

JOÃO MARCELO CRUZ DE LUCENA

**MERCADO DE NIÓBIO
(TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO)**

Trabalho de Conclusão de Curso
(Bacharelado em Geologia)

UFRJ
Rio de Janeiro
2010



UFRJ

João Marcelo Cruz de Lucena

MERCADO DE NIÓBIO

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador:

Prof. Dr. José Mário Coelho

João Marcelo Cruz de Lucena

MERCADO DE NIÓBIO

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador:

Prof. Dr. José Mário Coelho

Aprovada em: 06/dezembro/2010

Por:

Orientador: Prof. Dr José Mário Coelho (UFRJ)

Prof. Dr. Gilberto Dias Calaes (UFRJ)

Estatístico MSc. Luiz Gonzaga Oliveira e Silva

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais que nunca mediram esforços e me entregaram mais do que mereci. Que esta seja a primeira parcela do pagamento da minha 'dívida'.

Aos amigos e família, que sempre serviram de companhia nas melhores horas da vida, assim como de consolo nas mais difíceis.

Ao meu orientador, José Mário Coelho, que sempre esteve disposto a ajudar-me, esbanjando paciência e presteza.

À Ivana, minha companheira e grande incentivadora ao longo desta jornada.

A Deus, que olha por todos.

RESUMO

LUCENA, João Marcelo Cruz. **Mercado de nióbio**. 2010. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

O Brasil é o maior detentor de reservas de nióbio e também o maior produtor do mundo. Dentre os diversos minerais das quais se pode extrair o nióbio, destacam-se a columbita-tantalita e o pirocloro. O Canadá, segundo maior produtor mundial, é responsável por apenas 1,35% das reservas e 2,03% da produção do metal. O presente trabalho visa reunir informações relevantes sobre o mercado de nióbio, de extrema importância principalmente para a indústria siderúrgica e demandado por diversos setores da economia global como, por exemplo, as indústrias de construção civil, naval, petrolífera e automotiva. Para a realização deste trabalho, foi feita pesquisa bibliográfica dos principais trabalhos acerca do tema, assim como foram consultadas as principais empresas produtoras: as brasileiras CBMM e Mineração Catalão (Anglo American) e a canadense IAMGOLD. Desta maneira, são apresentados dados sobre as principais formas de ocorrência de depósitos de nióbio, geralmente associados aos carbonatitos, quantificadas as reservas mundiais e brasileiras, os principais produtos e usos de nióbio, a produção e o processamento mineral. Também trata este trabalho do comércio de nióbio e dos preços praticados no mercado e sua relação com a economia global, dos minerais que podem ser usados em substituição ao nióbio, como titânio, vanádio e tântalo e das vantagens no uso de nióbio. Por fim, é apresentado um modelo de previsão da demanda mundial de nióbio para os próximos vinte anos, que tende a aumentar, colocando o Brasil em uma posição ainda melhor perante o mercado mundial.

Palavras-chave: nióbio, pirocloro, columbita-tantalita

ABSTRACT

LUCENA, João Marcelo Cruz. **NIOBIMUM MARKET**. 2010. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Brazil is the owner of the biggest niobium reserves of the world, and also the largest producer of this metal. Among the various minerals from that niobium can be extracted, the main are pyrochlore and columbite-tantalite. Canada, the world's second largest producer is responsible for only 1,35% of niobium reserves and 2,03% of the metal production. The present work is aimed to gather relevant information about the niobium market, extremely important, especially for the steel industry and demanded by different sectors of the global economy as construction, oil industry, shipbuilding and the automotive industry. In order to make this work, a bibliographical research in the major works on the subject was made, and the leading niobium companies were consulted: CBMM and Mineração Catalão, Brazilians and the IAMGOLD, Canadian. Thus, data are presented about the main forms of occurrence of niobium deposits, usually associated with carbonatites, world and Brazilian reserves are quantified, and the main products and uses of niobium as well as its production and processing are presented. This monograph also presents the trade of niobium, market prices and their relationship with the global economy and the minerals that can be used instead of niobium, such as titanium, vanadium and tantalum as well as the advantages of using niobium. Finally, a forecast of the niobium world demand for the next twenty years, which tends to increase, it's presented placing Brazil in an even better position at the market.

Keywords: niobium, pyrochlore, columbite-tantalite

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa geológico da Província Ígnea do Alto Parnaíba.....	6
Figura 2 – Aplicação do Nióbio em Produtos de Aço.....	15
Figura 3 – Produção mundial de nióbio entre 1997 e 2008	17
Figura 4 – Evolução da produção de nióbio 1997-2008.....	21
Figura 5 – Consumo mundial de FeNb e Aço.....	24
Figura 6 – Balanço Produção / Consumo Aparente de nióbio – 1997-2008.....	27
Figura 7 – Saldo da balança comercial de nióbio	29
Figura 8 – Preços da liga Fe-Nb e do Óxido de Nb.....	31
Figura 9 – Projeção para demanda de nióbio até 2030.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição Média do Minério Residual - Araxá - MG	3
Tabela 2 - Composição Química do Minério Residual e do Bariopirocloro - Araxá - MG.....	4
Tabela 3 - Comparação de Composição da Liga Fe-Nb de Catalão I (Chapadão) e Catalão II (Boa Vista)	8
Tabela 4 - Teores de Nb ₂ O ₅ , Fe ₂ O ₃ e SiO ₂ dos Complexos Catalão I e II.....	9
Tabela 5 - Reservas Mundiais de Nióbio	16
Tabela 6 - Reservas Brasileiras de Nióbio em 2008 (1000 t).....	17
Tabela 7 - Produção de Nióbio no Brasil - 1997 - 2008	20
Tabela 8 - Comércio Exterior de Nióbio - 1997 - 2008	28
Tabela 9 - Preços da Liga Fe-Nb e Óxido de Nb - 1997-2008.....	30
Tabela 10 - Distribuição Setorial da Demanda de Nióbio.....	25
Tabela 11 - Balanço Produção - Consumo de Nb (t).....	26
Tabela 12 - Projeção da Demanda de Fe-Nb - 2010 e 2030.....	32
Tabela 13 - Projeção da Necessidade de Concentrado de Nb - 2010 e 2030	33
Tabela 14 - Valores Projetados Para Demanda de Nb - 2010-2030	34

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparação de Aspectos Geológicos e Mineralógicos entre Catalão I e II.....	9
Quadro 2 – Produtos de Nióbio e Suas Aplicações e Benefícios.....	11

LISTA DE SIGLAS

AMB	Anuário Mineral Brasileiro
CBMM	Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CODEMIG	Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
FOB	<i>Free on Board</i> (Posto a Bordo – Preço sem frete incluso)
HSLA	<i>High-Strength Low Alloy</i> (Alta Resistência Baixa Liga)
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
NAFTA	<i>North American Free Trade Agreement</i> (Tratado Norte-Americano de Livre Comércio)
PIB	Produto Interno Bruto
PPDSM	Plano Plurianual para o Desenvolvimento do Setor Mineral
USGS	<i>United States Geological Survey</i> (Serviço Geológico Norte Americano)

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	iv
Resumo	v
Abstract	vi
Lista de figuras.....	vii
Lista de tabelas.....	vii
Lista de quadros.....	vii
Lista de siglas	viii
Sumário	ix
1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 – Objetivos.....	1
1.2 – Metodologia	1
2 – GENERALIDADES SOBRE O NIÓBIO.....	3
2.1 – Composição Mineralógica	3
2.2 – Principais Tipos de Depósitos no Mundo	4
2.3 – Depósitos de Nióbio no Brasil.....	5
2.4 – Produtos Substitutos.....	10
3 – USOS E FUNÇÕES DO NIÓBIO.....	11
3.1 – Liga Ferro-Nióbio.....	12
3.2 – Superligas.....	12
3.3 – Aço e Nióbio.....	13
3.4 – Ligas à Base de Nióbio.....	15

4 – ANÁLISE DO MERCADO DE NIÓBIO.....	16
4.1 – Reservas Mundiais.....	16
4.2 – Reservas Brasileiras	16
4.3 – Produção Mundial.....	17
4.4 – Produção Brasileira.....	19
4.4.1 – Processamento de Minério de Nióbio.....	22
4.5 – Consumo	24
4.6 – Comércio.....	27
4.7 – Preços	30
5 – PROJEÇÕES DA DEMANDA DE NIÓBIO PARA 2010 – 2030	32
6 – CONCLUSÕES	35
7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
8 – BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	40

1- INTRODUÇÃO

O nióbio (Nb) é o elemento de número 41 na tabela periódica dos elementos químicos, classificado como metal de transição. Apresenta densidade de 8,57 g/cm³ e ponto de fusão 2.468°C. Caracteriza-se pela alta resistência contra ataques pelos ácidos (com exceção do ácido sulfúrico) e sua dureza na escala de Mohs é seis.

O nióbio possui utilidades e aplicações em diversos produtos: da siderurgia (sua aplicação mais comum) a setores intensivos em tecnologia e ocasionalmente no segmento não metalúrgico.

Atualmente, as três maiores reservas exploradas de nióbio no mundo estão localizadas no Brasil (Araxá, no Estado de Minas Gerais; Catalão e Ovidor, no Estado de Goiás) e no Canadá (Saint Honoré, na província francófona do Quebec) e são de origem carbonatítica. (PEREIRA JR., 2009).

1.1- Objetivos

O presente trabalho dedica-se ao estudo do nióbio, conceituando-o, discorrendo sobre suas características, modos de ocorrência, minerais substitutos, propriedades e aplicações. São fornecidos dados sobre reservas, produção, beneficiamento assim como é abordado o potencial econômico do mineral e seu consumo no Brasil e no mundo, além dos preços praticados no mercado. Ao final, apresenta ainda uma projeção para a demanda mundial de nióbio nos próximos vinte anos.

1.2- Metodologia

Inicialmente foi feita pesquisa bibliográfica sobre o contexto geológico e econômico do setor de Nióbio no Brasil e no mundo, suas reservas, características, aplicações industriais e produtos substitutos. Em fase posterior, foram consultados os bancos de dados do DNPM e de

empresas mineradoras de nióbio para elaboração de gráficos e tabelas, a fim de possibilitar melhor visualização e conseqüente entendimento sobre a situação da produção e consumo do Nióbio no Brasil e no mundo.

2- GENERALIDADES SOBRE O NIÓBIO

Este item apresenta informações sobre a composição mineralógica dos principais minerais que contêm nióbio, trata dos tipos mais comuns de depósitos de nióbio e dos principais depósitos brasileiros. São abordados também os minerais substitutos ao nióbio e a vantagem deste em relação aos mesmos.

2.1 – Composição Mineralógica

Na natureza há mais de 90 minerais de nióbio e tântalo conhecidos, dos quais se destacam com suas respectivas composições químicas: a columbita-tantalita (Fe, Mn) (Nb, Ta)₂ O₆, com teor máximo de 76% de Nb₂O₅; o pirocloro (Na₃, Ca)₂ (Nb, Ti) (O, F)₇, com teor máximo de 71% de Nb₂O₅; o bariopirocloro (Ba, Sr)₂ (Nb, Ti) (O, OH)₇, com teor máximo de 67% de Nb₂O₅; a loparita (Ce, Na, Ca)₂ (Ti, Nb)₂ O₆, com teor máximo de 20% de Nb₂O₅ e a pandaíta (Ba, Sr)₂ (Nb, Ti, Ta)₂ (O, OH, F)₇. A columbita-tantalita e o pirocloro, que para efeitos de simplificação utiliza-se a terminologia química (Nb₂O₅), são as principais fontes de nióbio no Brasil e no mundo (PEREIRA JR., 2009). A Tabela 1 apresenta a composição média do minério residual na mina de Araxá.

Tabela 1 - Composição Média do Minério Residual - Araxá - MG

Mineral	%
Bariopirocloro	4
Limonita, Goethita	36
Barita	20
Magnetita	16
Gorceixita	6
Monazita	4
Ilmenita	5
Quartzo	4
Outros	5
Total	100

Fonte: CBMM, 2010.

