



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PRODUÇÃO



ALEXANDRE GONTIJO DE PAIVA MEYER

A INDÚSTRIA DE NIÓBIO NO BRASIL:
UM ESTUDO SOBRE A EVOLUÇÃO DA
PRODUÇÃO E PERSPECTIVAS PARA O SETOR

Ouro Preto

2025

ALEXANDRE GONTIJO DE PAIVA MEYER

A indústria de nióbio no Brasil: um estudo sobre a evolução da produção e perspectivas para o setor.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Jorge Luiz Brescia Murta

Ouro Preto

2025



FOLHA DE APROVAÇÃO

Alexandre Gontijo de Paiva Meyer

A indústria de nióbio no Brasil: um estudo sobre a evolução da produção e perspectivas para o setor

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Aprovada em 02 de setembro de 2025.

Membros da banca

Doutor - Jorge Luiz Brescia Murta - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
Doutor - Helton Cristiano Oliveira e Gomes - Universidade Federal de Ouro Preto
Doutor - Máximo Eleotério Martins - Universidade Federal de Ouro Preto

Jorge Luiz Brescia Murta, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 02/09/2025.



Documento assinado eletronicamente por **Jorge Luiz Brescia Murta**, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR, em 02/09/2025, às 16:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0971825** e o código CRC **FB008AFD**.

RESUMO

O presente estudo aborda como tema a produção de nióbio no Brasil. A questão central que orienta esta pesquisa é: com base na trajetória recente da indústria de nióbio no Brasil, quais são os cenários esperados para o setor? A relevância deste estudo reside na crescente importância estratégica do nióbio, classificado como matéria-prima crítica por grandes economias, e no domínio quase monopolista do Brasil em sua oferta global. A metodologia adotada incluiu a análise de dados secundários, provenientes de relatórios corporativos, bases estatísticas oficiais e artigos acadêmicos, com uma abordagem qualitativa e quantitativa. Observou-se que a indústria opera em uma estrutura de mercado de alta concentração e que sua principal vulnerabilidade é a extrema dependência do cíclico e maduro mercado siderúrgico. Como resposta a este desafio, foram identificadas estratégias corporativas distintas: uma focada na eficiência operacional para o mercado de ligas metálicas padronizadas e outra, proativa, de diversificação e criação de novos mercados em setores de alta tecnologia. Conclui-se que as perspectivas para o setor dependem menos da abundância do recurso e mais do sucesso da estratégia de expandir a demanda para novas aplicações, como baterias e superligas, marcando uma transição de um modelo de negócio baseado em recursos para um focado em tecnologia e inovação.

Palavras-chave: Nióbio. Metalurgia. Minerais Raros. Inovação tecnológica. Estrutura de Mercado.

ABSTRACT

This study addresses the theme of niobium production in Brazil. The central question guiding this research is: based on the recent trajectory of the niobium industry in Brazil, what are the expected scenarios for the sector? The relevance of this study lies in the growing strategic importance of niobium, classified as a critical raw material by major economies, and in Brazil's near-monopolistic dominance of its global supply. The methodology adopted included the analysis of secondary data from corporate reports, official statistical databases, and academic articles, using a qualitative and quantitative approach. It was observed that the industry operates in a highly concentrated market structure and that its main vulnerability is the extreme dependence on the cyclical and mature steel market. In response to this challenge, distinct corporate strategies were identified: one focused on operational efficiency for the standardized metal alloys market, and another, proactive one, focused on diversification and the creation of new markets in high-tech sectors. It is concluded that the prospects for the sector depend less on the abundance of the resource and more on the success of the strategy to expand demand for new applications, such as batteries and superalloys, marking a transition from a resource-based business model to one focused on technology and innovation.

Keywords: Niobium. Market Structure. Competitive Advantage. Economic Diversification. Critical Raw Material.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Exportações brasileiras totais de ferronióbio (1997–2024). Fonte: ComexStat, tratado pelo autor.	17
Gráfico 2: Evolução Anual das Exportações Brasileiras de Ferroniobio para os Principais Países (Fonte: ComexStat, tratado pelo autor).....	19
Gráfico 3 - Produção Mundial Anual de Nióbio em Concentrados (Fonte: USGS Reports 1996-2024)	19
Gráfico 4 - Evolução do Preço Médio de Exportação (Fonte: ComexStat, tratado pelo autor).....	21
Gráfico 5 - Produção Mundial de Aço Bruto vs. Exportação Brasileira de Ferronióbio (2000-2021) Fonte: ComexStat; World Steel Association	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IUPAC – International Union of Pure and Applied Chemistry

CNPQ - Conselho Nacional de Pesquisas

HSLA - Aços micro ligados de alta resistência

Fe-Nb – Ferronióbio

CBMM – Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração

CMOC - CMOC Group Limited

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	OBJETIVOS	8
1.2	JUSTIFICATIVA	9
2	DESENVOLVIMENTO	11
2.1	FINALIDADE DO METAL	11
2.2	HISTÓRICO E DESENVOLVIMENTO NO BRASIL	13
2.2.1	MINAS GERAIS.....	13
2.2.2	GOIÁS.....	14
3	PANORAMA DO MERCADO E EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO	16
3.1	PRODUÇÃO BRASILEIRA.....	16
3.2	PRINCIPAIS DESTINOS DAS EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS	17
3.3	PRODUÇÃO MUNDIAL.....	19
3.4	VARIAÇÃO DO PREÇO	20
4	PERSPECTIVAS PARA O SETOR.....	23
4.1	MATERIAIS CONCORRENTES.....	23
4.2	CONCENTRAÇÃO DE DEMANDA	24
4.3	EXPANSÃO E DIVERSIFICAÇÃO DO MERCADO	26
5	CONCLUSÃO.....	28

1 INTRODUÇÃO

O presente estudo aborda como tema a produção de nióbio no Brasil. A questão central que orienta esta pesquisa é: com base na trajetória recente da indústria de nióbio no Brasil, quais são os cenários esperados para o setor? A relevância deste estudo reside na crescente importância estratégica global de minerais críticos e do nióbio para a economia brasileira não apenas como um recurso natural com produção global atrelada ao Brasil, mas também como um elemento crucial em futuras tecnologias e diversas aplicações industriais globais.

A indústria do nióbio é essencial para o fornecimento de materiais para diversas indústrias transformadoras, especialmente para a fabricação de superligas, componentes eletrônicos, baterias, vidros especiais e dispositivos médicos. Caracteriza-se pela presença de empresas de natureza vertical, atuando em diferentes etapas do processo produtivo, desde a extração do minério até a produção de produtos de alta pureza e ligas especiais para aplicações em setores como aeroespacial, automotivo, de energia e infraestrutura.

Pela natureza da indústria do nióbio como fornecedora de matérias-primas de alta tecnologia, a dinâmica do setor está intrinsecamente ligada ao comportamento de outras indústrias que necessitam de produtos à base de nióbio. Da mesma forma, o desempenho das empresas que fabricam insumos para a indústria do nióbio está diretamente relacionado ao desempenho da própria indústria do nióbio.

