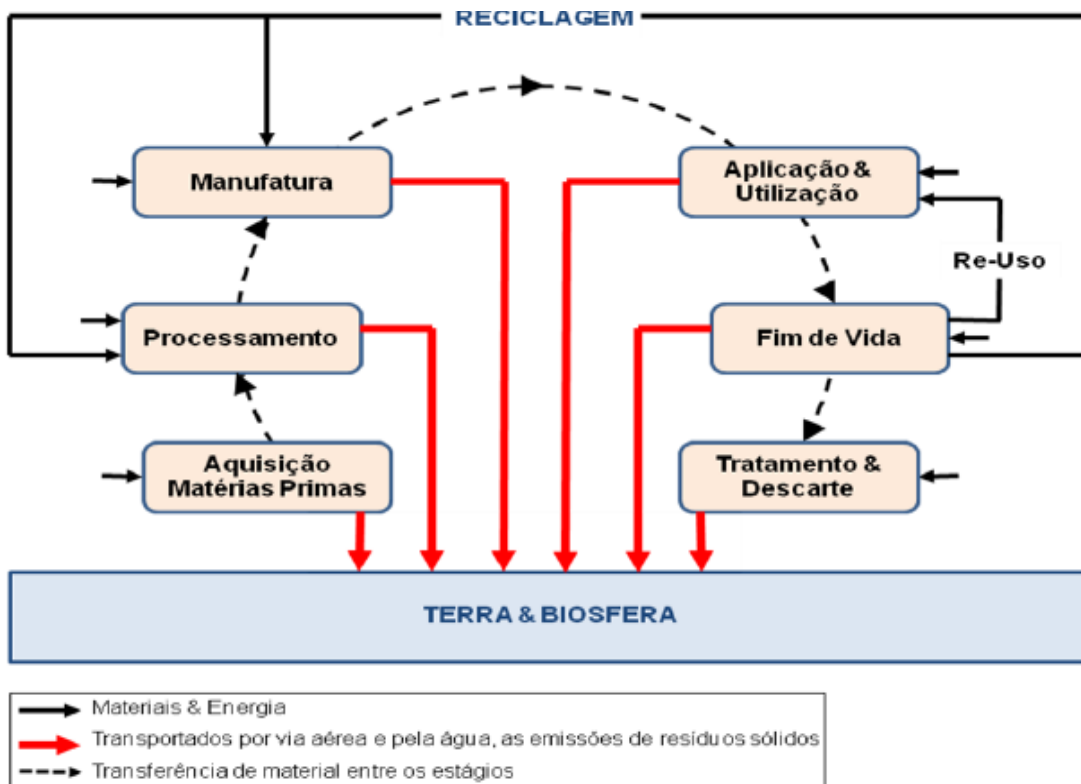
A elaboração do ciclo de vida dos produtos, por meio da reutilização de materiais, complementa o processo de desmaterialização, que é definido como: *a redução da quantidade de energia e de materiais necessários para atender as funções econômicas*. Entre os materiais usados pela sociedade, os metais apresentam vida útil limitada, natureza não biodegradável, além de serem provenientes de fontes não renováveis, i.e., com disponibilidade natural limitada. Não obstante, os metais apresentam enormes potenciais para

reciclagem, o que permite contribuir para a redução do impacto causado ao meio ambiente, que é resultante de sua exploração e beneficiamento (NORGATE; RANKIN, 2001).

De acordo com a Organização Internacional para Padronização (ISO), a ACV é definida como: *a compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida*. As normas ISO descrevem um conjunto de protocolos para a realização de um estudo de ACV, dividido em quatro fases distintas: a definição do objetivo e do escopo, a análise de inventário, a avaliação de impacto e a interpretação (BAUMANN; TILLMAN, 2004).

Nesse sentido, a Figura 15 mostra o diagrama do ciclo de vida do processo de produção dos metais, com base nos conceitos de sustentabilidade.

Figura 15- Diagrama simplificado para avaliação do ciclo de vida dos metais.



Fonte: Alves, 2015

A aquisição das matérias primas relacionada à exploração de metais, apresenta um enorme gasto de energia com as máquinas usadas na lavra e

transporte do minério bruto da mina até o pátio de homogeneização, como também com os resíduos transportados para o aterro, Por outro lado, nos últimos anos estão sendo feitos trabalhos com vistas ao reaproveitamento de componentes metálicos presentes nos tanques de rejeitos, por exemplo, a recuperação de terras raras como cério, lantânio, neodímio e praseodímio (GEOFÍSICA BRASIL, 2012).

Nas etapas de processamento e de manufatura, ocorre o maior consumo de energia, além da entrada de outros insumos, como reagentes e água, de materiais que são reutilizados no processamento do nióbio. Por outro lado, ocorre a geração dos resíduos que podem ser reutilizados e os que são lançados na barragem de rejeitos, ou os que são enviados para aterros (ALVES, 2015). No caso do nióbio, os rejeitos gerados no processo de beneficiamento do minério de nióbio são provenientes das etapas de separação magnética, deslamagem e flotação (Figura 16).

O aproveitamento de rejeitos torna-se mais atrativo à medida em que se torna viável a comercialização desse rejeito como uma forma de subproduto. Nesse sentido, tem sido realizadas pesquisas para o desenvolvimento de novas tecnologias com objetivo de reaproveitamento de subprodutos oriundos dos rejeitos que apresentem valor agregado, de modo a contribuir com as questões de sustentabilidade da mineração, além de obter benefícios financeiros (Alves, 2013).