A Tabela 2 apresenta Composição Química do Minério Residual e do Bariopirocloro de Araxá.

Tabela 2 - Composição Química do Minério Residual e do Bariopirocloro - Araxá - MG

AMOSTRA	1	2	3	4
COMPONENTE	%	%	%	%
Fe ₂ O ₃	45.0	1.19	-	0.92
FeO	-	-	2.37	0.28
BaO	16.0	14.21	16.51	10.9
SO ₃	7.0	-	-	-
TiO ₂	4.0	4.74	2.3	4.3
SiO ₂	5.3	-	-	-
P ₂ O ₅	3.7	-	-	-
(RE) ₂ O ₃	3.2	1.62	3.29	4.0
Nb ₂ O ₅	2.5	65.97	63.42	66.0
Al ₂ O ₃	2.0	-	-	-
MnO	0.9	0.01	0.16	0.01
MgO	0.3	0.01	-	0.2
CaO	0.4	0.06	0.44	0.02
PbO	Traço	0.90	0.42	0.63
K ₂ O	Traço	-	-	0.04
Ta ₂ O ₅	Traço	0.07	0.15	0.14
SrO	-	-	-	0.07
ThO ₂	Traço	1.65	2.34	2.7
SnO ₂	Traço	0.08	0.10	0.06
ZrO ₂	-	0.41	-	0.18
UO ₂	-	0.08	-	0.05
LOI	6.5	-	-	-
H ₂ O	-	8.26	8.50	7.83
Total	96.8	99.26	100	98.33

Obs.: (1) Minério residual; (2, 3 e 4) Bariopirocloro

Fonte: CBMM, 2010.

2.2 - Principais Tipos de Depósitos no Mundo

Os depósitos de pirocloro conhecidos no mundo estão associados a carbonatitos que, por sua vez, relacionam-se a complexos alcalinos. Embora alguns carbonatitos não contenham pirocloro em teores econômicos, a íntima relação existente entre ambos implica em fatos geológicos comuns, para carbonatitos com concentrações economicamente viáveis de pirocloro. O pirocloro é um mineral acessório dos carbonatitos (NEVES, 1973).

Carbonatitos são definidos como rochas ígneas contendo mais de 50% de minerais carbonáticos. São comuns em complexos de origem magmática associados a rochas alcalinas. São caracterizados pela presença de feldspatóides e/ou piroxênios e anfibólios alcalinos. Rochas associadas são, portanto, sienitos nefelínicos (fonolitos), e ijolitos (nefelinitos), basanitos e rochas gabróicas com feldspatóides, sienitos peralcalinos, quartzo sienitos e álcali-granitos, juntamente com traquitos peralcalinos, comenditos e pantelleritos (WOOLEY, 2001 *apud* CHAUQUE, 2008).

A forma e tamanho dos complexos alcalinos com carbonatitos são variáveis. Em geral, apresentam-se semicirculares e elípticos, e seu tamanho varia de centenas de metros a quilômetros (NEVES, 1973).

Sua distribuição é mundialmente conhecida e, basicamente, o ambiente de formação é continental. Algumas ocorrências em ambiente oceânico são citadas na literatura, como por exemplo, a das ilhas de Cabo Verde e Nemegosenda Lake, no Canadá (NEVES, 1973).

2.3 - Depósitos de nióbio no Brasil

Segundo o AMB (2006), o Brasil possui depósitos de nióbio nos estados do Amazonas, Goiás, Minas Gerais e Rondônia, na forma de Columbita-Tantalita e de Pirocloro.

Os depósitos mais significativos atualmente situam-se em Minas Gerais, no Complexo do Barreiro e em Goiás, nos complexos de Catalão I e II. Tais complexos, assim como os de Tapira, Salitre I, II, e Serra Negra (localizados em Minas Gerais) constituem a Província Ígnea do Alto Parnaíba (Figura 1).

A Província ocupa uma área orientada NW-SE entre o Cráton de São Francisco e a borda nordeste da Bacia do Paraná e consiste em uma variedade de magmas ultrapotássicos encaixados em rochas metassedimentares da Faixa Brasília. É principalmente constituída por kamafugitos, kimberlitos, lamproítos e complexos alcalino-plutônicos de associação

carbonatito-foscorito. A gênese da Província tem sido relacionada com o impacto da Pluma de Trindade sob a litosfera brasileira durante o Cretáceo Superior, originando a fusão de porções ricas em potássio do manto litosférico subcontinental (GIBSON *et al.* 1995; THOMPSON *et al.* 1998; BROD *et al.* 2004 *apud* CORDEIRO, 2009).

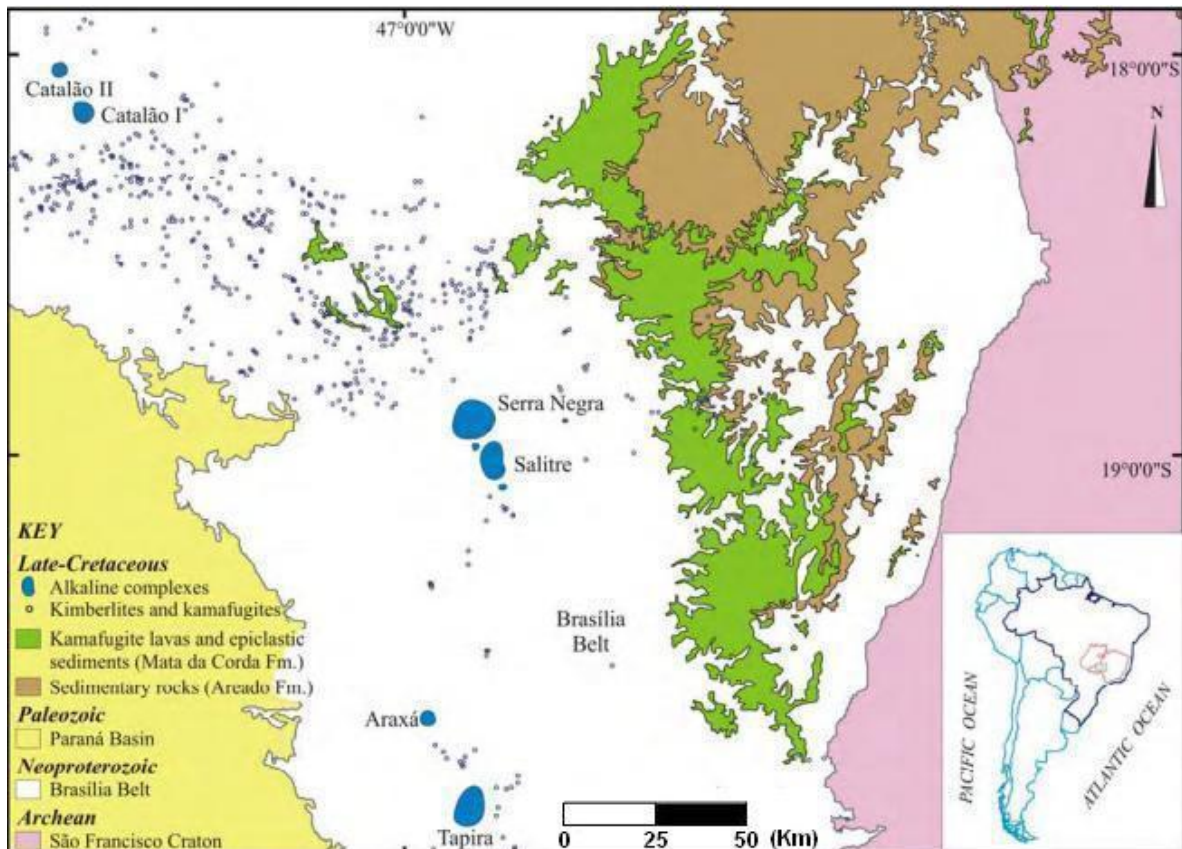


Figura 1 - Mapa Geológico da Província Ígnea do Alto Parnaíba.

Fonte: Oliveira *et al.* 2004 *apud* Cordeiro, 2009, modificado.

Complexo do Barreiro (19°40'S / 46°57'W)

O Complexo do Barreiro, em Araxá, Minas Gerais, tem forma circular em planta e diâmetro de cinco quilômetros (ISSA FILHO, 1984). O Complexo está alojado em xistos e quartzitos do grupo Ibiá, Faixa Brasília, de idade Neoproterozóica (SEER, 1999 *apud* MORAES *et al.*, 2008) Apresenta um núcleo de intrusões carbonatíticas cercado por uma espessa zona de flogopitito e suas idades K-Ar variam de 77 a 97 Ma. Segundo Grossi Sad & Torres (1970) *apud* Moraes *et al.* (2008), o Complexo do Barreiro é envolvido por um anel de

quartzito contínuo com espessura variável entre 100 e 600 metros. Silva *et al.* (1979), indicam que tanto estes quartzitos quanto os xistos foram afetados por intenso fraturamento, recristalização e efeitos metassomáticos pela intrusão. O fraturamento das encaixantes é intenso especialmente nas proximidades do contato. Por seu comportamento reológico, o quartzito apresenta-se mais fraturado que o xisto

Segundo a CBMM (2010), o complexo é predominantemente formado por dolomita carbonatito com calcita carbonatito subordinado, flogopita e o minério primário. Este está presente em carbonatitos plutônicos frescos, formando o núcleo da estrutura e consiste em concentrações contendo magnetita com ilmenita exsolvida, flogopita, pirocloro e ilmenita com apatita associada. Os acumulados são cortados por finos veios de diferentes espessuras e granulometrias, compostos por várias assembléias minerais. Minerais acessórios comuns incluem dolomita, barita, norsetita e sulfetos de Fe-Cu.

Ainda segundo a CBMM, testemunhos de sondagem de 844 metros de profundidade registram a presença de rochas mineralizadas, que podem estar presentes mesmo em profundidades maiores. Além dos minerais já mencionados, a presença de barita, monazita e badelleíta foi notada.

Complexo Catalão I (18°08' S / 47°48' W)

O Complexo Catalão I está situado a cerca de 15 km a nordeste da cidade de Catalão, em Goiás e cobre uma área circular de 27 km referente à sua parte aflorante (RIBEIRO, 2008). Entretanto, mapeamento radiométrico associado ao mapeamento das mineralizações realizado na superfície do domo mostra que seus limites podem se estender além de sua área aflorante, algo próximo de 83 Km² (CARVALHO, 1974 *apud* RIBEIRO, 2009). A intrusão do complexo provocou a deformação dos xistos e quartzitos da Faixa Brasília, originando uma estrutura quase circular em forma de domo (CORDEIRO, 2009). Datação K-Ar em

flogopita indica idade para intrusão de 85 ± 6.9 Ma (SONOKI & GARDA, 1988 *apud* CORDEIRO, 2009). Este complexo é constituído por flogopitos, piroxenitos, dunitos, foscoritos e carbonatitos (DYER, 1969 *apud* CORDEIRO, 2009). Os depósitos de nióbio estão localizados em carbonatitos, na porção central do Complexo. O minério é constituído pelas porções intemperizadas das rochas intrusivas, que em média atingem a profundidade de 80 metros, até um máximo de 120 metros, (GUIMARÃES & WEISS, 2001). O saprólito, que contém a mineralização de nióbio economicamente viável, é composto de rocha intemperizada na qual ainda se podem reconhecer vestígios das estruturas primárias. Em direção à base o saprólito grada para a sotoposta rocha fresca. A mineralização de nióbio ocorre tanto horizontal como verticalmente, refletindo a distribuição do pirocloro nas rochas geradoras, que aparecem na forma de diques e veios preenchendo fraturas (GUIMARÃES & WEISS, 2001). Ainda segundo estes autores, as rochas frescas do Complexo Catalão I são formadas por dunitos e piroxenitos, intensamente alterados para flogopitos, como resultado de intenso metassomatismo acompanhando múltiplas intrusões de fases carbonatíticas.