O principal objetivo deste estudo é analisar o setor do nióbio no Brasil. Para tal, os objetivos específicos são: apresentar as principais características e aplicações do metal, a evolução do setor no Brasil; analisar o panorama do mercado a partir de sua descoberta; e, por último, apresentar perspectivas para o setor.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é analisar a evolução da produção e o desenvolvimento tecnológico da indústria de nióbio no Brasil, com o intuito de compreender sua relevância estratégica para a economia nacional e global e identificar cenários futuros esperados para o setor.

Para atingir este objetivo, o estudo se desdobra em objetivos específicos, como investigar a trajetória histórica do setor desde sua descoberta até sua consolidação como líder global; caracterizar o impacto econômico e regional da indústria de nióbio no Brasil e desenvolvimento regional; analisar as tendências de mercado e a demanda global por nióbio, identificando os principais setores consumidores e destinos das exportações; explorar potenciais novas aplicações tecnológicas do nióbio em indústrias emergentes; e avaliar os desafios e oportunidades para o setor.

Esses objetivos guiam a pesquisa para responder à questão central, proporcionando uma visão ampla e fundamentada sobre o papel do Brasil como protagonista global no setor de nióbio e suas perspectivas futuras.

1.2 JUSTIFICATIVA

A realização deste estudo sobre a indústria de nióbio no Brasil é justificada por sua singular relevância estratégica no cenário global. O Brasil detém uma posição de domínio na oferta mundial deste recurso, o que ganha maior peso pelo fato de o nióbio ser classificado como uma matéria-prima crítica tanto pelos Estados Unidos quanto pela União Europeia. Essa classificação, baseada na importância econômica do metal e no alto risco de suprimento, cria uma forte dependência internacional da produção brasileira. Como resultado, a indústria nacional atua como um viabilizador tecnológico para setores globais de ponta, como o siderúrgico, o aeroespacial e o de energia, que dependem do nióbio para alcançar novos patamares de eficiência.

A relevância social e econômica do tema está na contribuição no impacto direto do setor na balança comercial brasileira, sendo uma fonte de exportações de alto valor e a o desenvolvimento econômico e regional, particularmente em áreas como Minas Gerais e Goiás, sedes das duas maiores operações de nióbio do mundo, que geram receita e impulsionam cadeias de suprimentos locais. A análise aprofundada desse setor permite compreender um modelo de negócio raro no cenário mineral.

Este estudo pode contribuir teoricamente ao preencher lacunas na literatura acadêmica sobre o papel do nióbio no desenvolvimento econômico e tecnológico do Brasil, além de ampliar o entendimento sobre as dinâmicas do mercado global deste recurso. Em termos práticos, a pesquisa pode trazer respostas a problemas concretos ao propor formas de maximizar o valor agregado dos produtos de nióbio, já que o Brasil não apenas extrai o minério, mas também realiza beneficiamentos e processos metalúrgicos e químicos avançados, produzindo superligas e outros produtos finais de

alta tecnologia. Essa verticalização da produção é um diferencial estratégico que posiciona o Brasil como líder mundial.

O tema encontra-se em um ponto de inflexão estratégico. A indústria, já consolidada como líder na produção de ferronióbio para um mercado siderúrgico maduro, agora investe na criação de novos mercados em setores emergentes, como o de baterias para veículos elétricos. A pesquisa tem o potencial de analisar este modelo de negócio, que transita de um modelo de fornecedor de insumos de ligas metálicas para uma de desenvolvimento de soluções tecnológicas. Assim, o estudo não apenas avalia o presente e o passado, mas traça as perspectivas econômicas de uma indústria que busca garantir seu crescimento futuro através da inovação.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 FINALIDADE DO METAL

Segundo (Fernandes, 2009) o nióbio é um metal de transição e foi descoberto em 1801 pelo químico inglês Charles Hatchett. Inicialmente foi chamado de colúmbio, termo ainda vagamente utilizado em alguns lugares do mundo, principalmente nos Estados Unidos. No ano de 1949 foi oficialmente reconhecido pela IUPAC e teve seu nome definido como nióbio.

O nióbio tem uma ampla gama de aplicações, destacando-se por ser um dos elementos mais exportados pelo Brasil. Seu uso predominante é na produção de ligas especiais aplicadas em setores estratégicos, como gasodutos e turbinas de ar. Pesquisas recentes indicam que materiais à base de nióbio podem ser desenvolvidos para aplicações de maior valor agregado, como medicamentos seletivos, otimização do uso de energia renovável, e novos materiais nanoestruturados que prometem revolucionar o desempenho de diversos componentes nos próximos anos. (Silva & Nascimento, 2022)

A indústria do nióbio possui uma importância estratégica excepcional para o Brasil, não apenas para o cenário global, mas especialmente para a economia brasileira. Esse metal, devido às suas propriedades únicas, é essencial em diversas aplicações e tecnologias avançadas, incluindo superligas e componentes eletrônicos. Ao contrário de outras áreas da metalurgia que produzem uma variedade de metais como alumínio e cobre, a indústria do nióbio é altamente especializada e posiciona o Brasil como líder mundial na produção desse recurso vital. Este capítulo analisa a evolução histórica, o desenvolvimento e as perspectivas futuras, destacando seu impacto potencial significativo na economia nacional e sua contribuição para a inovação tecnológica e a geração de empregos.

A principal aplicação industrial do nióbio está na produção de aços microligados, particularmente os classificados como HSLA (High Strength Low Alloy), amplamente utilizados nos setores de construção civil, transporte e energia. Mesmo quando adicionado em pequenas proporções, tipicamente inferiores a 0,1%, o nióbio atua como agente de endurecimento e refinador de grão, promovendo ganho de resistência mecânica, tenacidade e soldabilidade aos aços (ALVES; COUTINHO, 2015). Esses efeitos microestruturais permitem a redução de peso em estruturas metálicas sem comprometer a integridade, o que resulta em ganhos de produtividade, redução no consumo de material por unidade produzida e prolongamento do ciclo de vida de

componentes críticos.

Essas vantagens explicam a forte concentração da demanda na indústria siderúrgica, sendo mais de 90% da demanda global de nióbio direcionada à produção de ferronióbio e ligas aplicadas nesse setor (McCAFFREY et al., 2023). Trata-se, portanto, de um mercado volumoso e consolidado, com domínio de aplicações estruturais em chapas metálicas para automóveis, oleodutos, gasodutos e torres de energia.

Apesar dessa predominância, há um crescente interesse nas aplicações especiais e tecnológicas do nióbio em áreas de maior valor agregado. No setor de armazenamento de energia, por exemplo, compostos à base de óxidos de nióbio têm sido estudados como materiais ativos em baterias de íons de lítio. De acordo com Safavi et al. (2022), esses óxidos apresentam propriedades eletroquímicas promissoras, com destaque para sua estabilidade térmica e capacidade de suportar ciclos de carga mais rápidos, o que os torna potenciais candidatos para aplicações em baterias de maior segurança e desempenho.

O nióbio também está presente em ligas supercondutoras, como NbTi e Nb₃Sn, utilizadas em equipamentos que operam sob campos magnéticos, como ressonâncias magnéticas, aceleradores de partículas e reatores nucleares. Embora essas aplicações sejam restritas e altamente especializadas, elas evidenciam o papel estratégico do elemento em tecnologias de ponta (ALVES; COUTINHO, 2015; McCAFFREY et al., 2023).

