



Estudos para o Plano Nacional de Mineração 2050 PNM 2050

Caderno 3. Cadeias Produtivas dos Minerais para a Transição Energética

Sumário Executivo – Caderno 3

Os estudos deste caderno têm por objetivo apresentar a avaliação da estrutura, comportamento e tendências das cadeias de transformação mineral relacionadas aos minerais para a transição energética, devendo visar a identificação de alternativas de fortalecimento e integração da estrutura produtiva, de forma a propiciar o adequado aproveitamento e agregação de valor aos correspondentes recursos minerais brasileiros, assim como a melhoria das condições de competitividade e de sustentabilidade dos respectivos segmentos da indústria mineral.

São apresentados informações atuais e históricas, de produção, consumo, importação e exportação, desde o parque produtivo mineral até a cadeia de transformação implantada no país, com dados de sustentabilidade e tecnologia de cada processo e informações área de aplicação de cada classe de produtos. Especificamente, são analisadas as cadeias do nióbio, alumínio, cobre, lítio, elementos de terras raras, níquel, cobalto, grafita, vanádio, urânio e manganês, abordando primordialmente os aspectos relacionados à transição da matriz energética mundial. Com base na análise dos dados apresentados e em premissas para o futuro, específicas de cada bem mineral, são feitas projeções de itens selecionados, como reservas, produção e consumo, até 2050, considerando até três possíveis cenários. É realizada ainda, para cadeia produtiva, uma análise de seus padrões tecnológicos, e uma análise dos usos e aplicações de seus produtos. Por fim, é feita uma análise integrada de cada cadeia produtiva nacional, individualmente, nos casos em que há disponibilidade de dados para tal.

Os estudos de cada cadeia produtiva de minerais para a transição energética são seguidos de uma análise consolidada, que apresenta conclusões em forma de diagnóstico e traz recomendações de medidas que permitam maior desenvolvimento e sustentabilidade do setor. Especificamente, são feitas proposições que visam permitir a melhoria das condições de competitividade das cadeias de transformação mineral, o aumento das capacidades tecnoproductivas locais e regionais, a integração competitiva aos fluxos

internacionais de comércio, de investimentos e de transferência de tecnologias, o desenvolvimento de mercados, o aumento de investimentos, a formação de recursos humanos, o desenvolvimento tecnológico, a otimização de aspectos regulatórios, a infraestrutura e logística de transporte e a sustentabilidade do setor, considerando economia circular e eficiência energética.

EM EDITORAÇÃO



Sumário

CADEIA PRODUTIVA 1: NIÓBIO	5
CADEIA PRODUTIVA 2: ALUMÍNIO	32
CADEIA PRODUTIVA 3: COBRE	64
CADEIA PRODUTIVA 4: LÍTIO	105
CADEIA PRODUTIVA 5: TERRAS RARAS.....	142
CADEIA PRODUTIVA 6: NÍQUEL	167
CADEIA PRODUTIVA 7: COBALTO	195
CADEIA PRODUTIVA 8: GRAFITA.....	229
CADEIA PRODUTIVA 9: VANÁDIO	262
CADEIA PRODUTIVA 10: URÂNIO	283
CADEIA PRODUTIVA 11: MANGANÊS	309
ANÁLISE CONSOLIDADA DAS CADEIAS PRODUTIVAS.....	342

PLANO NACIONAL DE MINERAÇÃO 2050

PNM 2050

CADEIA PRODUTIVA 1: NIÓBIO

Caderno 3: Cadeias Produtivas dos Minerais para a Transição Energética

CADEIA PRODUTIVA 1: NIÓBIO	5
3.1. Caracterização das Cadeias Produtivas	6
3.1.1. Cadeia Produtiva do Nióbio	6
3.1.1.1. Polos produtivos minero-industriais no Brasil	6
3.1.1.2. Parque Produtivo no Brasil do Nióbio	9
3.1.1.3. Consumo Energético e Emissão de CO ₂	10
3.1.1.4. Utilização de Água, da Cadeia Produtiva do Nióbio	12
3.1.1.5. Geração de Resíduos, da Cadeia Produtiva do Nióbio	12
3.1.1.6. Geração de Resíduos Sólidos, da Cadeia Produtiva do Nióbio.....	14
3.1.1.7. Produção do Nióbio	14
3.1.1.8. Consumo do Nióbio	17
3.1.1.9. Importações de Nióbio	19
3.1.1.10. Exportações de Nióbio	20
3.1.1.11. Porte das Empresas e Geração de Empregos.....	21
3.1.1.12. Porte dos Projetos em Andamento e/ou Previstos	22
3.1.1.13. Projeções até 2050 do Nióbio, em Cenário Transformador.....	24
3.1.1.14. Usos e Aplicações do Nióbio.....	26
3.1.1.15. Padrão Tecnológico da Cadeia do Nióbio.....	28
3.1.1.16. Análise Integrada da Cadeia Produtiva do Nióbio	30

3.1. Caracterização das Cadeias Produtivas

3.1.1. Cadeia Produtiva do Nióbio

Apesar de, a rigor, o nióbio não se enquadrar na condição de elemento crítico para a transformação energética, ele pode, estrategicamente, ser considerado como relevante, tendo em vista a melhoria de eficiência do aço contendo liga com o referido metal, com ampla repercussão em termos de eficiência energética mediante a aplicação do citado aço. Cabe também evidenciar a perspectiva de viabilização da bateria contendo nióbio, conforme pesquisas em desenvolvimento no país, pela CBMM - Cia. Brasileira de Metalurgia e Mineração.

Na forma de ferro-nióbio (FeNb padrão e refinado) ele é adicionado a aços para a indústria automobilística, construção pesada, obras de infraestrutura, setor petroquímico, usinas de energia (térmicas, hidroelétricas, eólicas), oleodutos e gasodutos. Em aplicações recentes, como componente de vidros e de baterias elétricas, ele é empregado na forma do óxido (Nb_2O_5).

As ligas refinadas (FeNb e NiNb, de grau a vácuo - VG) e o nióbio metal são empregadas na indústria aeroespacial, em aceleradores de partículas, tomógrafos, enquanto o óxido é empregado nas indústrias ótica, eletrônica e de baterias. O Brasil é o maior fornecedor mundial da liga ferro-nióbio e o fornecedor exclusivo dos produtos especiais.