O Complexo Catalão II, onde também se produz nióbio, situa-se a aproximadamente 8 km a nordeste do Complexo Catalão I e embora haja algumas diferenças no contexto geológico dos dois complexos, a Tabela 3 mostra que a liga Fe-Nb obtida após o processamento metalúrgico do minério em ambos os Complexos não apresenta diferenças significativas (GUIMARÃES & WEISS, 2001). O Quadro 1 compara os principais aspectos geológicos e mineralógicos dos dois Complexos.

Tabela 3 - Comparação de Composição da Liga Fe-Nb de Catalão I (Chapadão) e Catalão II (Boa Vista)

	% Nb	% Al	% Ta	% Sn	% P	% Ti	% C	% S	% Si	% Pb	% Mn
Catalão I	66,20	0,39	0,48	0,06	0,13	0,10	0,09	0,06	2,48	0,15	0,15
Catalão II	66,10	0,34	0,10	0,06	0,13	0,48	0,03	0,04	2,43	0,12	0,18

Fonte: Guimarães & Weiss, 2001.

Quadro 1 – Comparação de Aspectos Geológicos e Mineralógicos entre Catalão I e Catalão II

Catalão I	Catalão II
Aspectos Geológicos	
Grande volume de magma carbonatítico, responsável por intenso metassomatismo.	Volume menor de intrusões carbonatíticas, com preservação de rochas ultramáficas
Flogopitização Intensa	Flogopitização Intensa
Intrusões nelsoníticas e carbonatíticas, responsáveis pela mineralização	Intrusões nelsoníticas e carbonatíticas, responsáveis pela mineralização
Mineralogia	
Vermiculita presente em maior quantidade à medida que aumenta a profundidade	Abundância de micas (principalmente vermiculita, biotita, muscovita e flogopita)
Grandes quantidades de apatita	Pouca apatita
Quantidades moderadas de óxidos e hidróxidos de manganês	Pequenas quantidades de óxidos e hidróxidos de manganês
Abundantes elementos terras-raras	Pequenas quantidades de elementos terras-raras

Fonte: Guimarães e Weiss, 2001.

A Tabela 4 apresenta dados de comparação entre os teores de Nb₂O₅, Fe₂O₃, SiO₂ dos Complexos Catalão I e Catalão II.

Tabela 4 - Teores de Nb₂O₅, Fe₂O₃ e SiO₂ dos Complexos Catalão I e II

	Catalão I	Catalão II
Componentes	Teores (%)	
Nb₂O₅	0,60	1,58
Fe₂O₃	33,73	26,86
SiO₂	6,20	41,75

Fonte: Guimarães & Weiss, 2001

2.4 – Produtos Substitutos

O nióbio sofre concorrência em quase todos os setores onde é utilizado. Na produção de aços microligados tipo “HSLA” (*High-Strength Low Alloy*), o ferro-nióbio tem como concorrentes imediatos as ligas ferro-vanádio e ferro-titânio (SILVA, 1994). O tântalo pode ser aplicado também em superligas na indústria aeronáutica para fabricação de turbinas especiais, produtos laminados e fios resistentes à corrosão e às altas temperaturas, além da fabricação de carbetos para as ferramentas de alto corte. O tântalo, no entanto, possui preços mais elevados em relação ao nióbio além de ter maior densidade. No caso de aços microligados, foram feitos testes com nióbio, tântalo e vanádio para a viabilidade deste na indústria de autopeças e de vagões ferroviários. O nióbio apresenta melhor vantagem em relação aos outros dois elementos, não apenas em suas propriedades físico-químicas, mas também por ser um metal abundante no país (PEREIRA JR., 2009).

3- USOS E FUNÇÕES DO NIÓBIO

Neste item são levantados os principais usos e funções do nióbio nas indústrias do Brasil e do Mundo. São produtos do nióbio: óxido de nióbio, carbetto de nióbio, pó de nióbio, placas, fios, folhas e tubos de nióbio, liga nióbio-titânio, liga nióbio estanho, liga nióbio-1% zircão, *vacuum-grade* ferro-nióbio e níquel-nióbio. O Quadro 2 expõe as aplicações, atributos técnicos e benefícios de cada produto.

Quadro 2 – Produtos de Nióbio, Suas Aplicações e Benefícios

Produtos de Nióbio	Aplicação	Atributos Técnicos e/ou Benefícios
Ferro-nióbio	Aditivo de nióbio para Aço HSLA e aço inoxidável para oleodutos e gasodutos, carroceria de veículos, cascos de navios, trilhos de trem	Confere um aumento na rigidez e força devido ao refino do grão; redução de peso.
Óxido de Nióbio	- Niobato de lítio para superfícies de filtros de onda acústicos - Lentes de câmeras - Cobertura no vidro de telas de computador - Capacitores cerâmicos.	- Alto índice de refração; - Alta constante dielétrica - Aumenta a capacidade de transmissão de luz.
Carbeto de Nióbio	Composição de ferramentas de corte	Controle do tamanho do grão em deformação por altas temperaturas
Pó de nióbio	Capacitores de nióbio para circuitos eletrônicos	Alta constante dielétrica, estabilidade do óxido dielétrico.
Placas, fios, folhas e tubos de nióbio	- Alvo de pulverização catódica - Sistemas de proteção catódica para grandes estruturas de aço. - Equipamento de processamento químico	Resistente à corrosão, formação de filmes de óxido e nitrato. Aumento na resistência a altas temperaturas, resistência à oxidação, redução da erosão a altas temperaturas.
Liga nióbio-titânio, liga nióbio-estanho	Bobinas magnéticas supercondutoras para Imagem de ressonância magnética (IMR), magneto-encefalografia, sistemas de levitação magnética.	Redução da resistência elétrica dos fios de liga a virtualmente zero à temperatura do hélio líquido (-268.8°C) ou menor
Liga nióbio-1% zircão	- Lâmpada de vapor de sódio - Equipamento de processamento químico	Resistência à corrosão, fixação de oxigênio, resistência a fraturamento.
Ligas “ <i>vacuum-grade</i> ” ferro-nióbio e níquel-nióbio	Aditivos para superligas para lamina de turbinas em motores a jato e turbinas terrestres	Aumento da resistência a altas temperaturas e a corrosão, resistência à oxidação, redução da erosão a altas temperaturas.

Fonte: Tantalum-Niobium International Study Center, 2010.

3.1 – Liga Ferro-Nióbio

Obtida através do processo de redução aluminotérmica a partir do concentrado de pirocloro, a liga ferro-nióbio contendo 65% de Nb é o mais importante produto industrializado de nióbio, sendo empregado na indústria siderúrgica como elemento microligante, principalmente os aços microligados conhecidos como “HSLA”. Nesses aços microligados, o teor típico de nióbio é de aproximadamente 400 a 500 g/t de aço e a função do nióbio na elaboração dos mesmos é proporcionar resistência mecânica com diminuição do peso. Estes aços são utilizados na fabricação de automóveis e de tubulações para transmissão de gás sob alta pressão. Nos aços inoxidáveis a função da adição da liga ferro-nióbio é neutralizar o efeito de carbono e nitrogênio que ocasionam corrosão (SILVA, 1994).

3.2 – Superligas

Dentre os materiais projetados para funcionar por longos períodos em atmosferas altamente oxidantes e corrosivas a temperaturas acima de 650°C, estão as chamadas superligas, que demandam o segundo maior consumo de nióbio depois da indústria do aço (CBMM, 2010).

Dezenas de superligas estão em uso nos mais diversos meios corrosivos ou operando em altas temperaturas. Uma das mais importantes ligas é a Inconel 718, à base de níquel, que contém de 5,3 a 5,5% de nióbio. A Inconel 718 é amplamente usada em partes de motores de aeronaves, plantas de energia a vapor, veículos espaciais, aplicações médicas, marinhas, equipamentos de controle de poluição, setor automotivo, etc. (THAKUR, 2010).

O CFM56, um dos motores a jato mais usados no mundo, com mais de 21 mil unidades produzidas, contém cerca de 300 kg de nióbio de alta pureza. A maior parte

deste nióbio é proveniente da mina da CBMM, em Araxá, Minas Gerais, segundo a própria companhia.

A capacidade de operar em condições de temperaturas mais elevadas e baixa densidade permanecem como o pré-requisito básico para os materiais destinados à fabricação de motores para aeronaves. A liga 718 é adequada para trabalhar a uma temperatura equivalente a 85% de seu ponto de fusão.

As superligas encontram aplicação também em cerâmicas eletrônicas, bem como em lentes para câmeras.

3.3– Aço e Nióbio

O nióbio tem alta afinidade por carbono e nitrogênio, o que propicia, em determinadas faixas de temperatura (normalmente acima de 600°C e leis de resfriamento menos drásticas), a precipitação de carbonetos e carbonitreto de nióbio (SAITO, 1972 *apud* SILVA, 2004). Tais precipitados têm um papel importante nas características mecânicas dos aços microligados com nióbio, como endurecimento na liga, aumentando a resistência mecânica e tornando as ligas com carbonetos de nióbio mais resistentes ao desgaste abrasivo (SERIN *et al.*, 1978 *apud* SILVA, 2004). Para se obter um conjunto de propriedades desejadas, ajustam-se os níveis de carbono e nióbio e as condições de processamento. Na indústria do aço, o nióbio é adicionado na forma de ferro-nióbio e encontra sua aplicação principal em produtos de aço microligado (aços contendo pequenas adições de Nb, Ti ou V, normalmente menores que 0,10%) e em aços inoxidáveis.

Segundo Gorni & Mei (2003), nos aços com baixo teor de carbono, também chamados ULCB (Ultra Low Carbon Bainite), o nióbio aumenta simultaneamente a resistência mecânica e a tenacidade através do refino do grão. Nesses aços com teor

extra-baixo de carbono, há um significativo teor de nióbio em solução sólida, mesmo quando o reaquecimento for efetuado sob temperaturas relativamente baixas, como 1000°C.

Até o início dos anos 80, apenas os aços que necessitavam de alta resistência mecânica recebiam aplicação de microligas e tinham a conformabilidade um tanto limitada. A partir daí, começou a produção dos aços livres de átomos intersticiais (*Interstitial Free*), com teor de carbono extra-baixo (menos de 0,005%) e excelente conformabilidade (OSMAN & GARCIA, 2010). Neles, o nitrogênio e o carbono são fixados pelas microligas de nióbio e/ou titânio e processados em linhas de recozimento contínuo.

A produção de aço inoxidável, especialmente o aço ferrítico, que não leva adição de níquel, responde por cerca de 10% do consumo mundial de nióbio (CBMM). No Japão, aproximadamente 25% da demanda por nióbio é destinada aos aços inoxidáveis. A principal aplicação do aço ferrítico contendo nióbio é no sistema de escapamento dos automóveis. Nesse componente, o aço inoxidável com adição de nióbio tem melhor desempenho nas condições de trabalho em temperatura elevada, garantindo maior durabilidade à peça.

A aplicação de nióbio como elemento liga em ferros fundidos é relativamente nova quando comparada com seu uso em aços (TELES, 2007) e ocorre em peças para uso automotivo, como camisas de cilindros e anéis de segmento, e também em discos de freio para caminhões. A Cofap abastece os fabricantes de veículos brasileiros e também exporta para a Europa. A Mercedes-Benz, tanto na Europa quanto no Brasil, produz para uso próprio produtos em ferro fundido contendo nióbio. A Figura 2 aponta a aplicação do nióbio nos produtos de aço.