Nos últimos anos, os óxidos de nióbio vêm sendo testados também para aplicações em baterias de íons de lítio e supercapacitores. De acordo com o relatório de sustentabilidade da CBMM (2023), esses materiais oferecem vantagens potenciais como maior segurança térmica e estabilidade eletroquímica, utilizados em sistemas de armazenamento de energia voltados à mobilidade elétrica e à integração de fontes renováveis. No entanto, tais usos ainda se encontram em estágio inicial e carecem de validações industriais e em termos de escala produtiva.

Em síntese, o nióbio constitui um insumo estratégico cuja função produtiva está centrada na otimização de propriedades mecânicas em ligas metálicas. Suas aplicações emergentes, embora promissoras, ainda dependem de avanços em escalabilidade industrial e de inserção efetiva em cadeias produtivas consolidadas.

2.2 HISTÓRICO E DESENVOLVIMENTO NO BRASIL

De acordo com Dutra (2011), a trajetória do nióbio no Brasil remonta ao período pós- segunda guerra mundial, quando o Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) foi criado em 1951. Durante essa época, a energia atômica e os minerais radioativos estavam no centro das atenções globais. O geólogo Djalma Guimarães, liderou os esforços iniciais de prospecção em três áreas prioritárias do estado de Minas Gerais: Poços de Caldas, São João del Rei e Araxá, devido à presença previamente conhecida de radioatividade nessas regiões.

A investigação inicial de minerais radioativos no Brasil tinha como objetivo principal identificar elementos como urânio e tório. A descoberta de altos níveis de nióbio, especialmente em Araxá, foi surpreendente e redirecionou o foco das pesquisas para este metal. A partir de 1953, com a identificação das grandes concentrações de nióbio nas jazidas de pirocloro do município, iniciou-se um programa intensivo de amostragem e análise, permitindo medições dos teores de metal presente no solo. As análises confirmaram a existência de 4,6 milhões de toneladas de óxido de nióbio até 1957, o que posicionou Minas Gerais como um centro pioneiro na produção e pesquisa do metal. (Dutra, 2011).

O sucesso nas pesquisas e o desenvolvimento da exploração de nióbio tiveram um impacto significativo na economia brasileira e a consolidação do Brasil no mercado global de nióbio foi fruto das iniciativas pioneiras e dos investimentos em tecnologias de análise mineral e aplicações metalúrgicas, que estabeleceram uma base para pesquisas e desenvolvimentos de tecnologia baseada nesse material. (Dutra, 2011).

O Brasil é responsável por quase toda a produção global de ferronióbio e outros produtos e ligas especiais. A totalidade da produção é controlada quase exclusivamente por duas empresas: a Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM), uma empresa do Grupo Moreira Salles, situada em Araxá, Minas Gerais, e a China Molybdenum Co., Ltd., localizada em Catalão e Ouidor, em Goiás. (Silva & Nascimento, 2022).

2.2.1 MINAS GERAIS

A história da produção de nióbio em larga escala no Brasil começa em Minas Gerais, com a Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) emergindo como pioneira na exploração das abundantes reservas de pirocloro em Araxá. Através

de estudos em colaboração com o governo e parceiros internacionais, a empresa evoluiu da produção de minério bruto para a fabricação de microligas e superligas de ferronióbio (Fe-Nb), estabelecendo as bases tecnológicas do setor. A consolidação da CBMM como líder global foi fruto de um alinhamento entre o setor privado e o Estado para desenvolver a concessão e a exploração das minas (Silva, 2019).

A exploração de nióbio em Araxá ocorre no depósito conhecido como Barreiro, cujos direitos minerários pertencem ao estado de Minas Gerais. As reservas deste depósito são estimadas em 462 milhões de toneladas de minério, com um teor excepcionalmente alto, entre 5% a 8% de Nb_2O_5 (CODEMGE, 2018). A riqueza e a escala deste depósito são a base da vantagem competitiva da operação.

O modo de operação da CBMM, que iniciou suas atividades em 1961, é caracterizado por um modelo de negócio singular em parceria com o estado. Desde 1973, a exploração ocorre através de uma sociedade (COMIPA), na qual o governo de Minas Gerais (via CODEMIG, atual CODEMGE) recebe 25% do lucro líquido da comercialização dos produtos (Moscatiello, 2018). Este modelo foca não apenas na extração, mas em uma estratégia de agregação de valor e diversificação, desenvolvendo um portfólio que inclui ferronióbio e um volume crescente de produtos especiais.

Essa estratégia reflete-se diretamente nos resultados da empresa. Conforme o relatório mais recente, o volume de vendas da CBMM em 2024 foi de 145 mil toneladas, sendo 132,5 mil toneladas da liga de ferronióbio e 12,5 mil toneladas de produtos especiais (CBMM, 2025). Esse volume de vendas gerou uma receita líquida de R\$ 14,3 bilhões em 2024, com 95% do faturamento proveniente do mercado externo e os 5% restantes do mercado interno, reafirmando o perfil predominantemente exportador da indústria (CBMM, 2025).

2.2.2 GOIÁS

Seguindo o pioneirismo da mina de Araxá, a exploração do pirocloro em Goiás teve início em 1976, nas regiões de Catalão e Ouidor. A expansão dos projetos extrativistas levou à identificação de jazidas pela Metais de Goiás S.A. (METAGO), que resultaram na criação da Mineração Catalão de Goiás S.A., então controlada pela Anglo American (GONÇALVES, 2020). Com a viabilidade confirmada, a empresa iniciou a extração e o processamento de nióbio para produzir a liga de ferronióbio, sendo a primeira de capital privado a explorar os depósitos do Complexo Alcalino-Carbonatítico de Catalão (CARVALHO, 1988).

Ao longo dos anos, a operação passou por sucessivas expansões para atender à crescente demanda mundial. Destaques incluem a abertura da Mina Boa Vista em 2000, o Projeto Tailings em 2006 para recuperar nióbio de rejeitos, e o Projeto Boa Vista Fresh Rock (BVFR) em 2012. Este último, com um investimento de US\$ 350 milhões, triplicou a capacidade de produção e aumentou a vida útil da mina em aproximadamente 20 anos, elevando a produção de 3,9 mil toneladas em 2005 para 13,7 mil toneladas em 2017 (GONÇALVES, 2020). Em 2016, um marco estratégico ocorreu com a aquisição das operações pela China Molybdenum Co., Ltd. (CMOC), que passou a operar como CMOC Brasil.

A operação em Goiás explora a reserva de nióbio do Complexo de Catalão. De acordo com os dados mais recentes, referentes a 2023, a reserva medida na região totaliza 3,1 milhões de toneladas de minério, com um teor médio de 1,25% de Nb_2O_5 (ANM, 2024). Embora significativo, este teor é consideravelmente distinto do depósito de Araxá (5% a 8% de Nb_2O_5), o que molda a escala e a estratégia operacional da unidade.

Sob o controle da CMOC Brasil, o modo de operação é focado na excelência operacional e na produção em larga escala de uma única liga padronizada, o ferronióbio. Em 2023, a empresa produziu 9.626 toneladas de ferronióbio, consolidando sua posição como a segunda maior produtora mundial (CMOC, 2024). A produção é majoritariamente destinada ao mercado externo, alinhada ao papel da empresa como uma fornecedora estratégica para a indústria siderúrgica global, com destaque para o mercado chinês (GONÇALVES, 2020).