Quanto às fontes de nióbio do Brasil, nas reservas de Minas Gerais e de Goiás, a fonte de nióbio é o pirocloro, enquanto no Amazonas e Roraima, o mineral é a columbita-tantalita. No que se refere à obtenção de nióbio, o pirocloro é particularmente interessante, uma vez que na columbita-tantalita a presença do tântalo é prejudicial, principalmente nas aplicações na siderurgia. Assim, a jazida de Araxá, em Minas Gerais, e, em menor extensão, a de Catalão, em Goiás, têm um aspecto positivo adicional.

3.1.1.1. Polos produtivos mínero-industriais no Brasil

Os polos produtivos no Brasil da cadeia produtiva do nióbio, até 2020, juntamente com nível de concentração da produção, percentual de participação de capital

nacional/estrangeiro e nível ou padrão organizacional e gerencial do segmento, com distribuição no território nacional são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Polos produtivos no Brasil da cadeia produtiva do nióbio, até 2020.

<i>Estado</i>	<i>Muni- cípio</i>	<i>Empre- sa</i>	<i>Produ- tos</i>	<i>Produção (kt produ- to)</i>	<i>Capital Nacional (%)</i>	<i>Capital Externo (%)</i>	<i>Produção Nacional (%)</i>	<i>Nível Geren- cial</i>
MG	Araxá	CBMM	FeNb	68,85	70	30	81,5	SA CF
			Oxido puro, metal, liga	5,37			100	
GO	Catalão	CMOC	FeNb	14		100	16,5	
AM	Presi- dente Figuei- redo	Mine- ração Taboca	FeNbTa	2		100	2	SA
RO	Arique- mes	ERSA	FeNbTa	0,3	100		---	SA CF

Fontes: CBMM, 2021; CMOC, 2022; ERSa, 2022.

Observam-se características distintas entre os polos produtivos de produtos de nióbio no país. O principal é constituído pela Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração, CBMM, localizada no município de Araxá, MG, detentora (juntamente com a CODEMIG) das maiores reservas mundiais de nióbio e da maior unidade mundial de processamento metalúrgico do metal. Além do seu produto principal, o ferro-nióbio, a empresa produz ligas refinadas, nióbio metálico e seus óxidos. Estes últimos produtos são, no Brasil, uma exclusividade da CBMM.

O segundo polo produtivo é o de Goiás que, constituído pela CMOC, é o segundo maior produtor do País. Seu único produto é a liga FeNb Padrão, destinado exclusivamente ao mercado externo. Apesar de ser apenas de 17% a sua participação na produção brasileira, ela é a segunda produtora mundial.

Com respeito aos estados do Amazonas e Rondônia o foco principal das principais produtoras, Mineração Taboca e ERSa, não é o nióbio. E, mesmo neste caso, o produto é uma liga ferro-nióbio-tântalo, cujos níveis de produção não são ainda expressivos.

Tais produções colocam o Brasil, no ano de 2021, na primeira posição no ranking mundial na produção de nióbio, conforme apresentado na Tabela 2 e na Figura 1, juntamente com as produções no mundo, por região.

Tabela 2. Ranking dos principais produtores mundiais de nióbio, no ano de 2021.

Colocação/ País	Produção (t Nb contido)
1º Brasil	66.000
2º Canadá	7.400
Resto do Mundo	1.400

Fontes: USGS, 2022; ANM, 2020, e World Bank, 2022.

Figura 1. Principais países produtores mundiais de nióbio, no ano de 2021.



Fontes: USGS, 2022; ANM, 2020, e World Bank, 2022.

O Brasil é o maior produtor/fornecedor mundial, seguido do Canadá. Os demais produtores não são relevantes. Apesar de o Canadá exportar 94% da sua produção, ele importa o equivalente a 20% do que produz.

Um outro aspecto é que a totalidade da produção do Canadá é na forma da liga FeNb, enquanto o Brasil produz e fornece ligas especiais de FeNb para distintos tipos de aço, superligas de grau vácuo para motores aéreos e turbinas, nióbio metálico para supercondutores e equipamentos avançados, além de óxidos de alta pureza para vidros ópticos, baterias elétricas e catalizadores. Estes produtos correspondem, atualmente, a 10% da produção total da CBMM. Há que se registrar que as produções da CBMM estão abaixo da sua capacidade nominal, que é de 150.000 t/ano de produtos, o que significa, no mix de produtos atual, 98.000 t/ano de Nb contido.

3.1.1.2. Parque Produtivo no Brasil do Nióbio

O parque produtivo no Brasil do Nióbio, incluindo número de empresas, capacidade, localização e tipologia das unidades de produção que integram a cadeia de sua produção minero-industrial, juntamente com a caracterização das integrações a montante e a jusante, bem como de facilidades locacionais e logísticas associadas às integrações existentes, é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Caracterização do parque produtivo brasileiro do nióbio, em 2020.

	Empresa	Local	Produtos	Produção kt	Operação Montante	Logística	Operação Jusante	Logística	Distância
Lavra	CBMM	MG	ROM	3711	-	Transporte interno	Concentração		
	CMOC	GO	ROM	8659	-	Transporte interno	Concentração		
	Min. Taboca	AM	ROM	5096	-	Transporte interno	Concentração		
	ERSA	RO	ROM	8737	-	Transporte interno	Concentração		
Beneficiamento	CBMM	Mg	Concentrado	127	Lavra	Transporte interno	Metallurgia extra-tiva	Correia	
	CMOC	GO	Concentrado	27	Lavra	Transporte interno	Metallurgia extra-tiva	Caminhões	23 km
	Min Ta-boca	AM	Concentrado	10	Lavra	Transporte interno	Metallurgia extra-tiva	Tr interno	
	ERSA	RO	Concentrado	0,3	Lavra	Transporte interno	Metallurgia extra-tiva	Tr interno	
Extração	CBMM	MG	FeNb, Nb ₂ O ₅	72,7	Concentração	Transporte interno	Mercado (FeNb) Refino (parte)	Tr Interno	
	CMOC	GO	FeNb	15	Concentração	Transporte interno	Mercado		
	Min Ta-boca	AM	FeNbTa	4	Concentração	Transporte interno	Mercado		
	ERSA	RO	FeNbTa	0,3	Concentração	Transporte interno	Mercado		
Refino	CBMM	MG	FENb ref, NiNb, Nb met, Nb ₂ O ₅	6,8	Metallurgia extra-tiva	Transporte interno	Mercado		
	CMOC	CMOC	-	-	-		-		
	Min Ta-boca	AM	-	-	-		-		
	ERSA	RO	-	-	-		-		

Fontes: CBMM, 2021; CMOC, 2022.