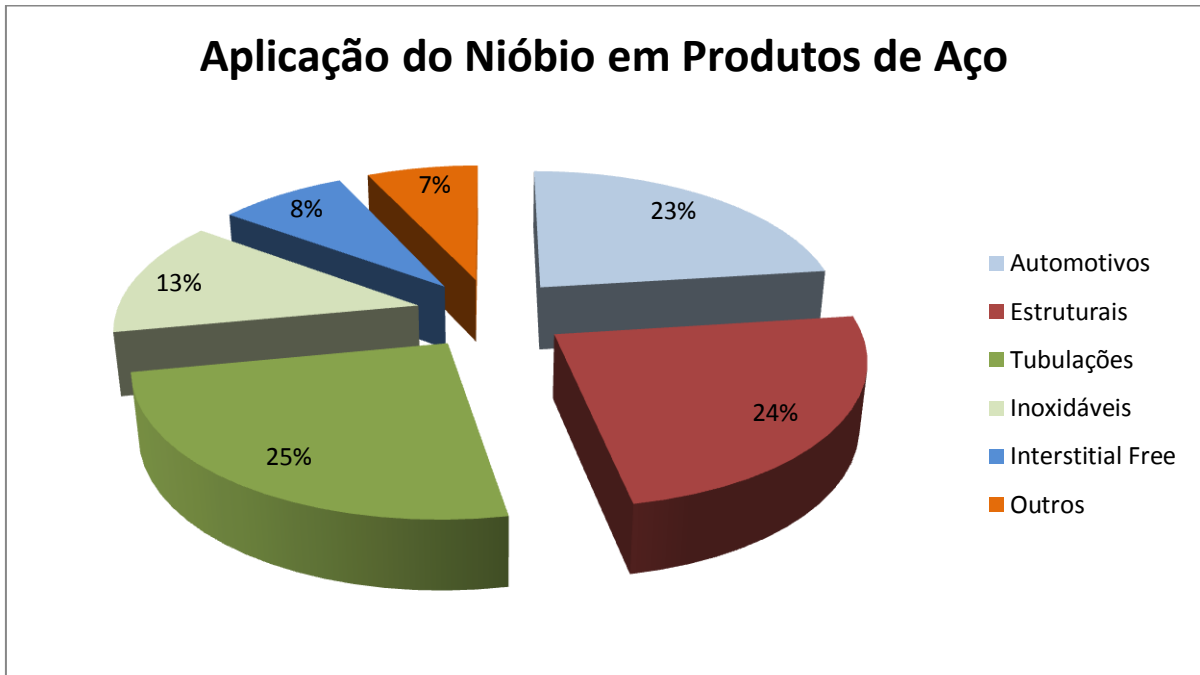


Figura 2 – Aplicação do Nióbio em Produtos de Aço.
 Fonte: CBMM, 2010.

3.4 – Ligas à Base de Nióbio

Elementos como titânio, háfnio, tântalo, tungstênio e alguns outros metais, quando ligados ao nióbio, resultam em materiais com propriedades de engenharia altamente desejáveis, como resistência mecânica em temperaturas elevadas e resistência à oxidação. Estas encontram aplicação em foguetes e veículos espaciais.

O nióbio tem propriedades de supercondutividade, com desaparecimento total da resistência elétrica em temperaturas críticas próximas ao zero absoluto. Em estado puro o nióbio encontra aplicação em aceleradores de partículas subatômicas, embora o nióbio-titânio e o nióbio-estanho sejam mais importantes como materiais supercondutores. O nióbio e suas ligas são também usados em componentes elétricos e de joalheria (SILVA, 1994).

4 – ANÁLISE DO MERCADO DE NIÓBIO

Este item trata acerca da produção brasileira e mundial de nióbio, dos processos de beneficiamento pelo qual passa o mineral, aborda o comércio mundial de nióbio, os preços praticados no mercado e o perfil do consumo de nióbio no mundo. Por fim, traz uma projeção da demanda de nióbio mundial para os próximos vinte anos.

4.1 – Reservas Mundiais

O Brasil é líder das reservas mundiais de nióbio (98,19%), seguido pelo Canadá (1,35%) e Austrália (0,46%). A Tabela 5 mostra os principais países do mundo detentores de reservas de nióbio (DNPM, 2009).

Alguns outros países, como Ruanda, Nigéria, Moçambique e Etiópia, dentre outros, possuem reservas menos expressivas.

Tabela 5 - Reservas Mundiais de Nióbio

Países	Reservas ¹ (1000 t)	
	2008	(%)
Brasil	4.499.106	98,19
Canadá	62.000	1,35
Austrália	21.000	0,46
Total	4.582.106	100

Fonte: DNPM, 2009 modificado.

4.2 – Reservas Brasileiras

As reservas medidas de nióbio (Nb_2O_5) aprovadas pelo DNPM e contabilizadas totalizaram 842.460.000 toneladas, com teor médio de 0,73% de Nb_2O_5 e estão concentradas nos estados de Minas Gerais (75,08%), em Araxá e Tapira;

¹ Reservas medidas e indicadas, 1.000 t.

Amazonas (21,34%), em São Gabriel da Cachoeira e Presidente Figueiredo e em Goiás (3,58%), em Catalão e Ouidor, conforme mostra a Tabela 6 (PEREIRA JR., 2009).

Tabela 6 - Reservas Brasileiras de Nióbio em 2008 (1000 t)

UF	Minério (1000 t)	Medida Contido em Nb ₂ O ₅ (t)	Teor (%)	Indicada 1000 t	Inferida 1000 t	Total 1000 t
MG	632.560	3.851.232	0,61	15.400	1.100	649.060
AM	179.795	2.038.523	1,13	460.640	2.852.893	3.493.328
GO	30.105	97.504	0,32	39.638	8.208	77.951
TOTAL	842.460	5.987.259	0,71	515.678	2.862.201	4.220.339

Fonte: DNPM, 2009.

4.3 – Produção Mundial

A Figura 3 apresenta a produção mundial de nióbio entre 1997 e 2008.

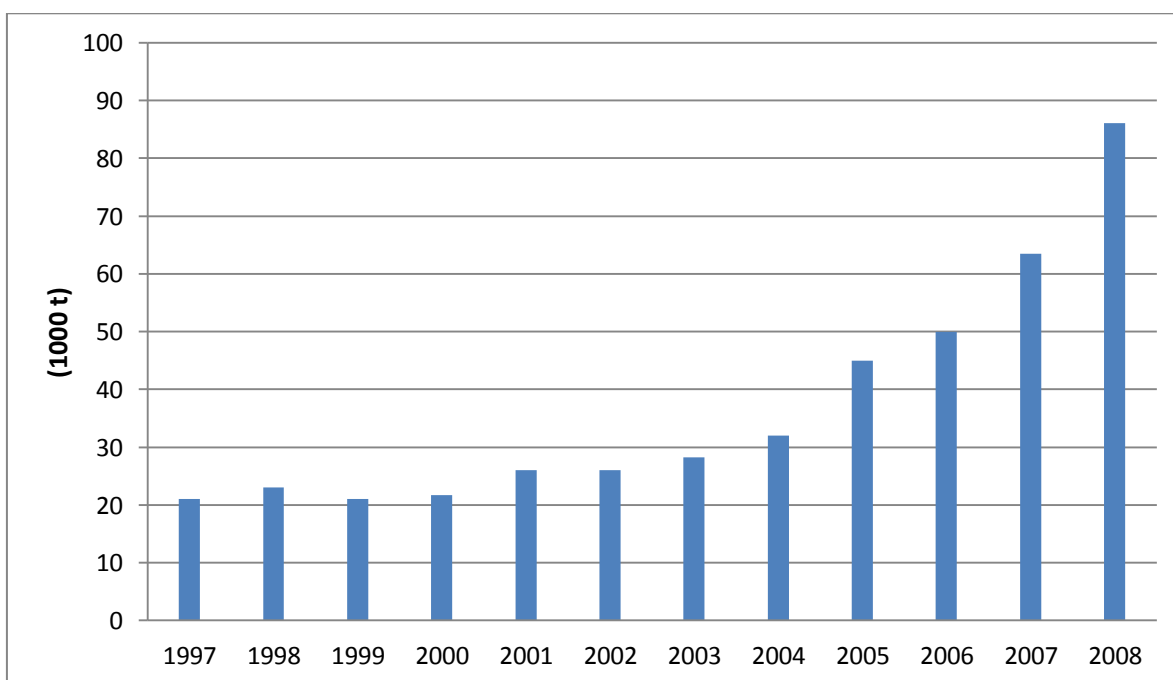


Figura 3 – **Produção mundial de nióbio entre 1997 e 2008.**

Fonte: Globe Metals & Mining apud LIMA, 2010.

As principais empresas responsáveis pela produção mundial de nióbio são a Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM), que produz nióbio nos depósitos do Complexo do Barreiro, em Minas Gerais; a Mineração Catalão, cujos depósitos estão localizados nos Complexos de Catalão I, II e Ouvidor, em Goiás, e a Canadense IAMGOLD.

De acordo com a empresa IAMGOLD, em 2008, a produção mundial de ferro-nióbio foi de 86.095 t e a produção de nióbio 68.000 t de Nb_2O_5 . No plano mundial, as principais fontes de suprimento de nióbio estão no Brasil, nas minas da CBMM e da Mineração Catalão e no Canadá, na mina da empresa IAMGOLD. A maior parte da produção mundial é comercializada sob a forma de ferro-nióbio.

Em 2008, foram registrados dados irrelevantes de produção de minério na Austrália, Ruanda, Nigéria, Moçambique e Etiópia, que juntos não ultrapassaram participação de 1% no mercado.

No Malawi, o Projeto Kanyika está em implantação. Trata-se de um depósito com reservas indicadas de nióbio, urânio, tântalo e zircônio. O depósito é controlado pela empresa Globe Metals & Mining e encontra-se em estágio avançado de exploração, com um total de reservas medidas e indicadas de 23 milhões de toneladas e, das quais 174.000 toneladas de Nb_2O_5 . De acordo com a Globe Metals & Mining, o Projeto Kanyika tem a expectativa de iniciar a produção de nióbio em 2013, com previsão de produzir três mil toneladas por ano, principalmente na forma de ferro-nióbio.

Na República do Congo, há produção de pirocloro na mina Lueshe. A produção em 2008 subiu 254%, segundo o USGS. No entanto, por questões políticas, que já levaram a mina a fechar em 2004, o nióbio não vem sendo exportado.

4.4 – Produção Brasileira

O Brasil é o maior produtor mundial de minério de nióbio, com produção em 2008 da ordem de 86.000 toneladas do concentrado, considerando-se pirocloro e columbita-tantalita. Segundo o IBRAM, o país foi responsável por 96% da produção mundial.

No Brasil, há apenas duas empresas que extraem o minério, beneficiam e elaboram os produtos finais de nióbio: a CBMM, que arrendou a jazida de nióbio da CODEMIG em Araxá, Minas Gerais e a Mineração Catalão 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. Atualmente, a CBMM tem capacidade de produção de 90 mil toneladas por ano e a Companhia pretende expandir a capacidade de produção anual para 150 mil toneladas em 2015. Em 2010, a produção estimada é de 62 mil toneladas, dos quais 5% são suficientes para suprir toda a demanda nacional para o produto (IBRAM). A Anglo American, que possui capacidade para tratamento de 876 mil t/ano de minério, produção de 7,2 mil t/ano de concentrado de pirocloro e produção de 7,5 mil t/ano para a liga ferro-nióbio, anunciou em outubro de 2009, mudanças na sua estrutura de gestão que incluem a venda da Mineração Catalão.

Os processos de extração, beneficiamento do minério e transformação do concentrado em liga de ferro-nióbio pelas duas mineradoras apresentam diferenças não apenas na escala de suas plantas industriais, mas também em seus processos produtivos, principalmente devido às diferenças mineralógicas de suas jazidas.

Na Mineração Catalão, o minério de pirocloro é extraído em três minas: a mina de Boa Vista e pelas minas 1 e 2. A primeira mina contém um alto teor de sílica e

as duas últimas contêm um alto teor de minério de ferro, o que obriga a beneficiar estes minérios separadamente, pois caso contrário, a quantidade de nióbio extraída seria muito pequena. Na mina, utilizam-se detonadores a base de uma emulsão especial contendo nitrato que não causa aos mineradores efeitos colaterais como enxaquecas, caso utilizassem os explosivos convencionais. Da mina, o minério é levado em caminhões para a unidade de britagem e moagem.