3 PANORAMA DO MERCADO E EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO

A oferta mundial de nióbio é definida por uma estrutura de alta concentração produtiva, um traço distintivo em relação a outras commodities metálicas. O Brasil detém uma posição dominante, respondendo historicamente por cerca de 90% da produção global de ferronióbio e praticamente toda a oferta de produtos de maior valor agregado (GONÇALVES; MILANEZ, 2020). Essa liderança é consolidada no nível corporativo, onde poucas empresas controlam a cadeia.

A CBMM figura como a principal produtora global, tendo sido responsável, por exemplo, por 84,3% da oferta mundial em 2011 (IAMGOLD, 2012). O segundo maior produtor, também brasileiro, é a CMOC (ANM, 2023). Fora do Brasil, a única operação de escala relevante é a da Niobec no Canadá, que em 2011 detinha uma fatia de 8,6% do mercado (IAMGOLD, 2012). Essa estrutura de mercado restrita confere às empresas um poder de barganha significativo, permitindo uma gestão estratégica dos volumes ofertados para modular a dinâmica de preços (GONÇALVES; MILANEZ, 2020).

3.1 PRODUÇÃO BRASILEIRA

A análise do desempenho da produção de ferronióbio no Brasil, ao longo das últimas décadas, pode ser realizada por meio da evolução de suas exportações, considerando que o mercado interno constitui uma pequena parte da demanda total. De acordo com informações da CBMM (2022), mais de 95% da produção nacional foi para exportação em 2022.

A avaliação dos dados do ComexStat, compreendidos entre 1997 e 2024, demonstra um percurso de crescimento estável, embora caracterizado por ciclos de expansão e retração vinculados a acontecimentos econômicos globais (Gráfico 1). No ano de 1997, o Brasil realizava a exportação de aproximadamente 23,8 mil toneladas de ferronióbio.

Esse montante aumentou de maneira expressiva durante a década subsequente, superando 70 mil toneladas em 2008. Esse avanço está vinculado à maior utilização de HSLA na construção civil e na indústria automobilística, especialmente em nações em desenvolvimento. Conforme observado por Alves e Coutinho (2015), a demanda mundial por materiais que apresentem alta resistência e menor peso foi um dos principais impulsionadores do setor durante esse período.

A crise financeira de 2008 resultou em uma diminuição imediata nas exportações, que despencaram para 45,4 mil toneladas no ano de 2009. Entretanto, a recuperação foi ágil: em 2010, os volumes retornaram ao nível anterior à crise. O crescimento foi sustentado até 2018, ano em que o Brasil alcançou 105,9 mil toneladas exportadas, o volume mais elevado registrado.

O ano de 2020 apresentou uma nova queda, devido aos efeitos da pandemia de COVID-19, com uma diminuição para 70,8 mil toneladas. A diminuição é atribuída à desaceleração da produção industrial mundial e à retração da atividade no setor siderúrgico. Há uma recuperação a partir de 2021, fazendo com que o país alcançasse a marca de 91,9 mil toneladas exportadas em 2024.

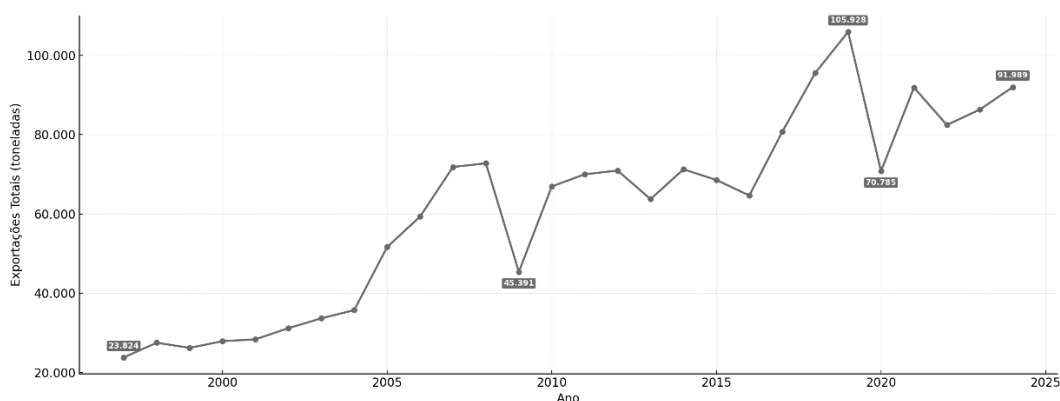


Gráfico 1: Exportações brasileiras totais de ferro-níobio (1997–2024). Fonte: ComexStat, tratado pelo autor.

Esse modelo ressalta uma dependência explícita da produção brasileira em função da dinâmica da demanda global. Apesar de o país responder pela quase totalidade da oferta global (McCAFFREY et al., 2023), essa posição não assegura estabilidade, uma vez que as flutuações no comércio impactam diretamente as mudanças nos ciclos de investimento em mercados estratégicos. A produção nacional, assim, atua em um contexto de vulnerabilidade externa, fazendo-se necessário um monitoramento contínuo das mudanças tecnológicas e geopolíticas.

3.2 PRINCIPAIS DESTINOS DAS EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS

A distribuição das exportações brasileiras de níobio é marcada por uma forte concentração em poucos destinos, o que cria uma complexa rede de interdependências e riscos geopolíticos. Os principais importadores são a China, que se consolidou como o maior consumidor individual, e polos industriais na Europa e América do Norte (ComexStat, 2024). A relevância dos Países Baixos nos dados aduaneiros deve-se à sua função de hub logístico, com o Porto de Roterdã servindo como porta de entrada para a

distribuição do material no continente europeu (GONÇALVES; MILANEZ, 2020).

A China passou a ganhar importância crescente a partir da década de 2010, acompanhando a expansão de sua produção de aço de alta resistência e o fortalecimento de setores como construção pesada, mobilidade e energia. Paralelamente, Cingapura emergiu como um centro regional de redistribuição para mercados asiáticos. Já os Estados Unidos permanecem como um dos destinos estratégicos de longo prazo, com consumo constante.

A importância estratégica do nióbio para as economias desenvolvidas é formalmente reconhecida, já que tanto a União Europeia quanto os Estados Unidos classificam o metal como uma matéria-prima crítica, dada sua relevância econômica e o elevado risco associado à extrema dependência de um único país fornecedor (VON RENNENBERG, 2021; USGS, 2021). Estima-se que mais de 90% do ferronióbio consumido na UE seja originário do Brasil, o que evidencia a vulnerabilidade europeia a qualquer interrupção no fornecimento (VON RENNENBERG, 2021).

Essa dependência externa confere ao Brasil uma posição estratégica, embora seu poder de mercado seja moderado. A capacidade de influenciar preços é limitada pela ameaça, ainda que parcial, de substituição do nióbio por elementos como vanádio, titânio ou molibdênio em certas aplicações, mesmo que tal substituição implique perdas de desempenho ou aumento de custos para a indústria consumidora (HEISTERKAMP; CARNEIRO, 2001; VON RENNENBERG, 2021). Esse cenário reforça a necessidade de uma análise contínua das rotas comerciais e dos fatores tecnológicos e geopolíticos que moldam a demanda global.