Todas as etapas (lavra-beneficiamento-extração-refino) são operações casadas. Assim a lavra e beneficiamento são no local da jazida e a extração e refino são na unidade metalúrgica. Estes dois conjuntos são interligados e não são gerados excedentes na interface dos dois conjuntos.

Nas operações dos estados do Amazonas e Rondônia a separação de uma cadeia exclusiva do nióbio é precária, uma vez que tratam-se de operações primordialmente de estanho. Com efeito, em ambos os casos a operação contempla a obtenção de estanho e os demais produtos são, na realidade coprodutos e, mesmo neste caso, o produto relacionado com o nióbio é, na realidade uma associação nióbio-tântalo, na forma de liga ou de concentrados de columbita-tantalita. Além disto, os volumes envolvidos são pouco significativos.

Assim sendo, as considerações a partir daqui serão referidas às grandes operações com pirocloro, em Goiás e Minas Gerais. Como já mencionado, a operação da CMOC visa, exclusivamente, a produção da liga ferro-nióbio padrão, direcionada na sua totalidade ao mercado externo, com amplo destaque para o mercado chinês. A líder absoluta do mercado, a CBMM, produz, além da liga padrão, a liga refinada, a liga níquel-nióbio, o nióbio metálico e óxido de nióbio em vários graus. Em se tratando de operações integradas, a totalidade da produção da mina, na forma de concentrados, é transferida para a metalurgia, por meio de caminhões (CMOC) ou correias transportadoras (CBMM). Em ambos os casos, não há aporte externo de matérias primas. Todo o escoamento da produção é realizado por transporte rodoviário até o consumidor final ou até o porto.

3.1.1.3. Consumo Energético e Emissão de CO₂

O consumo energético e a emissão de CO₂ no Brasil, por tonelada de produto, em 2020, da cadeia produtiva do nióbio, incluindo as principais fontes energéticas utilizadas, e as estimativas do percentual de auto suprimento de energia, do tratamento das emissões gasosas, do grau de automação nas empresas e das tecnologias para energia limpa, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Consumo energético e emissão de CO₂ no Brasil, da cadeia produtiva do nióbio, em 2020.

	Empre- sa	Lo- cal	Consumo Ener- gético GJ por tonelada	Fontes de Energia	Emissão de CO ₂ por to- nelada	Grau de Automa- ção
Todas as operações	CBMM FeNb	MG	9,80 (referido ao FeNb padrão)	Renovável 40% Fóssil 60%	0,51	Alto
Extração			11,39	Energia Elé- trica	---	
				Alumínio	---	
Todas as operações	CBMM Produ- tos es- peciais		8,68 (referido a todos os produtos)	Renovável 40% Fóssil 60%	0,60	
Extração refino	CBMM NiNb			Alumínio	---	
Todas as operações	CMOC FeNb	GO	5,24	Fóssil	0,75	Alto
Extração	CMOC FeNb		---	Alumínio	---	

Fontes: CBMM, 2021; CMOC, 2022.

A distribuição da energia da CBMM é mais complexa, em relação a um processo aluminotérmico clássico, que é o caso da CMOC. O consumo de energia elétrica na CBMM é superior ao da CMOC, uma vez que a primeira opera com fornos elétricos a arco (desfosforação e redução aluminotérmica). Por outro lado, o consumo de alumínio na primeira se reduz ao necessário à redução.

A escala de produção da CBMM permite que o custo das instalações, mais complexas que as da aluminotermia convencional, seja bem absorvido, tornando o produto altamente competitivo. Em relação às fontes de energia, considerou-se que na CMOC não são empregadas fontes renováveis, que no caso da CBMM está relacionado à dessulfuração. Com respeito a esta, a CBMM tem estudos no sentido de reduzir o consumo de moínha de carvão na etapa de dessulfuração, o que, além de reduzir o consumo de energia, diminui a emissão de CO₂.

Tipicamente, a metalurgia extrativa do nióbio pela rota aluminotérmica, é baixa emissora de GEE (Gás Efeito Estufa). Com relação aos índices de emissão, o valor observado na CMOC decorre da maior movimentação de material, pelo menor teor do metal no concentrado de Catalão.

3.1.1.4. Utilização de Água, da Cadeia Produtiva do Nióbio

A utilização de água no Brasil, da cadeia produtiva do nióbio, incluindo o percentual de recirculação da água utilizada e o tratamento do efluente líquido, é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5. Utilização de água no Brasil, da cadeia produtiva do nióbio, em 2020.

	Empresa	Local	Consumo de Água (m³/t)	Reutilização (%)	Tratamento de Efluentes
Todas as etapas	CBMM FeNb	MG	26,7	96,4	100%
	CBMM Outros produtos	MG	23,2		
Todas as etapas	CMOC	GO	27,4	82	100%

Fontes: CBMM, 2021; MSCI.

Em ambas as empresas, 100% dos efluentes industriais são tratados e a maior parte da água tratada é reutilizada no processo.

3.1.1.5. Geração de Resíduos, da Cadeia Produtiva do Nióbio

A geração de resíduos no Brasil, da cadeia produtiva do Nióbio, bem como uma pré-qualificação e potencial de aproveitamento dos resíduos em outros segmentos ou em obras de infraestrutura juntamente com as práticas de prevenção ou mitigação de impactos ambientais, é apresentada na Tabela 6.



Tabela 6. Geração de resíduos no Brasil, da cadeia produtiva do nióbio, em 2020.