A CBMM possui uma planta significativamente maior do que a da Anglo American em tamanho e escala. A mina de pirocloro da CBMM localiza-se no Complexo do Barreiro, dentro de uma área mineralizada a nióbio. A mineração é feita a céu aberto por bancos de 10m de altura sem necessidade do uso de explosivos ou qualquer outro artifício, uma vez que o material, tanto o minério quanto o estéril é friável e de fácil desmonte. Este minério é transportado por correia transportadora até a unidade de concentração (PEREIRA JR., 2009).

A produção brasileira entre 1997 e 2008 é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 - Produção de Nióbio no Brasil - 1997 - 2008

Anos	Contido no concentrado (em t Nb₂O₅)	Óxido de Nióbio (t)	Contido na Fe-Nb (em t Nb)
1997	25.688	1.745	16.681
1998	33.795	2.400	20.516
1999	31.352	1.375	18.866
2000	31.190	1.274	18.218
2001	39.039	2.632	24.864
2002	41.303	2.371	24.174
2003	36.692	2.064	24.875
2004	34.016	2.529	25.169
2005	56.023	3.399	38.819
2006	68.850	4.008	41.566
2007	81.922	2.915	52.442
2008	60.692	3.812	52.442

Fonte: DNPM, 2009.

A produção de nióbio no Brasil, no período entre 1997 e 2008 teve um aumento de 136,26% na produção do concentrado de pirocloro, alta de 118,45% na produção de óxido de nióbio e de 222,75% na produção da liga ferro-nióbio.

No ano 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, segundo PEREIRA JR., (2009), resultando na paralisação da planta de produção de óxido de nióbio e, pelo fato de se ter uma oferta superior à demanda e aos estoques.

A Figura 4 ilustra a produção de nióbio concentrado e também nas formas de óxido ou liga.

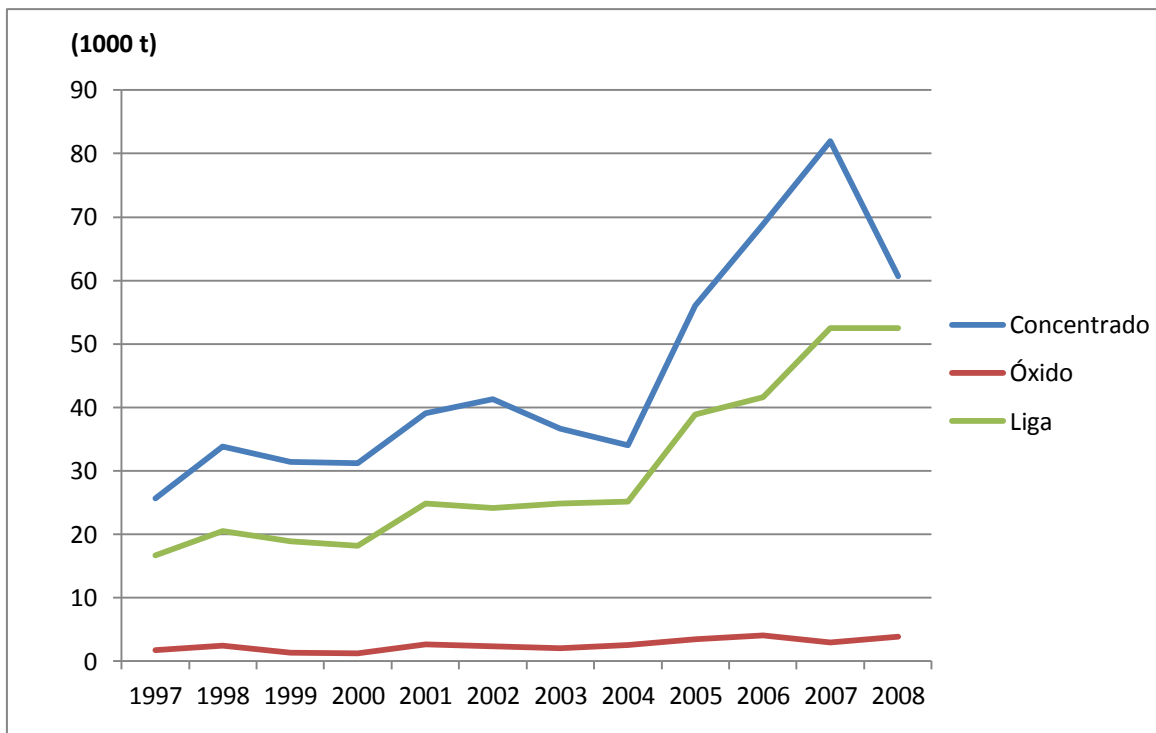


Figura 4 – Produção de nióbio 1997-2008.

Fonte: DNPM.

A partir de 2004, houve 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 China e 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 Fe-Nb.

A diminuição na produção no ano de 2008 foi reflexo da crise na economia global, que ocasionou a diminuição da demanda pelos produtos de nióbio. A CBMM planejava um investimento de US\$ 250 milhões, para aumentar sua capacidade de produção em 30% e como conseqüência da crise optou por adiar tal medida.

4.4.1 – Processamento de Minério de Nióbio

O pirocloro é concentrado com outros minerais pesados por métodos de densidade via úmida e é separado usando-se diversas combinações de densidades, alta tensão eletrostática e equipamentos de alta intensidade magnética (NEVES, 1973).

O beneficiamento do minério de Araxá é efetuado na Seção de Flutuação da CBMM localizada próxima ao depósito e devido ao estado de alteração do minério, não há necessidade de britagem na usina de Araxá. Entretanto, antes da usina de concentração propriamente dita, existe um pequeno britador de impacto, utilizado para quebrar torrões e uma ou outra rocha porventura encontrada no minério (NEVES, 1973).

O minério britado a menos de 50 mm e o passante na peneira se juntam em uma mesma correia e vão para o silo de minério da concentração. No processo de moagem, o minério é reduzido a partículas de tamanho inferior a 0,104 mm, permitindo a liberação dos cristais de pirocloro (CBMM, 2010).

Após a moagem, o minério passa por um processo de separação magnética, da qual é retirada a fração de magnetita (Fe) existente no minério; a fração magnética

contendo ferro é bombeada para uma represa especial, onde é estocada para uma eventual comercialização. A parte não magnética é levada para o deslame, de onde são retiradas as lamelas lateríticas que podem impedir a seqüência do processo (PEREIRA JR., 2009).

Feito o deslame, a polpa deslamada passa por um processo de flotação e filtragem. No processo de flotação o pirocloro é concentrado em células de flotação, onde partículas de pirocloro são expostas a reagentes químicos e coletadas em bolhas geradas pela injeção de ar no fundo das células. O concentrado flotado tem um teor de 60% de Nb_2O_5 . O rejeito é depositado em uma barragem. 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) (PEREIRA JR., 2009).

O processo de produção da liga Fe-Nb é feito a partir de uma reação aluminotérmica onde são misturados o concentrado de pirocloro, a sucata de ferro ou o óxido de ferro e o carvão de origem vegetal. Os reatores consistem em um cilindro de chapa de carbono revestido com tijolos de Magnesita e posicionados em um leito de areia e sílica sobre uma concavidade cônica preparada previamente e destinada a receber todo o metal a ser produzido durante a reação. A areia do fundo do reator é revestida por uma camada de bentonita e cal (PEREIRA JR., 2009).

Todo o fósforo, enxofre e cerca de 20% do chumbo contido no concentrado passam ao ferro-liga, e por um processo de lixiviação, reduzindo estes elementos aos níveis desejados. Após o término da reação a escória é vazada e o ferro-nióbio é deixado em um leito de areia para esfriar e solidificar. A escória é removida e soterrada em local confinado, conforme as normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), devido ao pequeno conteúdo radioativo. Após a solidificação, o Fe-Nb é britado, amostrado, analisado e estocado em tambores de 1000 kg. O Fe-Nb pode

ser embalado em tambores de 250 kg, podendo também ser embalado em tambores de 25 lb. ou sacos (big bags) conforme as solicitações dos clientes, e levados até o porto do Rio de Janeiro em carretas para serem exportados (PEREIRA JR., 2009).

4.5 – Consumo

A produção e o consumo de nióbio estão estritamente relacionados ao comportamento do setor siderúrgico, condicionado à indústria automobilística, aeroespacial e petrolífera (PEREIRA JR., 2009).

Conforme se observa na Figura 5, o comportamento do consumo da liga ferro-nióbio acompanha o desempenho do consumo de aço, mas nos últimos anos da série, a inclinação da curva demonstra uma taxa de crescimento acima da verificada para o aço, o que pode ser atestado pelo índice de intensidade do uso da liga em aços. Esses índices têm variado ao longo dos anos, mas sempre a taxas superiores ao crescimento do consumo do aço.

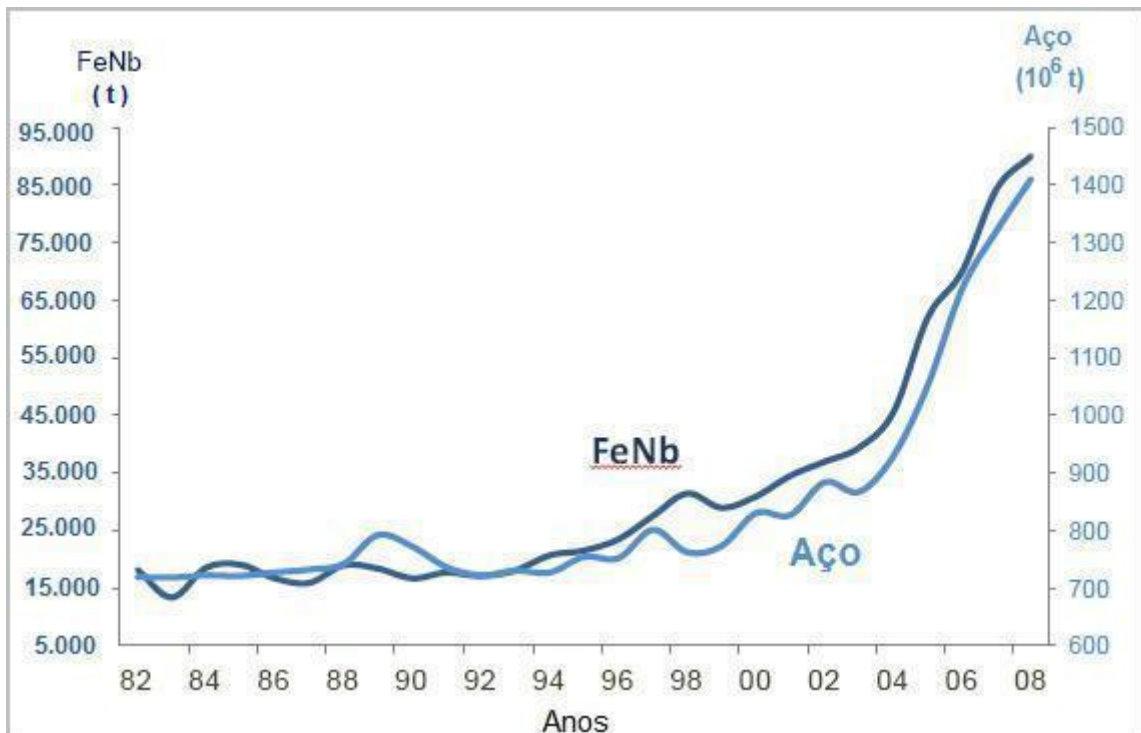


Figura 5 - Consumo mundial de FeNb e Aço.
Fonte: IAMGOLD, 2009.

Tal fenômeno pode ser explicado pela crescente exigência dos mercados consumidores para aços especiais contendo nióbio face às características de qualidade e resistência proporcionadas.