Segundo Menezes, Neves e Ferreira. (2002), do ponto de vista econômico, as principais razões que motivam os países a reciclar seus rejeitos são: a maior demanda por recursos minerais, o esgotamento das reservas de matérias primas de origem mineral, visto que não são recursos renováveis, o crescente volume de resíduos sólidos, que põe em risco a saúde pública, que ocupa espaço e degrada os recursos naturais. Além disso, a reciclagem preserva os principais insumos de matérias-primas minerais e reduz a necessidade de abertura de novas minas com impactos ambientais associados. Em muitos casos, o processamento secundário de matérias-primas minerais é ambientalmente menos nocivo e necessita de menos energia do que a produção de matérias-primas minerais primárias.

Figura 16- Unidade de concentração: (A) Separadores magnéticos; (B) Saída da Magnetita; (C) etapa de Deslamagem; (D) Etapa de Flotação.



Fonte: LEMOS JÚNIOR, 2012

Figura 17- Barragem de Rejeitos.



Fonte: CBMM, 2014.

No caso da Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM, 2014) foi iniciada em maio de 2012 a produção de concentrados refinados de terras raras em sua unidade de Araxá (MG) (Figura 17). Os metais são extraídos dos rejeitos de nióbio, e a produção atinge a 3 mil t/ano de concentrado. A partir desses rejeitos a mineradora extrai duplos sulfatos e hidróxidos de metais como neodímio e praseodímio, em processo até então inédito no Brasil. É a primeira vez no mundo que as terras raras são obtidas como subproduto da produção de nióbio (GEOFÍSICA BRASIL, 2012).

Os resíduos sólidos gerados a partir do beneficiamento do nióbio podem ser classificados em diferentes grupos, segundo Alves (2015). Caracterizados em função da procedência natural, das etapas do processo de beneficiamento, de produção do metal, das diversas formas de aplicação industrial e de seus subprodutos.

Estéril – consiste de material proveniente da mina sem teores minerais de interesse para o aproveitamento industrial, que é retirado para viabilizar as operações de lavra. Não é perigoso e, portanto, depositado a céu aberto;

Escória de aluminatos – corresponde aos resíduos gerados na unidade de metalurgia, para produção de ferro-nióbio tipo *standard*. Compreende reação alumínio térmica que ocorre em forno elétrico, do concentrado de Nb com outros insumos, como o pó de alumínio, óxido de ferro em pó ou sucata de ferro e cal.

Escória de alumina – consiste de resíduos sólidos gerados na unidade de ligas especiais, por exemplo, na produção de Fe-Nb-VG e Ni-Nb-VG, a partir de óxido de nióbio.

Sólidos do processo de refino do concentrado – Compreendem os resíduos coletados nos filtros de mangas da unidade de desfosforação.

O ACV do nióbio proposto por Alves (2015) inclui processos de exploração, produção, aplicação, recurso e destinação dos resíduos, que é utilizada para comparar, analisar e avaliar as entradas e saídas de materiais na unidade industrial, a partir dos recursos naturais, desde a extração, processamento e transformação dos recursos em matérias-primas. Nas saídas da unidade de produção são identificadas as emissões de Gases Efeito Estufa e substâncias químicas causadoras dos impactos ambientais associados com o desenvolvimento de produtos, sendo referentes aos resíduos gerados a partir da exploração, beneficiamento e produção do ferro-nióbio e óxido de nióbio.

A Figura 18 mostra o fluxograma geral, como um modelo para elaboração do ciclo de vida do nióbio, proposto por Alves (2015). O fluxograma compreende desde a prospecção da matéria prima, seu processamento, as principais aplicações nos segmentos tecnológicos e industriais, a identificação, classificação de destino dos resíduos. Também, apresenta o balanço de massa da produção de ferro-nióbio e óxido de nióbio, com base na entrada de 100 t de

minério, com teor de 2,5% de Nióbio. No fluxograma estão destacadas, em ordem numérica, as matérias primas, as etapas do processo de beneficiamento do minério, os produtos e os resíduos gerados. Já na tabela 5 pode se identificar conteúdo e a destinação final dos materiais do fluxograma proposto como modelo para a elaboração da ACV do nióbio.

A partir do modelo proposto por Alves (2015) foi identificado o balanço de massa do processamento do nióbio, com base em literatura científica e nos relatórios técnicos das empresas de mineração e metalurgia. Para cada 100 t do minério de pirocloro, com concentração média de 2,5% de nióbio, são produzidos 2.200 kg de ferro-niobio e 300 kg de oxido de nióbio, com proporções de 88% e 12% de nióbio, respectivamente.

O consumo específico de água no processamento do nióbio é da ordem de 6,131 m³ /t de minério processado, sendo que 92% desta água são reutilizadas e 8% são bombeadas para a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), seguindo posteriormente para o curso d'água (ALVES, 2015).

Foram identificados os diversos resíduos sólidos resultantes do processamento do nióbio, desde sua origem, classificação e destino, destacando-se o Al₂O₃, BaO e CaO. Com relação aos elementos presentes nos rejeitos da separação magnética e concentração do nióbio, estes foram identificados e quantificados com destaque para o Fe, Ba e Ti. Foram também identificados os poluentes atmosféricos, em que se destacam CO₂, NO₂, NO_x, Pb, SO₂, SO_x, HCl e materiais particulados (ALVES, 2015).