	Empresa	Local	Geração de Resíduos (t ¹ _{produto})	Natureza e Classificação dos Resíduos	Potencial de Aproveitamento (setor e %)	Práticas de Mitigação de Impactos Ambientais
Lavra	CBMM	MG	48,9	Capeamento Classe IIB	Não avaliado	Deposição em aterros
Concentração	CBMM	MG	58,54	Efluentes Classe IIA	Não avaliado	Deposição em barragens
	CMOC	GO	ND	Classe IIB	Não avaliado	Deposição em barragens
	CMOC	GO	665,24	Classe IIA	Não avaliado	Deposição em barragens
Extração	CBMM	MG		Escória Aluminotermia Classe IIA	1,5%	Disposição em aterros
	CMOC	GO		Classe IIA	Não avaliado	
Refino	CBMM	MG		Classe I	Não avaliado	Captação em filtros de manga, reciclagem

Fontes: CBMM, 2022; AMB; CMOC, 2022.

O capeamento removido é função da abertura das frentes de lavra. É um resíduo inerte e não perigoso (Classe IIB) e sua geração depende das condições de desenvolvimento da mina. São dispostos em aterros ou usados no preenchimento de cavas e recomposição de solos.

Os principais resíduos não inertes e não perigosos são os efluentes da concentração do minério e as escórias do processo aluminotérmico. No caso da CBMM, há a geração de um subproduto, o ferro-fósforo, da operação de desfosforação.

Os efluentes da concentração são depositados em barragens de rejeitos. Potencialmente, no futuro, este resíduo pode ser reprocessado para uma recuperação adicional de nióbio, pelo abaixamento do teor de corte. Isto, naturalmente, será função da viabilidade técnica e econômica da operação.

As escórias da aluminotermia são dispostas em aterros. Pode ser usada em pavimentação de vias, mas, potencialmente, pode ter aplicações mais nobres. Os resíduos perigosos consistem em particulados finos, captados em filtros de manga, na área de refino. São totalmente reciclados ao processo.

3.1.1.6. Geração de Resíduos Sólidos, da Cadeia Produtiva do Nióbio

A geração de resíduos sólidos no Brasil, da cadeia produtiva do nióbio, bem como uma pré-qualificação e potencial de aproveitamento dos resíduos gerados em outras cadeias produtivas, é apresentada na Tabela 6, com apenas um item de percentual de aproveitamento já avaliado.

Como comentário adicional, pode-se investigar o potencial de cada um dos resíduos dispostos, no sentido de identificar possibilidades de aproveitamento. A título de ilustração, as escórias da aluminotermia podem ser uma fonte de alumina para processos de metalurgia secundária de aços. Uma recuperação do metal dos antigos rejeitos da NIOBRAS, está sendo conduzido pela CMOC.

Há que se dizer que a recuperação adicional de nióbio dos rejeitos da concentração, não seria, propriamente, uma solução de aproveitamento do resíduo, uma vez que a redução de seu volume é irrelevante. Ainda, com respeito a isto, pode-se sugerir que o potencial de recuperação a partir do resíduo da CBMM, é muito mais promissor do que o da CMOC, considerando os respectivos teores iniciais.

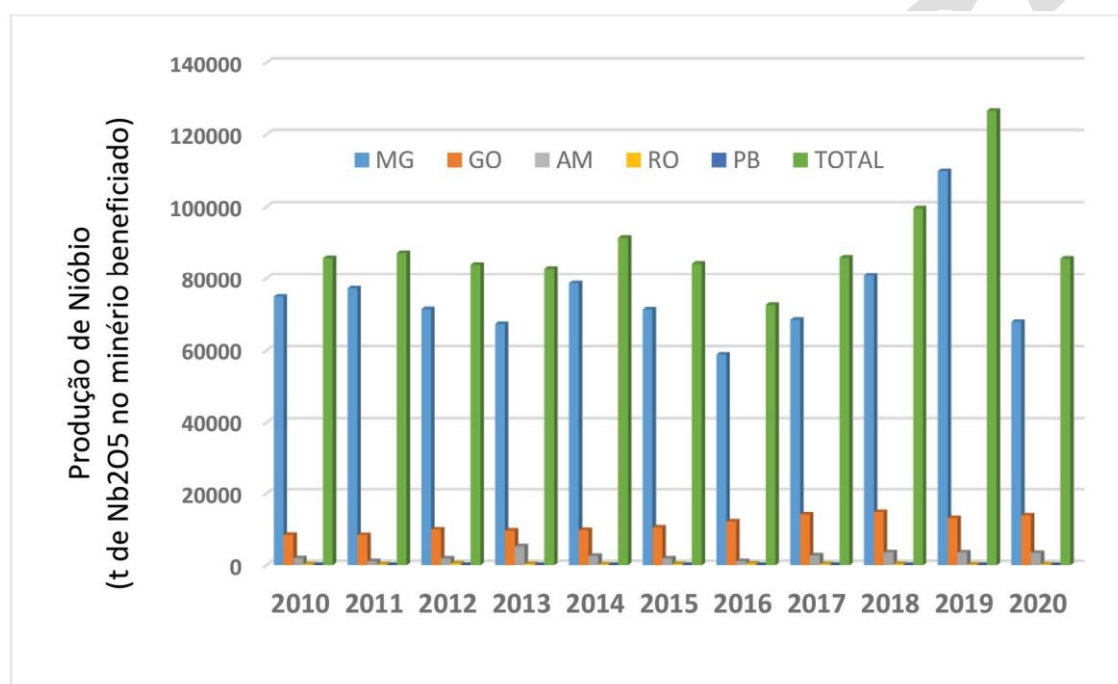
3.1.1.7. Produção do Nióbio

A produção no Brasil do Nióbio, a cada ano, desde 2010 até 2020, em termos de Nb_2O_5 contido em minério beneficiado, é apresentada na Tabela 7, por estado da federação, e no gráfico da Figura 2, com os totais consolidados para o país. Historicamente, em período anterior, o Brasil produziu 15,7 kt de Nb_2O_5 contido em minério em 1995, 30,0 kt em 2000 e 42,8 kt em 2005 (AMB, 2018).