A Tabela 8 traça um perfil setorial da demanda por nióbio no mundo, relacionando a utilização industrial com as indústrias consumidoras e apontando a participação percentual de cada uma na demanda mundial.

Tabela 8 - Distribuição Setorial da Demanda de Nióbio

UTILIZAÇÃO INDUSTRIAL		INDÚSTRIAS CONSUMIDORAS	PARTICIPAÇÃO
AÇOS	Microligados, Inoxidáveis, Ferramentas, Outros.	Petrolífera, Construção Civil, Automobilística, Naval, Aeronáutica, Ferramentas.	87%
SUPERLIGAS	Ni, Cr, Co, Mo, W, Ti, Fe, Mn Ex: Inconel	Aeronáutica, Eletrônica, Aeroespacial, Petroquímica, Armamentos	10%
LIGAS SUPERCONDUTORAS	Zircalloy, Nb + Ti, Outras.	Eletrônica, Nuclear, Aeronáutica, Aeroespacial.	3%
COMPONENTES ELETRÔNICOS E ÓPTICOS	Niobato de lítio, filtros, capacitores, lentes fotográficas, lentes oftálmicas.	Eletro-Eletrônicos, Equipamentos Óticos, Equipamentos Fotográficos	

Fonte: LIMA, 2010

O consumo principal é realizado para a fabricação de diferentes tipos de aço: microligados, inoxidáveis, aço-ferramenta, dentre outros e representa 87% do total. Em seguida, a utilização para produção de superligas tem fatia de 10% na demanda mundial por nióbio. Ligas Supercondutoras e Componentes Eletrônicos e Óticos são responsáveis por menor parcela, com 3% da demanda mundial.

Na utilização para aços, o produto primário é a liga Fe-Nb (65% Nb), enquanto que nas demais, o produto primário é o óxido de nióbio (99% Nb₂O₅).

Entre 1997 e 2008, houve aumento de 225% no saldo produção-consumo de nióbio. Entre 2004 e 2007, os aumentos acompanharam a forte expansão da indústria automobilística e os aumentos nos preços dos barris de petróleo (PEREIRA JR., 2009). A Tabela 9 e a Figura 6 apresentam o balanço entre produção e importação de Óxido de Nb e contido na liga Fe-Nb e consumo aparente de nióbio no Brasil, entre 1997 e 2008.

Tabela 9 - Balanço Produção - Consumo de Nb (t)

Anos	Produção	Consumo Aparente	Saldo
1997	18.426	3.092	15.334
1998	22.916	3.274	19.642
1999	20.241	2.356	17.885
2000	19.242	1.446	18.046
2001	27.496	8.254	19.242
2002	26.545	7.928	18.617
2003	29.939	7.889	22.050
2004	27.698	6.961	20.737
2005	42.818	7.032	35.786
2006	45.574	6.011	39.563
2007	55.357	7.141	48.216
2008	57.201	8.199	49.902

Fonte: DNPM – Sumário Mineral (1998-2009)

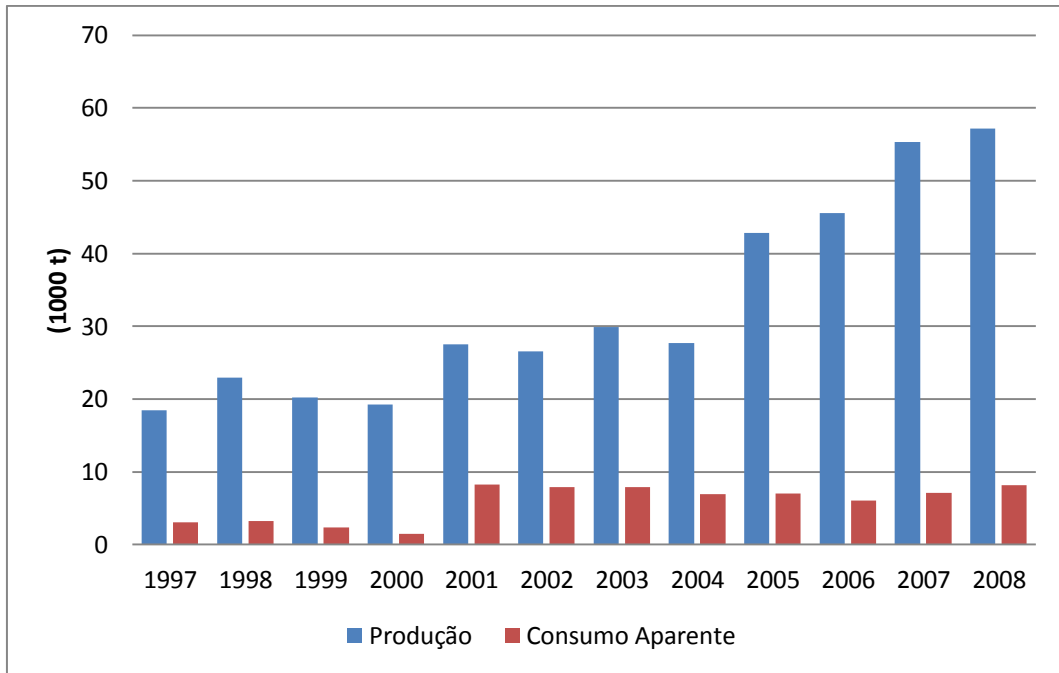


Figura 6 – Balanço Produção / Consumo Aparente de nióbio – 1997-2008.
 Fonte: DNPM – Sumário Mineral (1998-2009).

4.6 – Comércio

Segundo o DNPM (2009), o Brasil não importa nióbio desde 1993, sendo auto-suficiente para atender a demanda do mercado interno, além de suprir quase a totalidade da demanda mundial pelo produto.

O comércio de nióbio envolve basicamente a liga ferro-nióbio, seguindo-se com menor participação o óxido, o metal, ligas e outros compostos a base de nióbio. Considerando-se seu principal produto, a liga ferro-nióbio, a comercialização entre países tem como principais fornecedores o Brasil, respondendo por mais de 90% da oferta externa, seguido pelo Canadá.

Os principais países consumidores são os EUA, Japão, China e alguns países da Europa Ocidental (Alemanha, Inglaterra, França, Itália, Bélgica e Suécia, além de outros sem posição de destaque) (LIMA, 2010). A Tabela 10 apresenta dados sobre o comércio exterior de nióbio entre 1997 e 2008.

Tabela 10 - Comércio Exterior de Nióbio - 1997 - 2008

Anos	Liga FeNb		Óxido de Nb	
	Em t.	10 ³ US\$-FOB	Em t.	10 ³ US\$-FOB
1997	13.947	211.600	1.387	22.229
1998	18.504	239.964	1.138	19.504
1999	16.821	223.945	1.064	18.170
2000	17.407	232.084	639	11.080
2001	18.339	242.024	903	13.986
2002	18.405	237.595	217	4.158
2003	18.600	233.967	340	5.860
2004	20.145	249.326	592	9.739
2005	34.725	468.844	495	7.552
2006	39.130	528.730	433	4.660
2007	47.514	1.081.614	702	12.138
2008	48.562	1.601.902	890	24.054

Fonte: DNPM, 2009.

Quanto ao óxido de nióbio, entre 1997 e 2008, foi observada uma queda na quantidade e um aumento nos valores exportados quanto em valores exportados de 49,4% e 45,4% respectivamente. O contínuo aumento nas exportações da liga Fe-Nb e a redução do óxido observadas neste período, principalmente a partir do ano de 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 concorrência de material proveniente de subproduto do estanho (FeNb, Ta) e da columbita-tantalita reprocessados na Rússia e na China levou a uma expansão na oferta de óxido no mercado.

A CBMM exporta 95% da sua produção para 350 clientes, em mais de 50 países, sendo a única empresa nacional a produzir e exportar o óxido de nióbio. A Anglo American Brasil exporta toda sua produção da liga Fe-Nb, principalmente para Alemanha, Estados Unidos, Japão e Holanda, além de outros clientes produtores de aços especiais, no Oriente Médio, Ásia e Austrália (PEREIRA JR., 2009).

O nióbio apresenta significativa importância para a balança comercial brasileira do setor minero-metalúrgico e para a economia dos estados produtores deste insumo: Minas Gerais e Goiás. O estado de Minas Gerais possui o terceiro maior PIB dentre todos os estados da federação e os insumos a base de nióbio contribuem significativamente em sua balança comercial, perdendo apenas para as exportações de minério de ferro e derivados e para o café.

Entre 1997 e 2008, o saldo da balança comercial dos produtos derivados de nióbio cresceu 367,76%. Entre 2006 e 2007, em virtude do *boom* chinês, foi registrado aumento de 105%. A Figura 7 apresenta a o saldo da balança comercial de nióbio de 1997 a 2008.

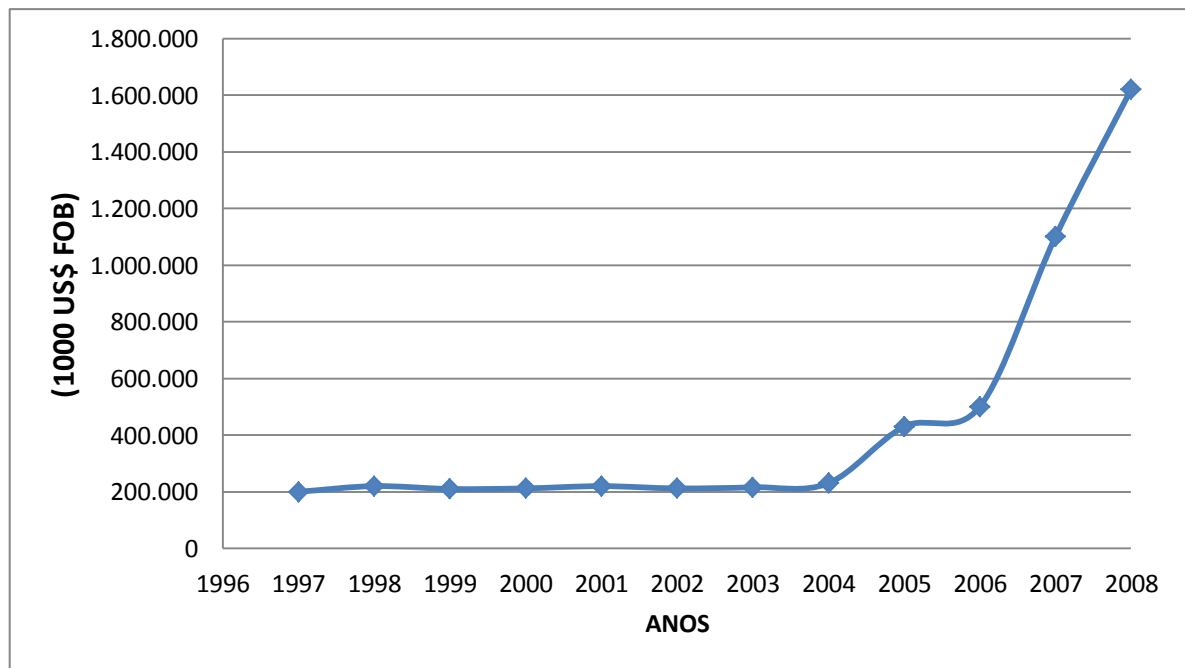


Figura 7 - Saldo da balança comercial de nióbio.

Fonte: DNPM, 2009.

De acordo com o DNPM (2009), a CBMM em 2008 foi responsável por 91,3% do total de divisas geradas por exportações de produtos a base de nióbio (Nb_2O_5) no país, totalizando US\$ FOB 1.485.169.524,00 em entrada de divisas. Esta empresa exportou 42.752 t de Nb contido na liga ferro-nióbio e 702 t de óxido de nióbio. Os principais blocos econômicos e países importadores do ferro-nióbio brasileiro foram:

União Européia (27,7%), China (26,8%), América do Norte-NAFTA (17,7%), Japão (12,9%), Tigres Asiáticos (10,5%), Índia (2,1%), demais países blocos (2,3%). O óxido de nióbio foi exportado para os EUA (94,2%), Japão (4,4%) e União Européia (1,4%).