O gráfico a seguir apresenta a evolução do valor exportado de ferronióbio brasileiro para os cinco principais destinos entre 1997 e 2024:

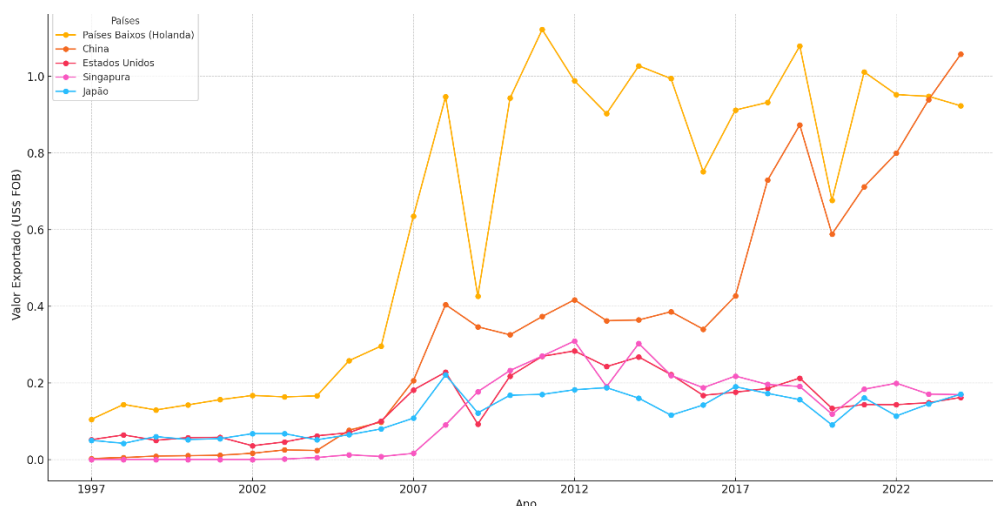


Gráfico 2: Evolução Anual das Exportações Brasileiras de Ferronióbio para os Principais Países. Fonte: ComexStat

3.3 PRODUÇÃO MUNDIAL

A estrutura da oferta global de nióbio é definida por um nível extremo de concentração geoeconômica, conforme apresentado no gráfico 3. Dados recentes confirmam que o Brasil e o Canadá, juntos, respondem por mais de 99% da produção mundial de concentrados minerais de nióbio e de ferronióbio (USGS, 2021). O Brasil, de forma isolada, é o ator dominante, responsável por aproximadamente 92% da produção global, seguido pelo Canadá, com cerca de 7% (USGS, 2025). Essa dinâmica, consolidada ao longo de décadas, demonstra uma estrutura de mercado restrita e com elevadas barreiras à entrada de novos competidores.



Gráfico 3 - Produção Mundial Anual de Nióbio em Concentrados. Fonte: USGS Reports (1996-2024)

A produção mundial tem apresentado uma trajetória de crescimento para atender à demanda por aços de alta performance e outras aplicações tecnológicas. Em 2021, a produção global de nióbio contido em concentrados minerais alcançou 87.600 toneladas,

um aumento de 30% em relação ao ano anterior (USGS, 2021).

As estimativas mais recentes, para o ano de 2024, apontavam para uma produção mundial de 110.000 toneladas, com o Brasil contribuindo com 100.000 toneladas e o Canadá com 7.100 toneladas, o que evidencia a manutenção e a robustez dessa estrutura produtiva concentrada (USGS, 2025). Essa produção em larga escala é extraída, em ambos os países, de grandes depósitos de pirocloro associados a complexos de rochas carbonáticas. (ALVES; COUTINHO, 2015).

O Canadá é o único outro país com produção significativa, toda ela proveniente da mina Niobec, em Quebec (IAMGOLD, 2012). A mina tem um histórico de produção consistente, registrando 7.500 toneladas de nióbio contido em 2021 e uma estimativa de 7.100 toneladas para 2024 (USGS, 2021; USGS, 2025). Assim como suas contrapartes brasileiras, a Niobec processa o minério de pirocloro para obter ferronióbio, competindo diretamente no mesmo segmento de mercado. Em 2011, por exemplo, a operação canadense respondeu por 8,6% da oferta global (IAMGOLD, 2012).

Outras nações, como a Rússia e países da região dos Grandes Lagos Africanos (Congo e Ruanda), possuem produções marginais que não alteram a dinâmica do mercado global (USGS, 2021). Essas produções são frequentemente um subproduto da mineração de outros minerais, como a columbita-tantalita, e seus volumes são estatisticamente insignificantes.

Embora existam recursos de nióbio identificados em outros locais, como na Austrália e nos Estados Unidos, a combinação do elevado investimento de capital necessário para desenvolver novas minas e o forte controle de mercado exercido pelos produtores estabelecidos criam barreiras de entrada substanciais, o que tende a perpetuar a atual estrutura de oferta concentrada (USGS, 2021).

3.4 VARIAÇÃO DO PREÇO

A formação de preços na indústria do nióbio apresenta uma dinâmica específica, que a diferencia de commodities metálicas tradicionais. Os produtos de nióbio não são negociados em bolsas de valores, o que os isenta da volatilidade especulativa de curto prazo.

Os valores são estabelecidos por meio de contratos de negociação direta e confidencial entre os produtores e os consumidores finais, majoritariamente as indústrias

siderúrgicas. Historicamente, a CBMM, por sua posição dominante, atua como um agente balizador, e seus preços de referência são frequentemente adotados como parâmetro para o restante do mercado (GONÇALVES; MILANEZ, 2020; USGS, 2021).

A evolução dos preços do ferronióbio portanto, está intrinsecamente ligada à demanda real da indústria e aos ciclos de investimento em grandes projetos. A análise dos dados de exportação (Gráfico 4) ilustra essa dinâmica.

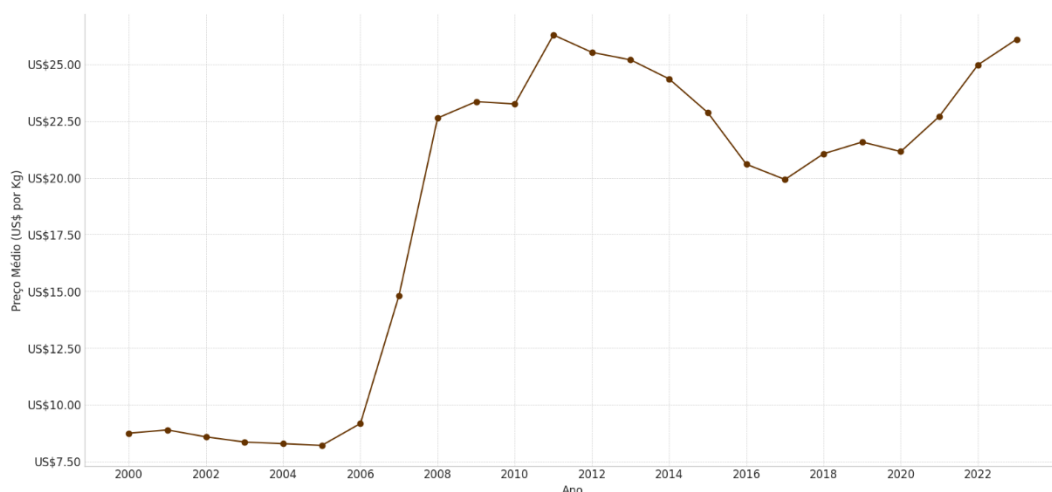


Gráfico 4 - Evolução do Preço Médio de Exportação (Fonte: ComexStat, tratado pelo autor)

No final da década de 1990, o preço médio por quilograma situava-se abaixo de US\$ 10,00. Contudo, a partir de 2005, o setor experimentou um ciclo de forte valorização, impulsionado pela crescente demanda chinesa por aços especiais, levando o preço a superar os US\$ 40,00/kg em 2008, pouco antes da crise financeira global.