Tabela 7. Produção brasileira de nióbio (t de Nb₂O₅ contido em minério beneficiado), de 2010 a 2020.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
MG	74974	77239	71532	67436	78674	71453	58881	68624	80833	109760	68054
GO	8548	8501	10039	9731	9882	10578	12275	14207	14884	13221	13949
AM	1922	1102	1800	5225	2547	1849	1103	2670	3551	3502	3373
RO	228	232	497	328	179	278	426	310	286	158	196
PB	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0,5	--
TOTAL	85672	87074	83867	82720	91281	84158	72684	85811	99554	126641	85572

Fonte: AMB 2022a

Figura 2. Produção brasileira de nióbio (t de Nb₂O₅ contido em minério beneficiado), de 2010 a 2020.

Fonte: AMB 2022a

Como se pode observar, a evolução da produção decorre da expansão das aplicações do metal. A queda em 2020 é pontual e não relevante. Com relação a isto, merece crédito o grande esforço realizado pela CBMM, no sentido de estimular o desenvolvimento de trabalhos de pesquisa e desenvolvimento das possibilidades de aplicação, com trabalhos em seus laboratórios internos e em universidades, para desenvolver desde otimização dos processos de lavra, até novos produtos, como aplicações em baterias, vidros e supercondutores.

Com efeito, se por um lado, o País é detentor de algo em torno de 90% das reservas conhecidas, por outro, o Nióbio não é um metal raro e tem substitutos

e a capacidade produtiva é superior à demanda (ou seja, um excesso de oferta levaria a desvalorizar o produto. Em conclusão, o incremento da demanda do metal e a agregação de valor aos seus produtos é, essencialmente, uma prioridade brasileira.

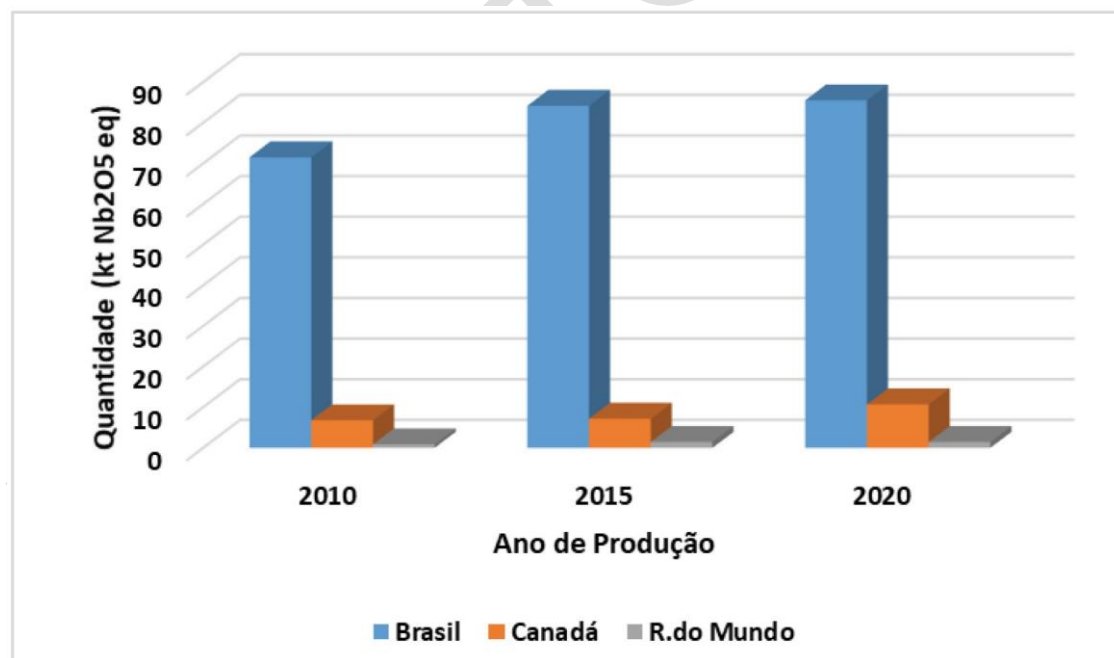
No ano de 2020, o Brasil se coloca na 1ª posição no ranking mundial de produtores de nióbio. A Tabela 8 e a Figura 3 apresentam sua evolução no ranking mundial, juntamente com os países com maiores produções no mundo.

Tabela 8. Ranking dos principais produtores mundiais de nióbio, em kt de Nb_2O_5 equivalente.

Colocação País 2010	Produção (kt Nb_2O_5 eq)	Colocação País 2015	Produção (kt Nb_2O_5 eq)	Colocação País 2020	Produção (kt Nb_2O_5 eq)
Brasil	71,50	Brasil	84,19	Brasil	85,50
Canadá	6,77	Canadá	7,15	Canadá	10,68
Resto do Mundo	0,86	Resto do Mundo	1,43	Resto do Mundo	1,43
TOTAL	79,13		92,77		97,61

Fonte: USGS (2011 a 2021).

Figura 3. Principais produtores mundiais de nióbio.



Fonte: USGS, 2011 a 2021.

A distribuição da produção é compatível com a distribuição das reservas minerais, já que, no caso do nióbio, as operações mina e metalurgia são casadas. Com

respeito ao resto do mundo, há vários depósitos conhecidos, mas inativos por falta de sustentação estratégica e econômica.