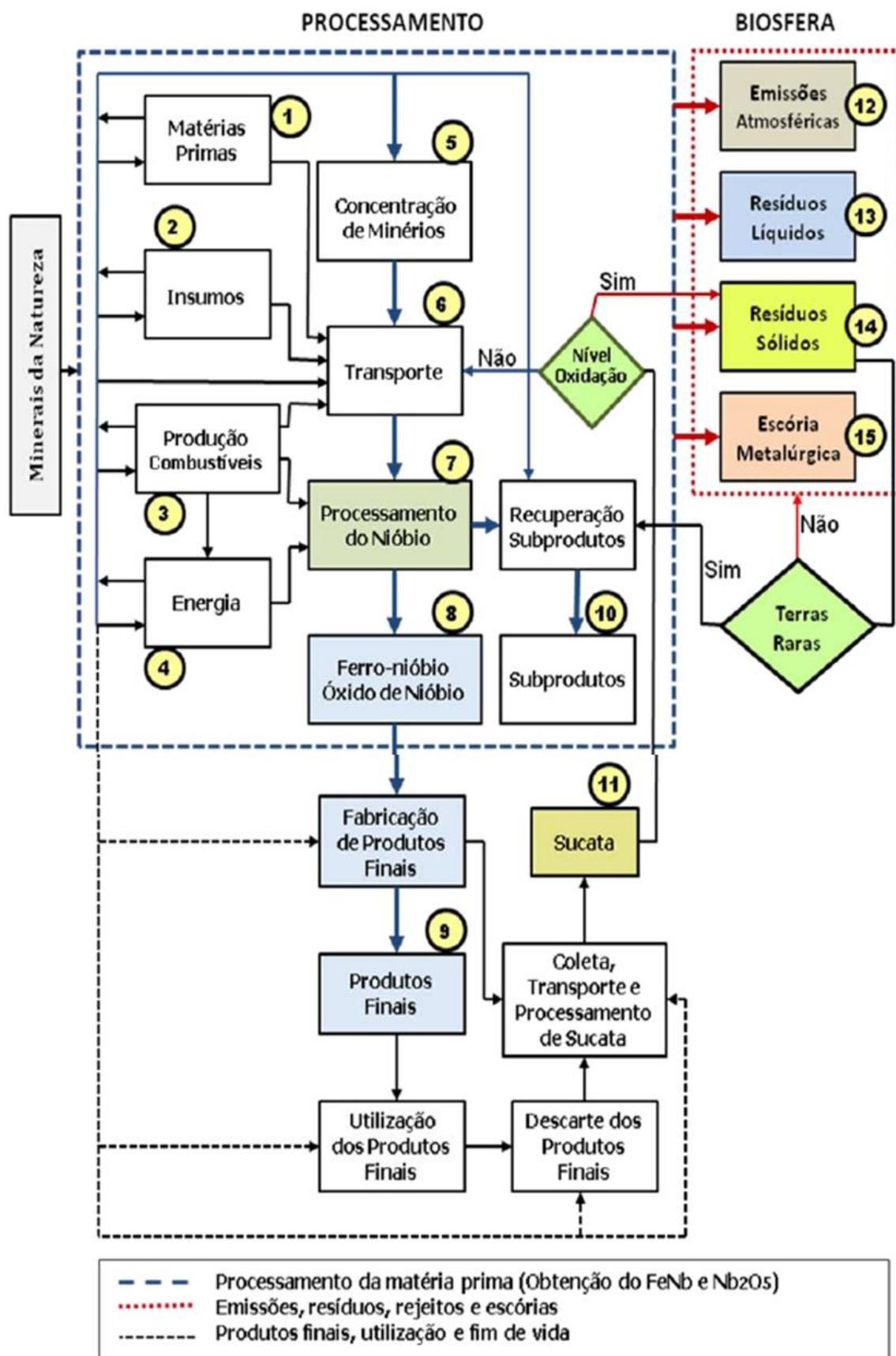
Um exemplo de recuperação dos resíduos sólidos, de parte dos resíduos sólidos, consiste na recuperação de elementos de terras raras por meio da concentração de metais extraídos dos rejeitos do processamento do nióbio. Em uma unidade industrial, a quantidade dos metais extraídos pode chegar a 3 mil/t/ano, em que a mineradora extrai sulfatos e hidróxidos de metais como neodímio e praseodímio, em processo único no Brasil (CBMM, 2014; GEOFÍSICA BRASIL, 2012).

Também pode ocorrer a recuperação da alumina a partir dos resíduos da produção de ferro-nióbio e também do oxido de nióbio, com teores de 39,5% de Al₂O₃, através da precipitação calcinação, em temperaturas que variam de 90-95 °C. Desse modo foi possível obter precipitado de hidróxido de

alumínio e alumina calcinada com pureza entre 96-99% (SILVESTRE; SILVA; LEÃO, 2011).

Os impactos no ambiente acontecem nas várias fases do processo, desde o transporte, manuseio e preparação da matéria-prima, passando por sua transformação em produtos finais, até a destinação que se dá aos diversos resíduos que resultam dessas várias etapas de produção. Por exemplo, uma mineradora de nióbio pode gerar cerca de 40 t de resíduos sólidos por tonelada de Fe-Nb (ALVES, 2015).

Figura 18- Fluxograma proposto como modelo para elaboração da ACV do nióbio.