Durante a crise de 2008, embora o volume exportado tenha sofrido uma retração aguda (Gráfico 1), o preço médio não despencou na mesma proporção, mantendo-se em patamares elevados. Esse comportamento sugere que a estrutura de oferta concentrada, aliada à vigência de contratos de longo prazo, permite aos produtores gerenciar os volumes para evitar um colapso nos preços (GONÇALVES; MILANEZ, 2020). Após um novo pico em 2011, quando o preço médio atingiu o seu máximo histórico, o mercado entrou em um período de acomodação.

Dados mais recentes indicam uma estabilização dos preços em um patamar inferior ao do auge, mas ainda robusto. Entre 2021 e 2024, o valor médio do ferronióbio exportado pelo Brasil oscilou entre US\$ 24,00/kg e US\$ 28,00/kg, patamares consistentes com os valores de importação registrados nos Estados Unidos (USGS, 2025). Essa relativa estabilidade reforça a tese de que a dinâmica de preços do nióbio é

menos influenciada pela especulação e mais pela capacidade dos produtores em modular a oferta para atender às flutuações da demanda industrial global, garantindo maior previsibilidade ao setor.

4 PERSPECTIVAS PARA O SETOR

A alta dependência do setor siderúrgico, embora historicamente lucrativa, representa uma vulnerabilidade econômica significativa, atrelando o desempenho do setor a ciclos de investimento sobre os quais os produtores têm controle limitado. Nesse contexto, serão examinadas as estratégias proativas de diversificação e expansão de mercado adotadas pelos principais produtores, que atuam de diferentes formas para ampliar suas vendas ao mercado externo.

A indústria tem investido no desenvolvimento de novas aplicações para criar e ampliar a demanda em setores de alta tecnologia, como armazenamento de energia, supercondutividade e o setor aeroespacial. Os impactos dessa diversificação no mix de produtos e na cadeia produtiva, será extremamente necessário para garantir o futuro estável da demanda e adaptação para transformar um recurso mineral em soluções tecnológicas de maior valor agregado.

4.1 MATERIAIS CONCORRENTES

A análise da importância estratégica de qualquer matéria-prima passa pela avaliação de seus possíveis substitutos. No caso do nióbio, embora existam alternativas técnicas para suas diversas aplicações, a substituição é considerada "possível, mas muito limitada" (BARTL et al., 2018). Essa barreira prática à substituição é uma das vantagens competitivas do nióbio no mercado de materiais de alta performance.

Para a sua principal aplicação em HSLA, os substitutos mais citados são o vanádio e o molibdênio (USGS, 2025). Em aplicações de maior exigência, como em superligas, as alternativas teóricas incluem o tântalo e o tungstênio (BARTL et al., 2018). A existência dessas alternativas impõe um teto ao poder de precificação dos produtores de nióbio, pois um aumento excessivo nos preços poderia incentivar a indústria a investir na adaptação de seus processos para outros metais.

Contudo, a viabilidade econômica e técnica dessa substituição é o principal fator que garante a posição do nióbio no mercado. Relatórios técnicos são consistentes ao afirmar que o uso de metais alternativos resulta, frequentemente, em perda de desempenho ou em um custo final mais elevado (USGS, 2025). Para aplicações críticas como superligas e supercondutores, considera-se que não há substitutos viáveis para o nióbio, pois suas propriedades específicas não podem ser replicadas por outros elementos (BARTL et al., 2018).

A perda de performance pode resultar na necessidade de uma quantidade maior do metal substituto para atingir as mesmas especificações de resistência, o que pode aumentar o peso final de um componente e anular os benefícios de leveza obtidos com o nióbio. Portanto, a superioridade técnica e a relação custo-benefício do nióbio criam uma forte resistência à substituição em larga escala.

4.2 CONCENTRAÇÃO DE DEMANDA

A principal vulnerabilidade econômica da indústria de nióbio, e o motor para suas estratégias de longo prazo, reside na extrema concentração de sua demanda. Estima-se que aplicações siderúrgicas, notadamente a produção de aços especiais, respondam por cerca de 90% de todo o consumo global de nióbio (HEISTERKAMP; CARNEIRO, 2001). Operacionalmente, isso significa que a gestão de toda a cadeia produtiva, desde o ritmo de extração do minério até os níveis de estoque do produto final, é ditada não por uma dinâmica própria, mas pelos ciclos de produção e pelas previsões de demanda das grandes siderúrgicas mundiais (GONÇALVES; MILANEZ, 2020).

Essa dependência se intensifica ao se examinar os mercados finais. O ferronióbio, principal produto da indústria, é utilizado como elemento de microliga em diversos tipos de aço, mas a demanda é, ela própria, concentrada. Estima-se que os aços de alta resistência e baixa liga (HSLA) respondam por aproximadamente 70% do consumo de nióbio, seguidos pelos aços inoxidáveis com cerca de 20% (BARTL et al., 2018). Embora o emprego do nióbio proporcione uma vantagem competitiva ao aço, possibilitando a fabricação de componentes mais leves e resistentes, a demanda pelo metal torna-se derivada e vulnerável a fatores externos (GONÇALVES; MILANEZ, 2020).

A forte correlação entre os dois mercados, ilustrada no Gráfico 5, evidencia a vulnerabilidade da indústria de nióbio. Durante a crise financeira global, a produção mundial de aço bruto caiu 7,8%, de 1.343 milhões de toneladas em 2008 para 1.239 milhões em 2009 (WORLD STEEL ASSOCIATION, 2022). Quase que em sincronia, as exportações brasileiras de ferronióbio despencaram 37,5% no mesmo período, de 72,6 mil para 45,4 mil toneladas, demonstrando como a paralisação do crédito e dos investimentos em setores como construção e automotivo impactou diretamente a demanda pelo metal.