3.1.1.8. Consumo do Nióbio

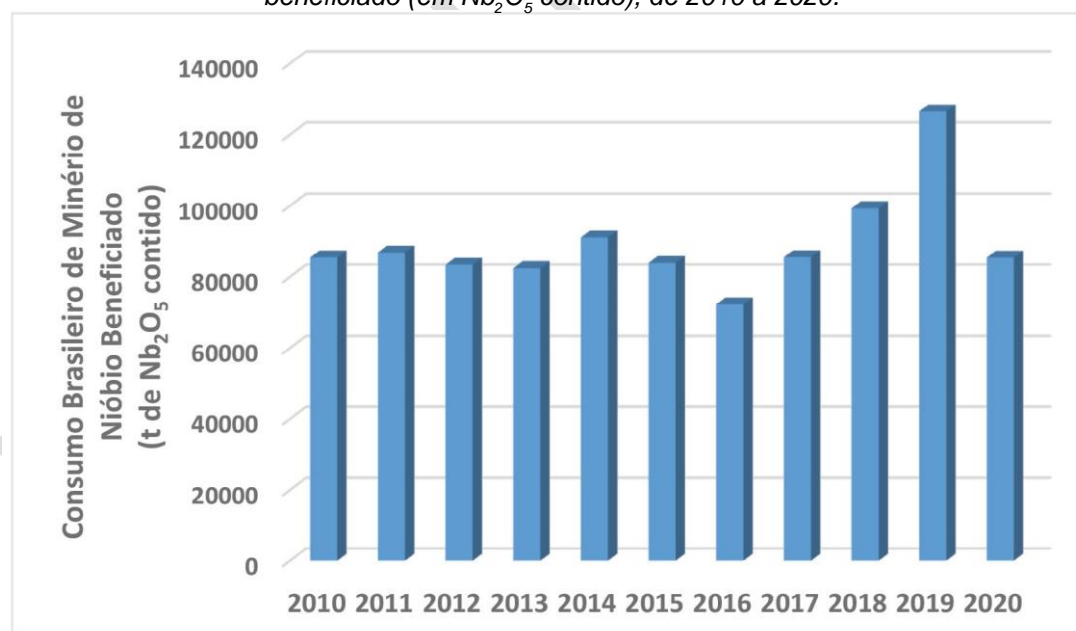
O consumo no Brasil de minério de nióbio, a cada ano, desde 2010 até 2020, é apresentado na Tabela 9, e no gráfico da Figura 4, com os totais consolidados para o país. Observe-se que tal consumo foi considerado como aproximadamente todo o minério beneficiado produzido no país, uma vez que praticamente toda a produção mineral é convertida em ligas, nos estados de Minas Gerais, Amazonas e Goiás, e ainda em óxidos e metais, estes exclusivamente em Minas Gerais.

Tabela 9. Consumo brasileiro de minério de nióbio beneficiado (em Nb_2O_5 contido), de 2010 a 2020.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
TOTAL	85444	86842	83371	82392	91103	83881	72258	85501	99268	126483	85376

Fonte: AMB 2022a.

Figura 4. Consumo brasileiro de minério de nióbio beneficiado (em Nb_2O_5 contido), de 2010 a 2020.



Fonte: AMB 2022a.

Por sua vez, o consumo no Brasil de FeNb, produto que apresenta em sua composição 65% de nióbio, com respeito à contribuição média por tonelada de aço, tem evoluído ao longo do tempo, o que acompanha a tendência de maior participação do mix de produtos siderúrgicos. Com efeito, o seu emprego, antes concentrado em tubos API, passou para os aços da indústria automobilística e, finalmente, para os estruturais de alta resistência e baixa liga. Ilustrando, na série que vai de 2015 até 2019, o consumo passou de 0,08 kg/t aço, para 0,13 kg/t aço.

A distribuição do consumo pelas unidades da Federação depende não só do porte das unidades de produção siderúrgica, como também do mix de produtos de cada uma. Quanto ao consumo doméstico dos produtos especiais, os valores ainda são incipientes. Como será comentado mais adiante, espera-se que haja uma mudança deste cenário, no médio prazo.

Com respeito ao consumo aparente mundial de FeNb, que representa mais de 90% do nióbio comercializado, no ano de 2020, a Tabela 10, juntamente com a Figura 5, apresentam o ranking de países, com os 5 maiores consumidores no mundo. O consumo aparente é calculado pela importação subtraída da exportação, apenas para os grandes importadores, uma vez que o Brasil e o Canadá não se encontram entre os importadores importantes e que os demais não têm produção relevante própria de nióbio.

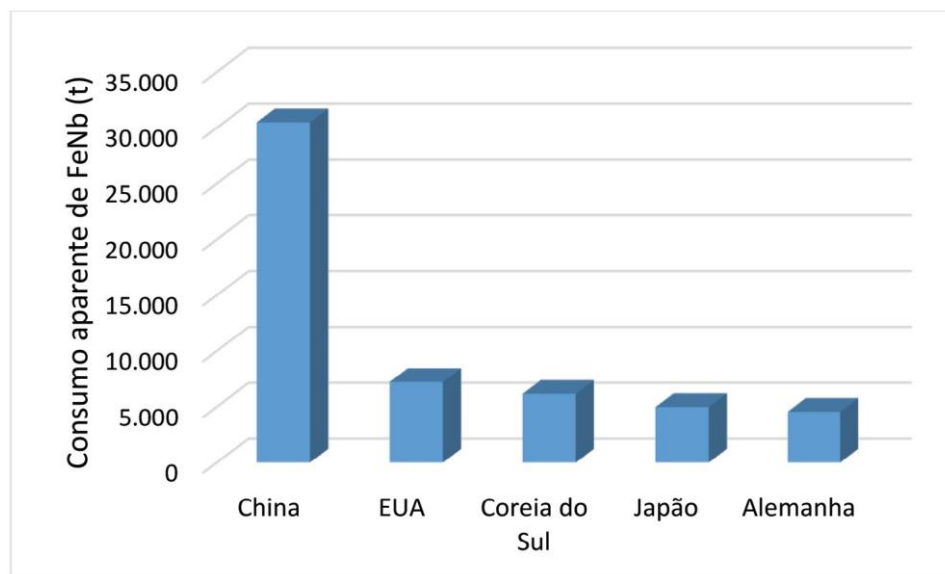
Tabela 10. Ranking dos principais consumidores mundiais de FeNb, em 2020.

Consumo Aparente* de FeNb em 2020 (t)	
China	30.489
EUA	7.212
Coreia do Sul	6.144
Japão	4.963
Alemanha	4.535

Fonte: Comtrade, 2022.

**Consumo Aparente = Importações – Exportações, considerando que os principais países consumidores não são produtores de nióbio.*

Figura 5. Principais consumidores mundiais de FeNb em 2020.



Em função do consumo na siderurgia, que é responsável por mais de 90% do total, o ranking dos produtores de aço se ajusta àquele dos consumidores de nióbio. Há que se acrescentar a isto a já mencionada participação crescente do nióbio, no mix de produtos siderúrgicos. O consumo na forma de produtos especiais tem um caráter complementar.