Fonte: ALVES, 2015

Tabela 5- Identificação e conteúdo das etapas do fluxograma proposto.

| Item | Conteúdo | Destinação |
|-----------------------------------|--|----------------------------|
| 1- Matérias Primas | Pirocloro, pó de ferro média pureza, pó de ferro alta pureza, sucata de aço e pó de níquel. | Processamento |
| 2- Insumos | Alumínio em pó, ferro, água, cal virgem calcinado, ácido clorídrico, ácido fluossilícico, hidróxido de potássio líquido, gás líquido de petróleo, soda cáustica líquida, carvão vegetal de 3,5 a 25,0 mm, coque de petróleo e querosene; | Processamento |
| 3 - Produção de Combustíveis | Alumínio em pó, gás liquefeito de petróleo, carvão vegetal, coque de petróleo e querosene; | Processamento |
| 4 - Energia elétrica | Consumo de energia elétrica por tonelada de Fe-Nb produzida = 500 kwh; | Processamento |
| 5 - Concentração de Minérios | Separar o pirocloro dos minerais que não são de interesse. | Processamento |
| 6 – Transporte | É realizado por meio de correias transportadoras; | Processamento |
| 7-Processamento do nióbio | Unidade de Concentração (moagem, separação magnética, deslamagem e flotação), Unidade de Sinterização (filtragem, pelotização, sinterização e britagem), Unidade de Desfosforação (forno elétrico, granulação e secagem), Unidade de Metalurgia, Britagem e Embalagem. | Produção do metal Nb |
| 8 - Ferronióbio e Óxido de Nióbio | Fe-Nb e Nb ₂ O ₅ | Indústrias |
| 9 - Produtos Finais | Ferro-nióbio de Alta Pureza, Óxido de Nióbio Grau Ótico, Óxido de Nióbio VG, Nióbio Metálico e as Ligas Especiais Fe-Nb-VG e Ni-Nb-VG. | Indústrias |
| 10 – Subprodutos | Aços microligados (HSLA), aços inoxidáveis, ferro fundido, ligas metálicas de alta pureza (Ni-Nb, Fe-Nb), ligas supercondutoras e componentes óticos e eletrônicos. | Indústrias |
| 11 – Sucata | O nióbio é reciclado a partir de pedaços de ferro e aço de liga leve. A sucata é derretida no oxigênio básico e fornos elétricos. | Reuso e Aterro |
| 12 - Emissões Atmosféricas | Material Particulado, Pb, SO ₂ , HCl e SO _x . | Biosfera |
| 13 - Resíduos Líquidos | Nb, Al, Si, P, S, Ti, Ba, Mm, Fe, Na, Ca, BaSO ₄ e os radionuclídeos 238U, 226Ra, 210Pb, 232Th e 228Ra. | Reuso e Tanque de Resíduos |
| 14 - Resíduos Sólidos | Nb, Al, Si, P, S, Ti, Ba, Mm, Fe e os radionuclídeos 238U, 226Ra, 210Pb, 232Th e 228Ra. | Reuso e Tanque de Resíduos |

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O pirocloro pode ser encontrado em diversos depósitos ao redor do mundo, contudo poucos depósitos são viáveis economicamente, devido a vários fatores; como a alta complexidade da lavra deste minério, pois para ser explorado em alguns casos é necessária a abertura de minas subterrâneas, o que eleva e muito o custo de produção desse bem mineral. Além disso, o preço da tonelada do nióbio no mercado internacional vem se mantendo relativamente baixo, o que inviabiliza a abertura de novas minas ao redor do mundo.

Atualmente a exploração comercial do nióbio se concentra no Brasil (93,67%), Canadá (5,28%) e outros países produzem 1,05% do nióbio comercializado no mundo. No Brasil a produção do nióbio ocorre em Araxá (MG) e Catalão (Go), a lavra desse minério é de baixo custo, pois o mineral é friável e também por sua localização ser próxima de rodovias, ferrovias e portos, além disso a sua vida útil é de aproximadamente 400 anos. Contudo há depósitos no estado do Amazonas, Pará e Roraima, sem perspectivas de serem explorados, pois requerem altos investimentos.

No Brasil apenas duas empresas produzem e comercializam o nióbio, CBMM, do grupo Moreira Salles e Anglo American de capital britânico que juntas respondem por aproximadamente 80% da produção mundial de nióbio. Portanto, têm controle sobre o preço desse mineral e sobre a produção para que o preço não torne jazidas que antes eram inviáveis economicamente, tornem-se passíveis de exploração econômica.

Desse modo, o preço do nióbio se mantém baixo e o Brasil continuará mantendo o controle do comércio internacional do nióbio, já que é inviável a abertura de novas minas.

A exploração, produção e exportação do nióbio, coloca o Brasil como um dos principais fornecedores de nióbio para os principais países do mundo. Utilizado para a fabricação de aços especiais, tomógrafos, turbinas a jato e entre outras aplicações.

O Governo brasileiro, em detrimento da grande importância do nióbio como mineral do futuro, não adota, no momento, nenhuma política específica para o controle de sua exploração e produção. Outras nações consumidoras,

principalmente a China, maior produtor mundial de aços, necessita cada vez mais do nióbio para manter seu ritmo de crescimento. Isto acontece também com todos os países que têm no aço, a mola propulsora de seu desenvolvimento, principalmente no setor de alta tecnologia.

Apesar de o nióbio ser considerado, por suas diversas aplicações, o mineral do futuro e, portanto, altamente estratégico, o governo brasileiro, em termos de indústria mineral, objetivou apenas o controle da produção de petróleo ao invés de outros bens minerais. Assim, é necessária a criação de um órgão governamental de caráter técnico para estudar e regulamentar os minerais estratégicos, como o nióbio e os ETR.

Para se ter uma ideia de quanto esta questão é sensível, há rumores em relação ao preço do minério de haver um mercado paralelo em que preço chega a ser de US\$ 500/kg, ou seja, US\$ 500 10³/t por tonelada, muito mais dos US\$ 13 mil/t do preço oficial de mercado, o que muda radicalmente o panorama da balança de pagamentos. A considerar este valor e a exportação de 50 mil t/ano, teríamos US\$ 25 bilhões a mais em nossa balança de pagamento. Contudo esses fatos nunca foram comprovados. Na verdade, o que ocorre é que o preço do nióbio é dado pela Bolsa de Metais de Londres, e não o Governo Brasileiro.