Ainda segundo o DNPM, em 2008, a Anglo American exportou 6.982 t de liga Fe-Nb, com 4.608 t de nióbio contido, para aplicação em aços microligados, com aplicações na construção civil, na indústria mecânica, aeroespacial, naval, automobilística, dentre outros setores. A receita auferida foi de US\$ FOB 140.786.388,10 e os principais países importadores foram U.E. (36,7%), EUA (23,2%), Japão (22,6%) e China (7,1%).

4.7 – Preços

O preço do nióbio está diretamente relacionado ao comportamento da siderurgia. A Tabela 11 apresenta os preços praticados na exportação da liga Fe-Nb e do óxido de nióbio.

Tabela 11 - Preços da Liga Fe-Nb e Óxido de Nb - 1997-2008

Ano	Liga Ferro-Nióbio US\$/t	Óxido de Nióbio US\$/t
1997	13.458	16.027
1998	13.952	17.138
1999	13.313	17.077
2000	13.333	17.340
2001	13.197	15.488
2002	12.826	19.161
2003	12.578	17.235
2004	12.377	16.451
2005	13.502	15.257
2006	13.512	10.762
2007	22.764	17.291
2008	32.987	27.927

Fonte: DNPM, 2009.

A demanda mundial pelo metal está associada à realização de grandes projetos que utilizam aços fortalecidos pelo nióbio como gasodutos, refinarias, plataformas de exploração de petróleo, etc.

Entre 2006 e 2008, observa-se um forte aumento nos preços dos insumos a base de nióbio. O aumento foi de 144,13% para a liga Ferro-Nióbio e 159,49% para o óxido de nióbio. O forte aumento foi reflexo da elevada demanda da indústria siderúrgica chinesa por aços de qualidade superior, além da valorização do real frente ao dólar entre 2002 e 2008, realização de novos investimentos e renovação dos contratos. A Figura 8 apresenta os preços de liga e óxido de nióbio no período entre 1997 e 2008.

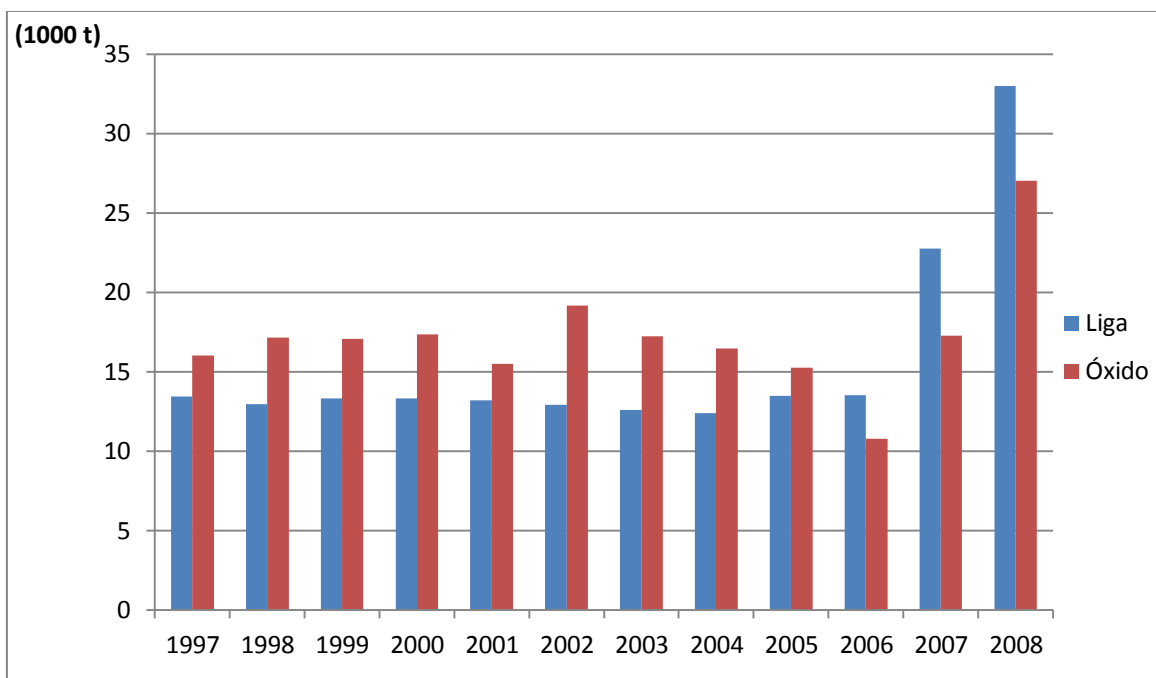


Figura 8 - Preços da liga Fe-Nb e do Óxido de Nb.

Fonte: Sumário Mineral DNPM.

5 – PROJEÇÕES DA DEMANDA DE NIÓBIO PARA 2010 – 2030

Com base no comportamento do consumo global do país (vendas internas e externas), Lima (2010) desenvolveu um modelo para projeção dos valores do consumo para os anos de 2009 a 2030, considerando como variáveis explicativas o comportamento do PIB do país e o preço de comercialização da liga ferro-nióbio.

O modelo projetou três cenários: pessimista (C1), normal (C2) e otimista (C3). Para os valores apresentados para os três cenários, as taxas médias geométricas anuais para a série apresentaram índices abaixo da média observada para o consumo histórico da ordem de 6,7% ao ano, influenciada pelos valores ocorridos para os anos de 2006 a 2008, que foram bem acima dos valores registrados nos anos anteriores.

Por isso, o autor decidiu por ajustar os valores projetados pela função consumo, adequando-os às expectativas do mercado, principalmente para os próximos anos.

O modelo aplicado e os ajustes de ponderação sobre os valores projetados, com base nas expectativas para o comportamento do consumo da liga ferro-nióbio, apontam, como exposto na Tabela 12, os seguintes cenários para a demanda do produto para os anos de 2010 e 2030.

Tabela 12 - Projeção da Demanda de Fe-Nb - 2010 e 2030

Cenários ²	2010 (t)	2030 (t)
I (i = 2,70%)	82.838	141.136
II (i = 4,05%)	85.031	188.112
III (i = 5,40%)	87.251	249.795

Fonte: LIMA, 2010.

² Taxas geométricas médias entre 2009 e 2030.

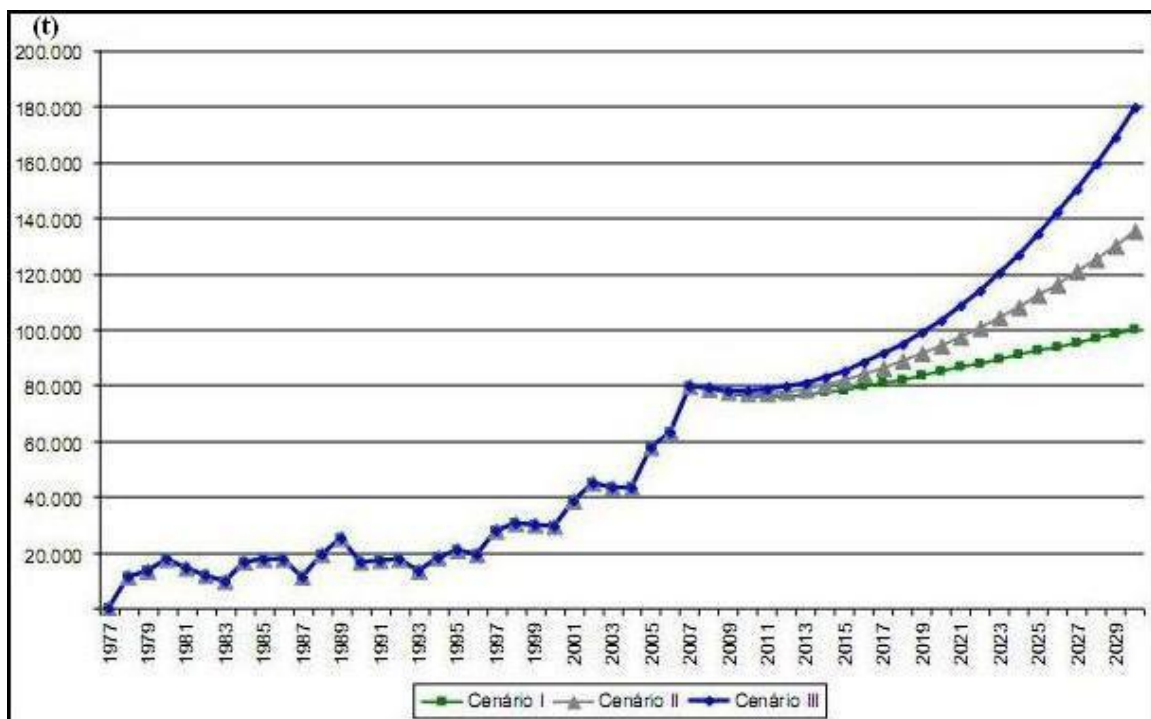
A Tabela 13 apresenta a projeção realizada para as necessidades de minério concentrado de nióbio em 2010 e 2030.

Tabela 13 - Projeção da Necessidade de Concentrado de Nb - 2010 e 2030

Cenários	2010 (t)	2030 (t)
I (i = 2,70%)	135.854	231.463
II (i = 4,05%)	139.450	308.520
III (i = 5,40%)	143.092	409.664

Fonte: LIMA, 2010.

A Figura 9 apresenta em gráfico, as projeções realizadas para a demanda do consumo de nióbio para cada ano futuro, nos três cenários possíveis: pessimista (Cenário I), normal (Cenário II) e otimista (Cenário III), de 2010 a 2030. A Tabela 14 apresenta os valores projetados para a demanda de nióbio nos próximos vinte anos.



Fonte: LIMA, 2010.

Tabela 14 - Valores Projetados Para Demanda de Nb - 2010-2030

Valores Projetados			
Anos	Cenário I	Cenário II	Cenário III
2009	76.965,13	77.283,79	78.035,98
2010	76.149,34	76.859,29	77.834,85
2011	75.879,64	77.068,027	78.357,00
2012	76.051,24	77.771,61	79.450,90
2013	76.559,86	78.869,54	81.009,24
2014	77.335,39	80.289,23	82.954,64
2015	78.325,59	81.976,79	85.230,61
2016	79.449,75	83.963,61	88.017,57
2017	79.449,75	83.963,61	88.017,57
2018	82.015,55	88.680,61	94.904,22
2019	83.426,77	91.357,16	98.932,83
2020	84.908,96	94.221,17	103.322,31
2021	86.379,08	97.342,95	108.329,75
2022	87.844,40	100.702,79	113.924,77
2023	89.310,77	104.286,62	120.090,47
2024	90.782,86	108.084,71	126.820,37
2025	92.264,45	112.090,80	134.116,26
2026	93.758,59	116.301,37	141.986,78
2027	95.267,79	120.715,13	150.446,32
2028	96.794,08	125.332,61	159.514,31
2029	98.339,17	130.155,85	169.214,68
2030	99.904,45	135.188,14	179.575,49

Fonte: LIMA, 2010.

6. – CONCLUSÕES

A atual demanda para o nióbio no mercado internacional representa menos de 0,5% das reservas até então identificadas, sem levar em consideração os importantes depósitos de São Gabriel da Cachoeira (pirocloro) e Presidente Figueiredo (columbita-tantalita), no estado do Amazonas. Assim, as reservas minerais de nióbio são suficientes para atender a demanda por um longo prazo, ainda que o consumo de produtos do nióbio aumente sobremaneira.

A capacidade atual instalada nas atuais unidades localizadas no Brasil, Canadá, Austrália, Congo, e em implantação no Malawi para a produção do concentrado e da liga ferro-nióbio para mineração e metalurgia são suficientes no médio prazo para uma oferta aos níveis das atuais necessidades do mercado mundial mesmo sem levar-se em consideração que algumas empresas têm planos de expandir sua capacidade de produção em um futuro próximo.