3.1.1.9. Importações de Nióbio

Não há importação para o Brasil. A Tabela 11 e a Figura 6 apresentam a evolução no ranking mundial dos países / regiões com maiores importações de FeNb no mundo.

Tabela 11. Ranking dos 8 principais importadores mundiais de ligas FeNb em 2020, juntamente com suas importações em 2010 e 2015.

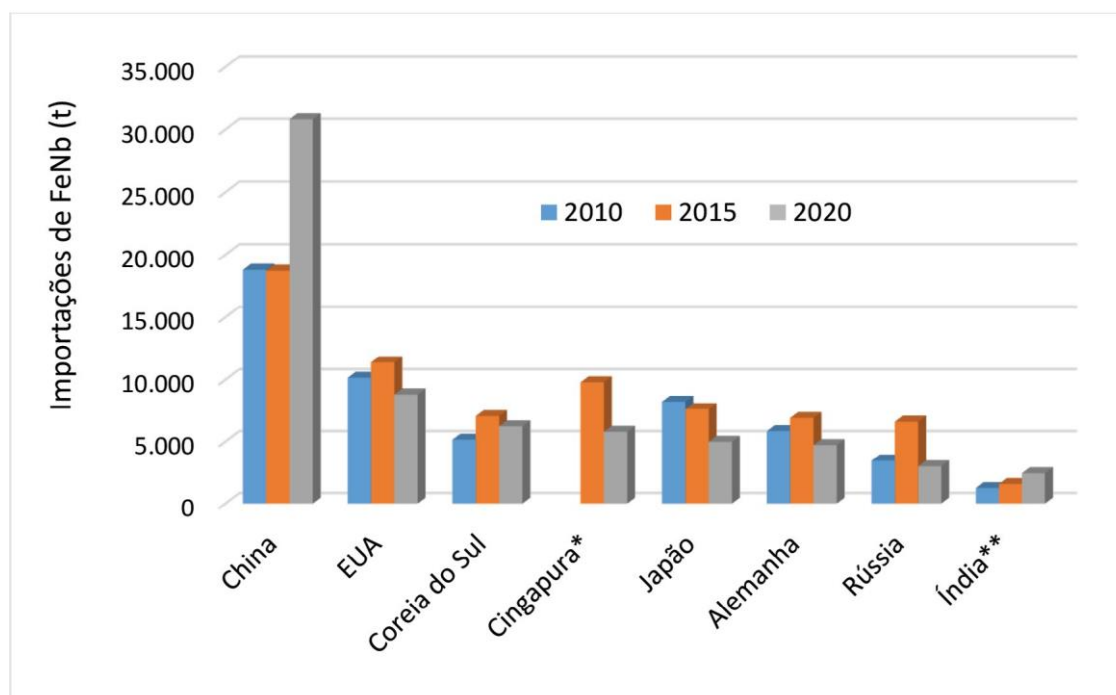
País	2010	2015	2020
China	18.778	18.711	30.799
EUA	10.142	11.381	8.793
Coreia do Sul	5.146	7.040	6.217
Cingapura*	--	9.774	5.773
Japão	8.214	7.616	4.971
Alemanha	5.829	6.888	4.709
Rússia	3.451	6.589	2.989
Índia**	1.242	1.559	2.426

Fonte: Comtrade, 2022.

*Cingapura não relatou importações em 2010.

**A Índia ocupou a 12ª posição em 2010 e a 13ª em 2015.

Figura 6. Principais importadores mundiais de ligas FeNb em 2020, juntamente com suas importações em 2010 e 2015.



Fonte: Comtrade, 2022.

Considerando a enorme concentração da produção, no Brasil, e a pequena, ou inexistente produção nos países industrializados, as importações, em uma primeira aproximação, correspondem ao consumo.

3.1.1.10. Exportações de Nióbio

No ano de 2020, o Brasil se coloca na 1ª posição no ranking mundial de exportadores de nióbio. A Tabela 12 e a Figura 7 apresentam a evolução do ranking mundial, com os cinco países de maior volume de exportação em 2020.

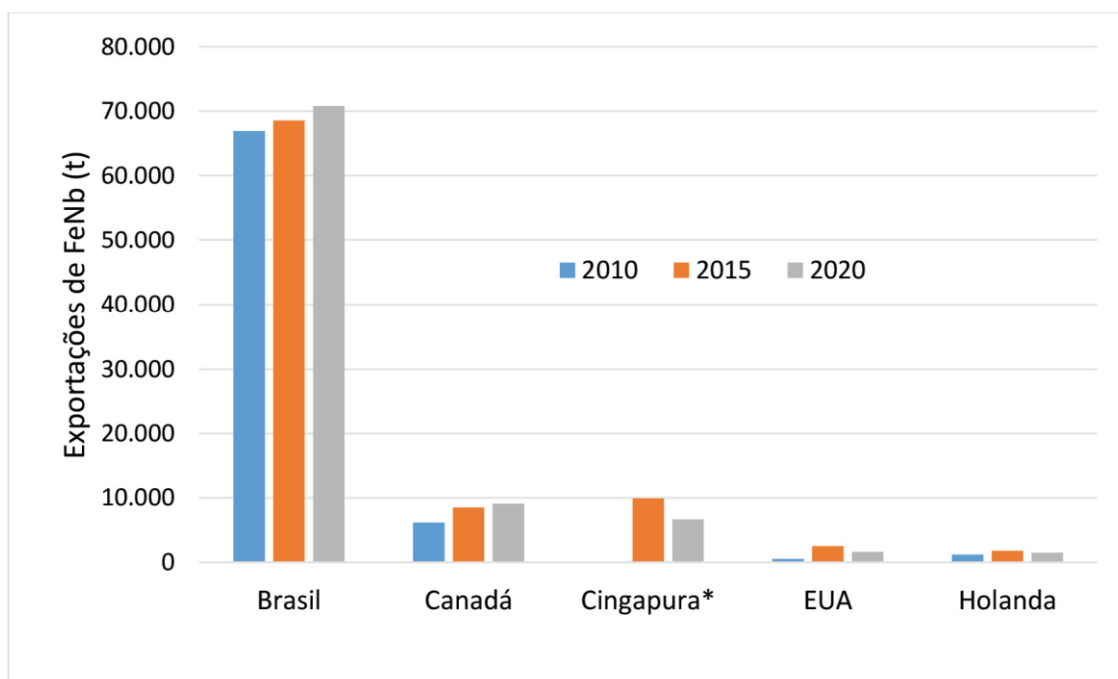
Tabela 12. Ranking dos principais exportadores mundiais de FeNb em 2020, e suas colocações nos anos de 2010 e 2020.