Ressalte-se também que, dentro do atual cenário, o surgimento de novos projetos, em especial o de *Mebounié* no Gabão, pode provocar alguma alteração na distribuição desse mercado. Porém o Brasil tem todas as condições competitivas para manter e desenvolver sua posição de liderança no mercado mundial de nióbio.

Dessa forma, por si só o nióbio não trará o desenvolvimento para a nação brasileira; o governo precisa, verticalizar a cadeia produtiva do nióbio. De que forma? Melhorando regulamentação da produção e das exportações, que fica a cargo de empresas privadas, que privilegiam os seus interesses em detrimento de todo o povo brasileiro. Assim sendo, é necessário que o Estado invista mais no desenvolvimento de tecnologia de ponta para que o nióbio brasileiro seja incorporado a esta e seja vendido com um maior valor agregado.

Quanto às aplicações do nióbio, diferentemente dos outros elementos críticos é na siderurgia, mas também se aplica em setores de alta tecnologia, sendo utilizado principalmente em aços microligados enriquecidos com

carbono, para aumentar a resistência mecânica do aço. Contudo, algumas propriedades do aço como soldabilidade, tenacidade e conformabilidade são prejudicadas neste caso. O nióbio, o titânio e o vanádio são alguns dos elementos utilizados na fabricação dos aços microligados, pois possuem uma alta afinidade com o carbono. Todavia, a vantagem do nióbio em relação ao vanádio e ao titânio é que ele possui maior resistência; mas ao utilizá-lo em conjunto com os outros elementos, pode possibilitar ganhos de sinergia à liga, como a adição de nióbio e titânio, por exemplo, na liga de alta resistência, confere uma qualidade melhor do produto.

O nióbio metálico é um dos metais que mais resistem à corrosão, principalmente em meios ácidos e metais alcalinos fundidos, sendo o óxido de nióbio utilizado na produção de cerâmicas finas como capacitores cerâmicos, lentes óticas, ferramentas, peças de motor e alguns elementos estruturais resistentes ao calor e a abrasão.

A reciclagem na cadeia produtiva do nióbio se dá principalmente através do reaproveitamento dos resíduos do beneficiamento do minério, principalmente alumínio e em alguns casos ETR.

O nióbio é um metal utilizado na sua grande maioria pela siderurgia. Mais de 90% do nióbio produzido no mundo é consumido na fabricação de aços na forma da liga ferro-nióbio, que contém 66% de nióbio. Contudo somente 10% de todo aço produzido no mundo contém nióbio. Esses aços são principalmente utilizados pela indústria automobilística, de transporte de gás e óleo e em aplicações estruturais.

Como a China é principal produtor de aço no mundo este também é um dos maiores consumidores de ferro-nióbio. Apesar de ser o maior consumidor desse mineral no geral o seu consumo específico por tonelada de aço é desprezível se comparado com outras economias desenvolvidas. Portanto, o mercado chinês representa o maior potencial de crescimento para o mercado de nióbio. Por outro lado, enquanto que o Brasil, EUA e EU consomem de 80 a 100 g/Nb/t aço produzido a China só consome 20 g/t. Contudo o Brasil produz 30 milhões t/aço/ano, a produção da China é de 740 milhões t/ano ou cerca de metade do aço produzido em todo o mundo.

Não obstante, desde a década de 1970 a CBMM vem desenvolvendo programas na China para o desenvolvimento desse mercado Este programa já

apresentou resultados significativos como a adoção por parte dos chineses da tecnologia dos aços ao nióbio empregados em tubulações de transporte de gás. As especificações que limitavam o teor de nióbio em tais aços foram modificadas para permitir o uso da tecnologia mais avançada e eficiente neste campo de aplicação.

A partir da corrida aeroespacial durante a Guerra Fria, foi que o interesse pelo nióbio e suas aplicações cresceram exponencialmente. Um evento importante nesse sentido foi à descoberta da maior jazida mundial de pirocloro, localizada no Brasil, no começo da década de 1950, pelo geólogo brasileiro Djalma Guimarães. De fato, até meados do século passado, não havia muito interesse no metal, pois este não era produzido em grande escala.

Desde então a CBMM, maior empresa exploradora desse importante recurso natural passo a investir no desenvolvimento de materiais utilizados em diversas tecnologias, como os aços microligados, que correspondem a 75% consumo dessa matéria prima.

Já os órgãos estatais desenvolvem pesquisas com a intenção de mapear os principais depósitos minerais como é o caso CPRM, que mapeou o depósito de seis lagos durante o projeto RADAM, no início da década de 1970, quando foi possível observar anomalias radiométricas de até 15.000 cps, em formato circular, que se destacavam em meio a densa cobertura vegetal da floresta amazônica.

A importância que o nióbio tem hoje para a indústria mundial deve-se em muito ao investimento em pesquisas realizado em parte pelas mineradoras que exploram esse bem mineral e também por órgão do governo como CPRM, IBRAM, DNPM e o Ministério de Minas e Energia (MME). Contudo é necessária uma maior integração dessas empresas e órgãos estatais com as universidades brasileiras e também de grandes centros tecnológicos, para o desenvolvimento de tecnologias de ponta, para abastecer o mercado consumidor internacional e também aumentar o *superavit* da balança comercial brasileira.