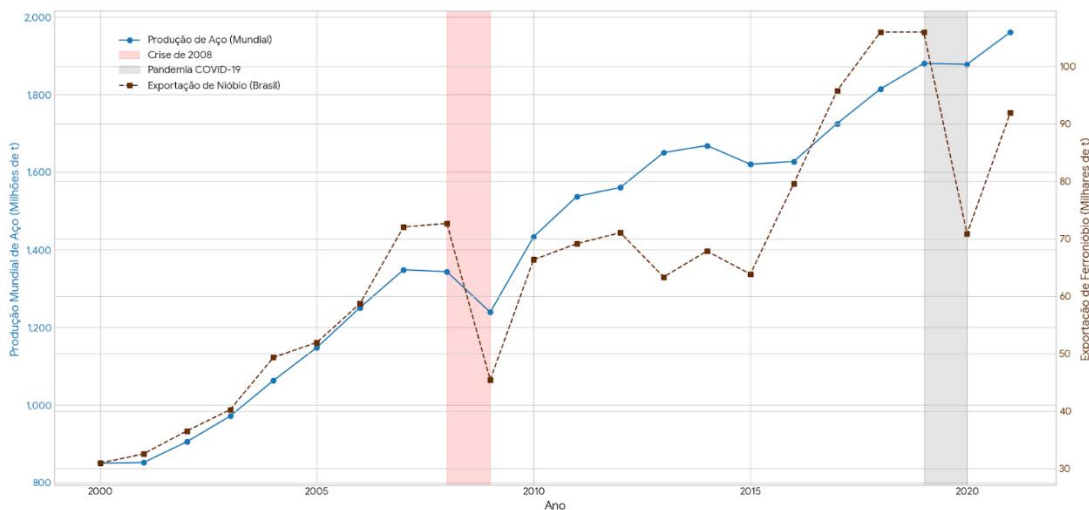


Gráfico 5 - Produção Mundial de Aço Bruto vs. Exportação Brasileira de Ferronióbio (2000-2021) Fonte: ComexStat; World Steel Association

Um padrão similar, porém mais complexo, ocorreu durante a pandemia de COVID-19. A produção mundial de aço teve uma leve queda, de 1.880 milhões de toneladas em 2019 para 1.878 milhões em 2020 (WORLD STEEL ASSOCIATION, 2022). Esse dado global, contudo, é influenciado pelo aumento da produção chinesa no período. Ao se analisar outros mercados consumidores do nióbio brasileiro, o impacto real se revela: em 2020, a produção de aço na União Europeia caiu 12,7% e na América do Norte, 15,5%. A retração nesses mercados estratégicos provocou uma queda de 33% nas exportações brasileiras de nióbio, que passaram de 105,9 mil toneladas em 2019 para 70,8 mil em 2020. Esses episódios também oferecem indícios de que o desempenho da indústria de nióbio reflete diretamente não apenas a siderurgia global, mas, de maneira específica, a situação econômica de seus principais países consumidores.

A intensidade dessa dependência torna a indústria de nióbio suscetível não apenas a impactos momentâneos, mas também às tendências estruturais de longo prazo do setor siderúrgico. Depois de um período de crescimento acelerado no início do século XXI, favorecido pela rápida industrialização da China, o mercado mundial de aço entrou em uma etapa de maior maturidade, caracterizada por taxas de crescimento mais contidas (WORLD STEEL ASSOCIATION, 2025). O consumo aparente de aço per capita, um indicador-chave da intensidade de uso do material na economia global, ilustra essa tendência, mostrando uma relativa estabilização nos últimos anos após o pico de consumo da década passada (WORLD STEEL ASSOCIATION, 2025).

A redução na taxa de expansão do principal mercado consumidor representa um desafio estratégico para os produtores de nióbio. Caso a ampliação da demanda por

ferronióbio se baseasse exclusivamente no aumento orgânico da produção de aço, o setor enfrentaria uma visão de estagnação ou de crescimento restrito.

Essa situação acentua a fragilidade do setor diante de crises, como a de 2008, que resultou numa diminuição superior a 30% na produção de nióbio em apenas um ano, e a de 2020, que também provocou uma significativa redução na demanda industrial (USGS, 2021). Assim sendo, o desafio enfrentado pela indústria de nióbio é duplo: se proteger da volatilidade cíclica da siderurgia e, simultaneamente, identificar novas oportunidades de crescimento que a desconectem da trajetória de um mercado consumidor que já alcançou sua maturidade.

4.3 EXPANSÃO E DIVERSIFICAÇÃO DO MERCADO

Em resposta ao desafio da concentração da demanda, os dois principais produtores de nióbio no Brasil adotam estratégias corporativas distintas. A CBMM adota uma postura proativa de desenvolvimento de mercado, investindo de forma crescente em tecnologia e inovação para fomentar novas aplicações e expandir o uso do nióbio para além da siderurgia. Este compromisso é quantificável, com o investimento em pesquisa e desenvolvimento da empresa crescendo de R\$ 213,2 milhões em 2022 para R\$ 250 milhões em 2024 (CBMM, 2023; CBMM, 2025). Em contrapartida, a segunda maior produtora, CMOC, foca sua estratégia na excelência operacional e na produção em larga escala do ferronióbio (CMOC, 2024).

Essas diferentes abordagens resultam em portfólios de produtos distintos, refletindo seus objetivos de mercado. A estratégia da CBMM é evidente no aumento da produção de especialidades de maior valor agregado, cujo volume de vendas saltou de 8,2 mil toneladas em 2022 para 12,5 mil toneladas em 2024 (CBMM, 2023; CBMM, 2025). Esses produtos de alta pureza, como superligas e nióbio metálico, são direcionados a setores de alta tecnologia, como o aeroespacial e o de equipamentos médicos supercondutores (ALVES; COUTINHO, 2015; GORGULHO et al., 2024).

Por outro lado, a CMOC concentra sua produção exclusivamente em ferronióbio, tendo produzido 9.626 toneladas em 2023 (CMOC, 2024). Este modelo de negócio é consistente com seu papel de subsidiária da chinesa China Molybdenum Co., Ltd., atuando como uma fornecedora estratégica para a indústria siderúrgica da China, o maior mercado consumidor de ferronióbio do mundo (GONÇALVES; MILANEZ, 2020).

A prospecção de novas fronteiras tecnológicas é, no momento, uma iniciativa

liderada pela CBMM. O "Programa de Baterias" da empresa avançou da fase de pesquisa para a de implementação, com a construção de uma planta de demonstração para sua tecnologia de óxidos de nióbio (CBMM, 2025). O objetivo é endereçar gargalos críticos do mercado de veículos elétricos, como a segurança e, principalmente, a velocidade de recarga, com a meta de viabilizar o recarregamento ultrarrápido em menos de 10 minutos (CBMM, 2025).

A análise do panorama de propriedade intelectual complementa essa visão de estratégias divergentes. A maior parte dos pedidos de patente para novas aplicações de nióbio depositados no Brasil pertence a empresas estrangeiras, com destaque para depositantes dos Estados Unidos, Japão e Alemanha (GORGULHO et al., 2024). Isso reforça o modelo da CBMM como uma catalisadora da inovação global, que cria demanda para seus produtos ao viabilizar o desenvolvimento tecnológico de parceiros.

Em contraste, o modelo da CMOC se alinha ao de uma fornecedora de insumo em larga escala para uma cadeia de valor já consolidada. Coexistem, assim, na indústria brasileira, dois modelos de negócio distintos: um voltado para a segurança de suprimento e eficiência na produção mineral, e outro focado na inovação como motor para a criação de novos mercados.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo buscou analisar a evolução e as perspectivas para a indústria de nióbio no Brasil, partindo da questão central sobre quais seriam os cenários esperados para o setor. A análise dos dados e das estratégias dos principais atores permite concluir que as perspectivas para a indústria não são um reflexo passivo de sua dominância geológica, mas sim o resultado de uma gestão estratégica ativa para administrar um paradoxo fundamental: o Brasil detém um controle quase monopolista da oferta de um metal crítico, mas essa força gera uma vulnerabilidade intrínseca devido à extrema dependência de um único e cíclico mercado consumidor.