O uso do nióbio na elaboração de aços especiais e fabricação de ligas com outros metais têm crescido a uma taxa superior à própria produção de aço. Tal fato caracteriza uma tendência das siderúrgicas de ampliar e diversificar a utilização do nióbio na fabricação dos aços em resposta à demanda dos tradicionais setores consumidores.

A demanda pelo nióbio deverá concentrar-se na China, EUA, Japão e Europa Ocidental, com forte liderança da China na demanda mundial, face às taxas de crescimento e aos maciços investimentos em infra-estrutura básica. Brasil e Índia também devem ampliar sua participação no mercado, ante suas perspectivas de crescimento econômico e conseqüente investimento em setores de infra-estrutura básica, que são grandes consumidores de aço.

As dificuldades econômicas em países como EUA, Japão e alguns países Europeus repercutem no desempenho do setor metalúrgico mundial, incluindo o setor de ferro-ligas, e deverão manter-se durante os anos 2010 e 2011. Sob este aspecto a estabilidade dos preços da liga ferro-nióbio pode ser afetada, proporcionando que empresas concorrentes de produtos substitutos ampliem sua concorrência.

Destarte, o desempenho e desenvolvimento da siderurgia mundial continuarão sendo o norte do aproveitamento econômico do nióbio, e de seu principal produto: a liga ferro-nióbio.

O Brasil na posição de maior produtor mundial de nióbio tem o importante papel de adotar políticas de incentivos comerciais que estimulem o uso de nióbio para o comércio exterior. Deve também promover pesquisas tecnológicas com objetivo de enobrecer os produtos a base de nióbio, o que pode garantir uma expansão sustentável da geração de valor, bem como realizar pesquisas cujos resultados permitam ampliar a utilização do nióbio pela indústria siderúrgica e metalúrgica e fomentar o desenvolvimento de novos produtos e compostos para uso em setores de equipamentos médicos, metais especiais, óticos, indústria aeronáutica, aeroespacial, automobilística, dentre outras.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BROD, J. A., RIBEIRO, C.C., GASPAR, J.C., JUNQUEIRA-BROD, T.C., BARBOSA, E. S. R., RIFFEL, B. F., SILVA, J. F., CHABAN, N., FERRARI, A. J. D. 2004. *Geologia e Mineralizações dos Complexos Alcalino-Carbonatíticos da Província Ígnea do Alto Parnaíba* em: 42 Congresso Brasileiro de Geologia, Araxá, Minas Gerais, Excursão 1 (CD-ROM).

CARVALHO, W. T. 1974. *Aspectos geológicos e petrográficos do Complexo Ultramáfico-Alcalino de Catalão I, Goiás*. Congresso Brasileiro De Geologia, 28, Porto Alegre. Anais, SBG v. 5.

CHAÚQUE, F. R. 2008. *Estudo geocronológico, litogeoquímico e de geoquímica isotópica de alguns carbonatitos e rochas alcalinas de Moçambique*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília.

CORDEIRO, P. F. O. 2009. *Petrologia e metalogenia do depósito primário de nióbio do Complexo Carbonatítico-Foscorítico e Catalão I, GO*. Tese de mestrado. Universidade de Brasília.

DNPM, Anuário Mineral Brasileiro, Brasília, 1998, disponível na internet em: http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=365 Acessado em: 20/10/2010.

————— Anuário Mineral Brasileiro, Brasília, 1999, disponível na internet em: http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=364 Acessado em 20/10/2010.

————— Anuário Mineral Brasileiro, Brasília, 2000, disponível na internet em: http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=363. Acessado em: 20/10/2010.

————— Anuário Mineral Brasileiro, Brasília, 2001, disponível na internet em: http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=362. Acessado em: 15/10/2010.

————— Anuário Mineral Brasileiro, Brasília, 2002, disponível na internet em: <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/AMB2002/substancia%20n-s.pdf>. Acessado em: 15/10/2010.

————— Anuário Mineral Brasileiro, Brasília, 2003, disponível na internet em: <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/AMB2003/substancia%20n-s.pdf>. Acessado em: 15/10/2010.

————— Anuário Mineral Brasileiro, Brasília, 2004, disponível na internet em: <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/AMB2004/substancia%20n-s.pdf>. Acessado em: 15/10/2010.

————— Anuário Mineral Brasileiro, Brasília, 2005, disponível na internet em: http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/AMB2005/ParteIII_Substancia/substancia%20n-s.pdf. Acessado em: 15/10/2010.

————— Anuário Mineral Brasileiro, Brasília, 2006, disponível na internet em: <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/AMB2006/substancia%20f-m.pdf>. Acessado em: 15/10/2010.

DYER, R. C. 1969. *Os Domos ultrabásicos-alcálinos dos arredores de Catalão*. Geologia Regional. Revista da Escola de Minas de Ouro Preto, v. 27, n. 4.

GIBSON, S. A., THOMPSON, R. N., LEONARDOS, O. H., DICKIN, A.P., MITCHELL, J. G. 1995. *The Late Cretaceous impact of the Trindade mantle plume – evidence from large-volume, mafic, potassic magmatismo in SE Brazil*. Journal Petrol.

GORNI, A. A. & MEI, P. R. 2003. *Aços alternativos ao HY-80 sem a necessidade de aplicação de têmpera e revenido*. Metalurgia e Mineração. Revista da Escola de Minas de Ouro Preto, v. 56, n. 4.

GUIMARÃES, H.N. & WEISS, R.A. 2001. *The complexity of the niobium deposits in the alkaline-ultramafic intrusions Catalão I and II – Brazil: Mineração Catalão, São Paulo, Brazil*. Disponível em: http://www.cbmm.com.br/portug/sources/techlib/science_techno/table_content/sub_1/images/pdfs/002A.pdf. Acessado em 17 de outubro de 2010.

ISSA FILHO, A., LIMA, P. R. A. S., SOUZA, O.M. 1984. *Aspectos da geologia do Complexo Carbonatítico do Barreiro, Araxá, MG, Brasil*. In CBMM, *Complexos Carbonatíticos do Brasil: Geologia*. São Paulo, CBMM, 20-44.

LIMA, J. M. G. 2010. *Relatório Técnico n.º 20 – Perfil da Mineração de Nióbio*, Ministério de Minas e Energia.

MORAES, L. C.; SEER, H. J. ; BENTO, J. H. ; LEAL, C. F. ; MADEIRA, M. R. 2008. *Análise Geométrica Do Alojamento De Magmas No Entorno Do Complexo Alcalino-Carbonatítico Do Barreiro, Araxá, Minas Gerais, Por Meio Da Atitude Espacial De Fraturas E Diques*. In: IV Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados, Foz do Iguaçu. Anais, v. Único.

NEVES, E. M. 1973. *Perfil Analítico do Pirocloro*. Boletim n.º 18, Ministério das Minas e Energia – DNPM.

OLIVEIRA, I. W. B., SACHS, L. L. B., SILVA, V. A., BATISTA, I. H. 2004. *Folha SE-23-Belo Horizonte*. In: Schobbenhaus C. Gonçalves, J. H., Santos, J. O. S., Abram, M. B., Leão Neto, R. Matos, G. M. M., Vicotti, R. M., Ramos, M. A. B., JESUS, J. D. A., Carta Geológica

do Brasil ao Milionésimo: Sistema de Informações Geográficas – SIG e 46 folhas na escala 1: 1.000.000. CPRM, Brasília, Brasil, CD-ROM Pack.

OSMAN, T. M., GARCIA, C. I., *Niobium Bearing Interstitial-Free Steels: processing, structure and properties*. Disponível em: http://www.cbmm.com.br/portug/sources/techlib/science techno/table_content/sub_4/images/pdfs/038.pdf. Acessado em 15 de outubro de 2010.

PEREIRA Jr., R. F. 2009. *Nióbio*. In: RODRIGUES, A. F. da S; Ferraz, C.P. (Coord.), *Economia mineral do Brasil*. Brasília-DF: DNPM.

RIBEIRO, C.C. 2008. *Geologia, geometalurgia, controles e gênese dos depósitos de fósforo, terras raras e titânio do Complexo Carbonatítico Catalão I, GO*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Brasília, Brasília-DF.

SAITO, T. 1972. *Effect of alloying elements on carbide precipitation in Hadfield steel*. The Journal of Iron and Steel of Japan, Vol. 58, No. 3.

SEER, H. J. 1999. *Evolução Tectônica dos Grupos Araxá e Ibiá na Sinforma de Araxá-MG*. Universidade de Brasília (Tese de Doutorado) 267p.

SERIN, B., DESALOS, Y., MAITREPIERRE, P. H., ROFES-VERNIS, J. 1978. *Caractéristiques de transformation et propriétés d'aciers à bas carbone au Nb-B*, Mem. Sci.Rev. Met., 75, Paris.

SILVA, A. B., MARCHETTO M., SOUZA O. M. 1979. *Geologia do complexo carbonatítico de Araxá (Barreiro), MG*. Mineração e Metalurgia.

SILVA, L.G.O. 1994. *Nióbio: mercado nacional e internacional: Modelo de previsão do consumo de ferro-nióbio*, Dissertação de Mestrado, UNICAMP, São Paulo.

SILVA, G. N. 2004. *Efeito da substituição do molibdênio pelo níobio e níobio-boro em aços Hadfield no desempenho ao desgaste abrasivo*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais.

TELES, J. M. 2007. *Torneamento de ferro fundido nodular ferritizado com níobio utilizando ferramentas de metal duro*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Itajubá, MG.

THAKUR, D. G., RAMAMOORTHY, B., VIJAYARAGHAVAN, L. 2010. *Effect of high speed cutting parameters on the surface characteristics of superalloy Inconel 718*, Proceedings of the World Congress on Engineering 2010, vol. III, London, U.K.

THOMPSON, R.N., GIBSON, S. A., MITCHELL, J. G., DICKIN, P., LEONARDOS, O. H., BROD, J.A., GREENWOOD, J.C. 1998. *Migrating Cretaceous-Eocene magmatismo in the Serra do Mar alkaline province, SE Brazil: melts from the deflected Trindade mantle plume?*.

WOOLEY, A. 2001. *Alkaline rocks and Carbonatites of the World. Part 3: Africa*. Geological Society of London.

8 - BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ANDRADE, M. L. A., CUNHA, L. M. S., GANDRA, G. T. 1999. *Panorama da Indústria Mundial de Ferroligas*, BNDES, Informe Setorial Mineração e Metalurgia, v. 10, p. 57-114.

ANDRADE, M. L. A., CUNHA, L.M.S, GANDRA, G.T., RIBEIRO, C.C. 2000. BNDES, Informe Setorial Mineração e Metalurgia, *Nióbio: O Brasil no topo*. Rio de Janeiro, v. 32.

CHATTERJEE, K. K. 2007. *Uses of Metals and Metallic Minerals*, New Delhi, India: New Age International (P) Limited Publishers, 314 p.

CUNNINGHAM, L. D. 1998. *Columbium (Niobium)*, in: Metal Prices in the United States through 1998. U.S. Bureau of Mines.

DNPM, *Balanço Mineral Brasileiro*, Brasília, 2000, disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/niobio.pdf>. Acessado em 01/11/2010.

ROSAS, R. *CBMM quer expandir capacidade para 150 mil toneladas anuais de nióbio*. Valor Econômico, Rio de Janeiro, 22 de setembro de 2010, Empresas, Mineração. Disponível em: <http://www.valoronline.com.br/online/cbmm/46566/312600/cbmm-quer-expandir-capacidade-para-150-mil-toneladas-anuais-de-niobio>. Acessado em: 21/10/2010.

TORRES, M. G., GASPAR, J. C. 1995. *Geoquímica do Manto de Intemperismo da Mina de Fosfato do Complexo Alcalino-Carbonatítico do Barreiro – Araxá-MG*. Universidade de Brasília.