Como já visto anteriormente o nióbio é um mineral de grande importância para indústria, tendo a aplicação em diferentes setores da economia, o que o torna um mineral crítico, logo sua falta causaria grandes

transtornos para a comunidade internacional, principalmente para os países desenvolvidos, principais compradores.

Esse importante bem mineral sempre figura nas listas de minerais críticos e estratégicos de diversas potencias mundiais. Principalmente devido a alta concentração da produção no Brasil (aproximadamente 93%) e também por ser matéria prima para tecnologias de ponta produzidas por esses países. Por exemplo, para a União Europeia o nióbio está nessa lista devido a sua ampla utilização em micro capacitores, ferro-ligas e pelo fato de haver quase que um monopólio por parte do Brasil. Do mesmo modo os EUA consideram sua criticidade devido à posição privilegiada do Brasil como fornecedor desta *commodity* para o mercado americano.

Desse modo o nióbio pode ser uma importante moeda de troca entre o Brasil e as nações desenvolvidas. Já que se houvesse interesse do governo brasileiro poderia negociar a transferência de tecnologia dos países desenvolvidos em troca de um abastecimento de nióbio em longo prazo.

O Governo do Estado do Pará, por meio da Secretaria Especial de Desenvolvimento Econômico e Incentivo à Produção (SEDIP) e da Secretaria de Estado de Indústria, Comércio e Mineração (SEICOM), realizou um ciclo de oficinas temáticas, em 2013, destinadas a discutir e apontar caminhos pragmáticos que conduziam à edição do primeiro Plano de Mineração do estado do Pará, Com ênfase nos minerais críticos e ETR, uma vez que o Pará tem grande potencial geológico para abrigar depósitos de nióbio e de ETR.

Quanto a UFPa, não foi possível consultar nenhuma bibliografia referente ao nióbio, em nível de mestrado ou doutorado, produzido nesta universidade. Infelizmente isso demonstra o pouco incentivo que se dá a esse bem mineral tão importante para economia nacional. Por esse motivo é que se torna interessante criar grupos de estudo dos minerais críticos e ETR, aos moldes das áreas de formação básica que são essenciais ao desenvolvimento geológico do norte do Brasil. Este grupo teria a finalidade de aprofundar o conhecimento desses importantes recursos naturais, que são riquíssimos não só no Brasil, como também na Amazônia.

Desse modo a busca de novos conhecimentos a respeito dos minerais críticos deve ser uma prioridade tanto do governo, das universidades e também

da sociedade, já que esse bem mineral é de extrema importância para o desenvolvimento do Brasil e também do Pará.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA D. **'Monopólio' brasileiro do nióbio gera cobiça mundial, controvérsia e mitos.** Portal de Notícias G1, São Paulo (SP). 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/negocios/noticia/2013/04/monopolio-brasileiro-do-niobio-gera-cobica-mundial-controversia-e-mitos.html>> Acessado em 28/08/2016

ALVES, A. **Proposição de um modelo para a avaliação do ciclo de vida do Nióbio.** 2015. 111f. Tese (doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba, 2015.

ALVES, A. **Proposição de um modelo para a avaliação do ciclo de vida do Nióbio.** 2015. 111f. Tese (doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba, 2015.

ASSIS, L. **Morro do Padre. Avaliação de Recursos Minerais Intemperizados,** Anglo American Brasil Ltda, Goiânia. 2009

BAUMANN, H.; TILLMAN. A. M. *The hitch hiker's guide to LCA: an orientation in life cycle Assessment Methodology and Application.* Lund: Studentlitteratur, Print., 2004.

BEATO, D.; VIANA, H.; DAVIS, E. **Hidrogeologia do complexo carbonatítico do Barreiro, Araxá – MG,** 2004. Disponível em :<sbgeo.org.br/pub_sbg/cbg/2004ARAXA/20_1106_BEATODAC.pdf>. Acesso em: 21/06/2016.

BIONDE, M. **Geoquímica e mineralogia dos elementos terras raras no depósito de Nióbio de Seis Lagos (AM):** avaliação preliminar do potencial para exploração como subproduto. 2015. 56f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Faculdade de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

BIONDI, J. **Procesos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros.** São Paulo: Oficina de textos, 2003.

BOGO, A. **O Nióbio brasileiro - material estratégico.** 2011. Disponível em: <<http://tcconline.utp.br/wp-content/uploads/2012/07/O-NIOBIO-BRASILEIRO-MATERIAL-ESTRATEGICO.pdf>>. Acesso em: 21/05/2016.

BRANCO, P. **Nióbio brasileiro.** Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Niobio-Brasileiro-2616.html>>. Acesso em: 21/05/2016.

CARVALHO, W.T.; BRESSAN, S.R. Depósitos de fosfato, nióbio, titânio, terras raras e vermiculita de Catalão I - Goiás. In: SCHOBENHAUS FILHO, C.; QUEIROZ, E.T.; COELHO, C.E.S. (eds.). **Principais depósitos minerais do Brasil**. Brasília, DF: DNPM, 1997. p. 69-93.

CBMM apresenta defesa à ação movida pelos moradores do Barreiro. **Diário de Araxá**. 2009. Disponível em: <<http://www.diariodearaxa.com.br/index.php?go=noticia&ed=20&id=1652>>. Acesso em: 13/06/2016.

CODEMIG faz levantamento de água contaminada. **Jornal de Uberaba** Disponível em: <<http://www.jornaldeuberaba.com.br/?MENU=CadernoB&SUBMENU=Saude&C>>. Acessado em: 28/07/2016.