A investigação demonstrou, primeiramente, a consolidação da dominância brasileira na produção mundial, inserida em uma estrutura de mercado de alta concentração, com uma dinâmica de preços que não segue a volatilidade das bolsas de commodities. Em seguida, a análise quantitativa da correlação entre as exportações de nióbio e a produção de aço, especialmente durante as crises de 2008 e 2020, forneceu evidências empíricas do principal desafio do setor: a vulnerabilidade estrutural à demanda da indústria siderúrgica, que já se encontra em um estágio de maturidade. Como resposta a este desafio, o estudo revelou a coexistência de dois modelos de negócio distintos: um focado na eficiência operacional e na garantia de suprimento de ferronióbio para mercados consolidados, e outro, proativo, focado na criação de novos mercados através da diversificação e do investimento em inovação tecnológica.

As perspectivas para a indústria brasileira de nióbio, portanto, são de manutenção da liderança e de crescimento contínuo, porém um crescimento cada vez mais desvinculado da expansão vegetativa do mercado de aço. O sucesso de longo prazo do setor estará condicionado à sua capacidade de consolidar o nióbio como um viabilizador de novas tecnologias. O valor futuro será gerado não apenas pela venda de toneladas de ferronióbio, mas pela inserção de produtos de nióbio de alto desempenho em cadeias produtivas de alto crescimento, como a da eletrificação, energias renováveis e superligas. O papel do Brasil, nesse cenário, evolui de um mero fornecedor de matéria-prima para um agente central na transformação tecnológica e estratégica do mercado global do metal.

Como limitação, este trabalho baseou-se em dados públicos, não tendo acesso a informações comerciais e operacionais confidenciais que poderiam aprofundar a análise das estratégias corporativas. Para pesquisas futuras, sugere-se a realização de uma

análise do desempenho econômico de aplicações emergentes, como o uso de óxidos de nióbio em baterias, ou um estudo sobre o potencial de desenvolvimento de políticas públicas que visem proteger os ativos brasileiros e fortalecer ainda mais a posição estratégica do Brasil nesta indústria.

REFERÊNCIAS

- FERNANDES, Rui P. Júnior. Nióbio. In: Recursos Minerais. 2009. Disponível em: https://sistemas.anm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3976. Acesso em: 10 jul. 2024.
- ALVES, R. N.; COUTINHO, A. R. The Evolution of the Niobium Production in Brazil. **Materials Research**, v. 18, n. 1, p. 20-25, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1516-1439.276414>. Acesso em: 10 jul. 2024.
- AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). Anuário Mineral Brasileiro 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/publicacoes/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro>. Acesso em: 15 jul. 2024.
- DUTRA, Cláudio Vieira. Resgatando a memória de nossa geoquímica: História do Instituto de Tecnologia Industrial de Minas Gerais e a atuação do cientista Djalma Guimarães, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rem/a/Kz4SSK7q9Bqk5Yyp4T3CFbg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 jul. 2024.
- GONÇALVES, R. J. A. F.; MILANEZ, B. A territorialização da rede global extrativa do nióbio em Goiás. **Ateliê Geográfico**, v. 14, n. 2, p. 146-170, ago. 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/343536423_A_territorializacao_da_rede_global_extrativa_do_niobio_em_Goias_Brasil. Acesso em: 25 jul. 2025.
- MOSCATELLO, Giovanna Queiroz. A exploração do nióbio no Brasil no contexto do novo imperialismo. 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/27b3c278-285f-458f-b470-b0741b05d43e/content>. Acesso em: 17 jul. 2024.
- Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM). **Relatório de Sustentabilidade**. 2023. Disponível em: https://cbmm.com/sustainability-report/public/pdf/cbmm_rs2022_sumario-executivo.pdf. Acesso em: 18 jul. 2024.
- Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM). **Relatório de Sustentabilidade**. 2024. Disponível em: <https://cbmm.com/pt/sustentabilidade/relatorios-de-sustentabilidade>. Acesso em: 22 jul. 2025.
- Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM). **Relatório de Sustentabilidade. 2025**. Disponível em: <https://cbmm.com/pt/sustentabilidade/relatorios-de-sustentabilidade>. Acesso em: 22 jul. 2025.
- CMOC. **Relatório de Sustentabilidade 2023**. São Paulo, SP: CMOC Brasil, 2024. Disponível em: <https://sustentabilidade.cmocbrasil.com/>. Acesso em: 25 jul. 2025.
- GORGULHO, H. F. et al. **Tecnologias com Nióbio: um panorama dos depósitos de patentes no Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), 2024. Disponível em: https://www.gov.br/inpi/pt-br/assuntos/informacao/TecnologiascomNiobio_RadarTecnologico_DIESP_jan2023_revisadocomResumoExecutivo.pdf. Acesso em: 25 jul. 2025.

HEISTERKAMP, F.; CARNEIRO, T. **Niobium: future possibilities - technology and the market place**. Araxá, MG: CBMM, 2001. Disponível em: https://niobium.tech/-/media/niobiumtech/attachments-biblioteca-tecnica/nt_niobium-future-possibilities-technology-and-the-market-place.pdf. Acesso em: 25 jul. 2025.

IAMGOLD CORPORATION. Niobec Niobium Mine. Apresentação PDAC, 2012. Disponível em: https://s2.q4cdn.com/610165863/files/doc_presentations/2012/PDAC-2012-Niobec-Overview.pdf. Acesso em: 25 jul. 2025.

SCHULZ, K. J.; PAPP, J. F.; PIATAK, N. M. Niobium and Tantalum. In: U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **Critical Mineral Resources of the United States**. Reston, VA: U.S. Geological Survey, 2017. p. M1-M45. (Professional Paper 1802). Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/publication/pp1802M>. Acesso em: 25 jul. 2025.

BARTL, A. et al. Supply and Substitution Options for Selected Critical Raw Materials. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327575465_SUPPLY_AND_SUBSTITUTION_OPTIONS_FOR_SELECTED_CRITICAL_RAW_MATERIALS_COBALT_NIOBIUM_TUNGSTEN_YTTRIUM_AND_RARE_EARTHS_ELEMENTS. Acesso em: 25 jul. 2025

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Mineral Commodity Summaries: Niobium (Columbium)**. Reston, VA: U.S. Geological Survey, Anos diversos. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/niobium-and-tantalum-statistics-and-information>. Acesso em: 25 jul. 2025.

VON RENNENBERG, A. F. **The Circular Economy of Niobium**. 2021. Dissertação (Mestrado em Administração de Empresas) – Berlin School of Economics and Law, Berlim, 2021. Disponível em: https://essay.utwente.nl/87807/1/Summary%20Freiin%20von%20Rennenberg_MA_BMS.pdf. Acesso em: 25 jul. 2025.

WORLD STEEL ASSOCIATION. **World Steel in Figures**. Bruxelas: World Steel Association, Anos diversos. Disponível em: <https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/>. Acesso em: 25 jul. 2025.