COMPANHIA BRASILEIRA DE MINERAÇÃO E METALURGIA (CBMM). Nióbio. In: CENTRO DE ESTUDO E DEBATES ESTRATÉGICOS. **Minerais estratégicos e terras-raras**. Brasília, DF, 2014.

COMPANHIA BRASILEIRA DE MINERAÇÃO E METALURGIA (CBMM). **Carbonatitic complex, Araxá, MG, Brazil, carbonatitic complexes of Brazil**. São Paulo, Brazil: CBMM, 1984.

COMPANHIA BRASILEIRA DE MINERAÇÃO E METALURGIA (CBMM). **Usos e usuarios finais de niobio**. Disponível em: <<http://www.cbmm.com.br/portug/capitulos/uses/use&user.htm>>. Acesso em: 11 ago. 2016.

CORRÊA, S.; COSTA, M.; OLIVEIRA, N. Contribuição geoquímica à zona laterítica do complexo carbonatítico de Seis Lagos (Amazonas). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1988. v. 4, p. 1959-1968.

CRUZ, J.; SOUZA FILHO, C.; ABRAM, M.; MARCON, R. Caracterização espectral do depósito de fosfato de Araxá (MG). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 15., 2011, Curitiba, PR, Brasil. **Anais...** Curitiba, PR, Brasil: ABSSR, 2011. p. 3530 – 3537.

CUNNINGHAM, L. **Columbium (niobium) from metal prices in the united states through 1998**. U.S Bureau of Mines. 1998. p. 35-39.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM).. **Nióbio**. Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/SumarioMineral2008/niobio.pdf>>. Acessado em: 24/06/2016.

EGGERT, R.G. **Access to critical raw materials: a U.S. perspective**. Public Hearing on “An Effective Raw Materials Strategy for Europe”. Brussels: Committee on Industry, Research and Energy, European Parliament, Jan. 26, 2011.

FERNANDES JUNIOR, R. Nióbio. **Sumário Mineral**, Brasília,DF, v 35, p. 88 – 89, 2015.

FERNANDES JUNIOR, R. Nióbio. **Sumário Mineral**, Brasília, DF, v. 28, p. 129 – 147, 2008.

GEOFÍSICA BRASIL. ZAIDER, F. **CBMM vai produzir terras raras a partir de rejeitos de nióbio**. Disponível em:

<<http://geofisicabrasil.com/jupgrade/noticias/204-clipping/3676-cbmm-vai-produzir-terras-raras-a-partir-de-rejeitos-de-niobio.html>>. Acesso em: 15/06/2016

GIBSON, S.A.; THOMPSON, R.N.; LEONARDOS, O.H.; DICKIN, A.P.; MITCHELL, J.G. The late cretaceous impact of the Trindade Mantle Plume - evidence from large- volume, mafic, potassic magmatism. Se Brazil. **Journal of Petrology**, v. 36, n. 1, p. 189-229, 1995.

GIOVANNI, A. **Contribuição à geologia e geoquímica do carbonatito e da jazida (Nb, ETR) de Seis Lagos (AM)**. 2013. 68f. Dissertação (mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

GONSALVES R.; MENDONÇA M. Mega projetos de mineração e acumulação por espoliação em Comunidades Camponesas de Catalão – Goiás – Brasil. **Élisée, Rev. Geo. UEG**, Anápolis, v.4, n.2, p.134-146, jul. /dez. 2015

HARVEY, D. **O novo imperialismo**. 2.ed. São Paulo: Loyola, 2012.

IAMGOLD Co. **Principais aplicações do nióbio**. Disponível em: <<http://www.iamgold.com/>>. Acessado em 21/06/2016

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **A gestão ambiental e desenvolvimento sustentável**. 2012, Disponível em: <http://www.ibram.org.br/150/15001002.asp?ttCD_CHAVE=80171>. Acesso em: 31/08/2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2015**.

INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS (INESC). **Mineração e (in)justiça tributária no Brasil**. n.184, Setembro de 2015. (Nota Técnica).

ISSA FILHO, P.R.; LIMA, A.; SOUZA, O. M. Aspects of geology of the barreiro carbonatitic complex, Araxa, MG, Brazil. In: Gomes C.; Ruperti E.; Morbidelli L. **Carbonatitic complexes of Brazil: geology**. São Paulo: Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração, 1984. p. 19-44.

ISSLER R.; SILVA G. The Seis Lagos carbonatite complex. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, 1980, Camboriu. **Anais**, Camboriu: SBG, 1980. v. 3, p.1564-1573.

ISSLER, R.; SILVA, G. The Seis Lagos carbonatite complex. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, 1980, Camboriu, **Anais**. Camboriu: SBG, 1980. v.3, p.1564-1573.

KAISER, J. **Critical metals overview 2011 critical metals investment symposium**, Vancouver, 2011. Disponível em: <<http://www.slideshare.net/Tehama/kaiser-research-critical-metals-overview>> Acessado em: 26/05/2016.

ANDRADE, M. et al. O nióbio: o Brasil no topo. **Mineração e Metalurgia**, n. 32, p. 1-8, abr. 2000. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/setorial/is_g3_32.pdf>. Acesso em: 28/06/2016

LEITÃO, A.; IRFFI, G.; LINHARES, F. Avaliação dos efeitos da Lei Kandir sobre a arrecadação de ICMS no estado do Ceara. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 39, p. 220-236, jul./dez. 2012

LEITE, R.; COMIN, A.; MACHADO JR, D.L.; PEREIRA, E.S.; MITLAG, H. e QUEIROZ, S.R. **Nióbio, uma conquista nacional**. São Paulo: Duas Cidades, 1988. 104p.

LEMOS JR, M. **Estudos para avaliação da capacidade de reservatório de rejeitos de nióbio**. 2012. 118f. Dissertação (mestrado) - Escola de Minas, NUGEO, UFOP, 2012.

LIMA, J. **Relatório Técnico 20**: perfil da mineração do nióbio. Local: Ministério de Minas e Energias (MME), 2010. p. 49. Brasília (DF)

LUZ, A.; MUFARREJ, M.; SILVA, W. **Minério de nióbio**. Belém: UFPa, Jun. 2010. p. 26. Trabalho da disciplina Tecnologia Metalúrgica.

MACHADO, I. **A Demanda mundial de minerais críticos**. São Paulo: IG/Unicamp, 2011.

MANCINI, L.; BONOTTO, D. **Análise radiométrica nas águas e sedimentos do Barreiro**, Araxá -MG, 2004.

MENEZES, R.; NEVES, G.; FERREIRA, H. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativ como matérias-primas cerâmicas alternativas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, p. 303-313, 2002

NOGUEIRA, A. **Estudo para a extração de urânio em ácido fosfórico comercial**. 1984. 197 f. Dissertação (mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nuclear, USP, São Paulo (SP), 1984.

NORGATE, E.; RANKIN, W. **Greenhouse gas emissions from aluminium production—a life cycle approach. Greenhouse gases in the metallurgical industries**: policies, abatement and treatment. Toronto: Met Soc CIM, 2001. p. 89.

PALMIERI, M. **Modelo geológico e avaliação de recursos minerais do depósito de Nbio Morro do Padre**: complexo alcalino-carbonatítico Catalão II, GO. 125f. Tese (Mestrado) – Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Universidade Nacional de Brasília, Brasília, DF, 2011

PARA Jatene, desoneração rima com distorção. **O Liberal**, Belém, Cad. Política de 04 mai. 2003. Disponível em: www.oliberal.com.br/arquivo/noticia/painel/n04052003default5.asp, Acesso em: 14/07/2016.

PARAISO, F.; FUCCIO JR, R. Mining, ore prepamrion and ferro niobium at CBMM. In: STUART. H. (ed.). Niobium 81. INTERNATIONAL SYMPOSIUM. Betz. **Proceedings**. Betz: AIME, 1981. p. 113-132.

PINTO, C.; DUTRA, J.; SALUM, M.; GANINE, J.; OLIVEIRA, M. **Estudo de caso: principal Polo Produtor de Fosfato e Nióbio do País**. v. 1, p. 283-305. Grandes Minas e Comunidades Locais CETEM/MCTI, 2011.

RIBEIRO C.; BROD A.; JUNQUEIRA-BROD C.; GASPARJ.C.; PETRINOVIC I;. Mineralogical and fieldaspects of magma fragmentation deposits in a carbonate-phosphate magma chamber: evidence from the Catalão I complex, Brazil. **J. South Am. Earth Sci.**, v. 18, n. 3-4, p. 355-369, Mar. 2005.

ROCHA, E. **Educação ambiental na história de Araxá (1950-2000)**. 2008, 144f. Dissertação (mestrado) - Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba (SP), 2008.

SANTOS J.; HARTMANN L.; FARIA M.; RIKER S.; SOUZA M.; ALMEIDA M.; MCNAUGHTON N. A Compartimentação do Cráton Amazonas em províncias: avanços ocorridos no período 2000-2006. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZONIA, 9., Belém. **Anais**. Belém: SBG. Núcleo Norte, 2006. 1 CD-ROM.

SANTOS, P; SILVA, S. **Nióbio**. Belo Horizonte: [s.n.], 2014.

SILVEIRA, J. **Competição no mercado internacional de nióbio**: um estudo econométrico. 2013. 36 p. Dissertação (mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

SILVESTRE, G.; SILVA, C.; LEÃO, V. Recuperação de alumínio a partir de escórias da produção de ferro-nióbio. In: ENTMME, 24, Salvador-Bahia, 2011. XXIV ENTMME. **Anais**. Salvador-Bahia: ENTMME, 201. p. 1020-1027.

SOARES, M. **Lei Kandir**: breve histórico. Brasília, DF: Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, 2007.

SOUSA, R; Fernandes L; Guerra A. **Elemento químico**: nióbio. Vol. 35, Nº 1, p. 68-69, Fevereiro, 2013.

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL (SUPRAM). Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. **Companhia mineradora do Pirocloro de Araxá** - Parecer único. 10 jan. 2009. Disponível em: http://200.198.22.171/down.asp?x_caminho=reunioes/sistema/arquivos/material/?&x_nome=ITEM_10.1_Cia_Mineradora_do_Pirocloro_de_Arax%E1_-_PU.pdf. Acesso em: 14/05/2016.

TORRES, M. **Caracterização mineralógica do minério fosfático da mina da Arafertil S.A no complexo carbonatítico do Barreiro, Araxá-MG**. 1996. 129f. Dissertação (mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1996.

VALÉRIO M. **Minerais estratégicos**: definição e utilização. Audiência Pública - Senado Federal 08/2013.

VIEGAS, R.; BONOW, C. **Projeto Seis Lagos**: relatório final. Manaus: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais- CPRM, 1976. 131p. (Relatório Interno).

VILLAS BÔAS, R. **Minerais estratégicos**: perspectivas. Centro De Tecnologia Mineral (CETEM). Brasília, DF, 1992.

WINTER J.D. **An introduction to igneous and metamorphic petrology**. England, London: Prentice Hall, 2001. 699p.