	2010	2015	2020
Brasil	66.948	68.576	70.785
Canadá	6.199	8.519	9.104
Cingapura*	0	9.919	6.704
EUA	508	2.478	1.581
Holanda	1.175	1.767	1.470

Fonte: Comtrade, 2022.

*Cingapura não relatou exportações em 2010.

Figura 7. Principais exportadores mundiais de FeNb.



Fonte: Comtrade, 2022.

*Cingapura não relatou importações em 2010.

Diametralmente oposto à importação, o Brasil é absoluto no ranking das exportações de produtos de nióbio (FeNb padrão e refinado; FeNb e NiNb, de grau a vácuo – VG; Nb metal; e óxido de Nb). Como já mencionado, o Canadá exporta cerca de 90% do seu ferro nióbio, mas também importa o equivalente a 20% de sua produção.

3.1.1.11. Porte das Empresas e Geração de Empregos

A Tabela 13 apresenta um panorama das empresas produtoras de nióbio, como principal produto, no Brasil no ano de 2020, conforme seu porte, em termos de produção, e listando ainda o estado da federação onde estão instaladas suas operações e os números de empregos diretos e indiretos gerados.

Tabela 13. Panorama das empresas produtoras de nióbio no Brasil, como principal produto, por porte de produção, no ano de 2020.*

Empresas de Grande Porte de Produção (>1Mt ROM/a)					
Empresa	Capacidade de Produção (mil t de Nb contido)	Produtos	Estado	Empregos diretos	Empregos indiretos
CBMM	150	FeNb, NiNb, Nbmet, Nb ₂ O ₅	MG	1.796	5.055
CMOC	14	FeNb	GO	760	2.139*
Total	164		Brasil	2.556	7.194

*Fontes: CBMM, 2021; CMOC, 2022. *Estimado na mesma proporção de empregos da CBMM.*

Obs.: Taboca e ERSa não são listadas, em razão de suas ainda pequenas produções de nióbio e por terem, consequentemente, a maior parte de sua estrutura voltada para a produção de estanho.

Como já comentado, tanto a localização, quanto o porte dos dois empreendimentos produtores de nióbio, são compatíveis com o porte e localização das respectivas reservas. Mais uma vez, cumpre lembrar que, na cadeia de produção do nióbio, a extração mineral e o processamento metalúrgico são operações casadas.

O índice adotado, considerando a operação integrada foi de 77,2 t por homem ano, para a CBMM, e de 24,7 t por homem ano para a CMOC. Esta diferença decorre tanto da qualidade do minério, quanto da escala de produção, bem como dos diferentes níveis de integração/linhas de produtos apresentados pelas duas empresas. Estes dados foram calculados a partir de relatórios internos das respectivas empresas.

Cumpre registrar que neste documento consideram-se empregos diretos todos os localizados no site da empresa, ou prestando serviços diretamente a estes, sejam atividades primarizadas ou terceirizadas, enquanto os empregos indiretos são os gerados nas comunidades circunvizinhas, em função do movimento econômico causado pelas atividades na empresa, na região. Desta forma, tais números podem divergir, dentre fontes distintas.

3.1.1.12. Porte dos Projetos em Andamento e/ou Previstos

A Tabela 14 apresenta um panorama dos projetos em andamento e/ou previstos para a produção de nióbio no Brasil, conforme seu porte, em termos de produção, e listando ainda os estados da federação onde estão instaladas suas operações.

Tabela 14. Panorama dos projetos em andamento e/ou previstos para a produção de nióbio no Brasil, por porte de produção, até o ano de 2030.

Empresas de Grande Porte de Produção			
Empresa	Capacidade de Produção (mil t de Nb contido)	Produtos	Estado
CBMM	225*	FeNb, Nb ₂ O ₅	MG
Total	225*		Brasil

Fontes: AMB (2022), DC, 2021.

**Expansão de capacidade instalada, de 150 mil t/ano para 225 mil t/ano*

A CBMM anuncia uma rodada de aportes de R\$ 7 bilhões: “Com realização prevista até 2030, os recursos serão igualmente destinados à ampliação da capacidade de produção de nióbio na unidade, que vai sair das atuais 150 mil toneladas por ano para 225 mil toneladas anuais, num horizonte de 2030, quando é prevista uma produção de 185 mil toneladas. Nesta expansão, a expectativa é que as aplicações do nióbio fora do segmento tradicional da siderurgia respondam por até 35% das vendas da companhia, sendo 25% referentes ao segmento de baterias”. (DC, 2021)

Previsto para se iniciar em 2023, o programa poderá ter seu cronograma ajustado, em função das perspectivas de demanda e, ainda, da resposta do mercado ao novo desenvolvimento das baterias. No caso da CMOC, o aumento da produção de FeNb é previsível, dado o acentuado incremento da demanda da China, seu principal mercado. Atualmente, está em processo de expansão a instalação de recuperação de nióbio dos rejeitos da antiga NIOBRAS, sucedida pela CMOC, acumulados ao longo de 40 anos, uma vez que recuperação metálica da operação está em torno de 40% e há uma meta de recuperação de 56%. (CMOC, 2022)

Em se tratando de expansões, o índice de geração de empregos será inferior ao de uma unidade nova, no caso de incrementos menores. No caso das projeções de médio/longo prazos pode-se, conservadoramente, adotar o índice pleno.

3.1.1.13. Projeções até 2050 do Nióbio, em Cenário Transformador

Os dados de estimativas das projeções para o Brasil, até 2050, considerando um cenário intermediário (transformador), são apresentados na Tabela 15. Os dados mundiais consideram apenas um cenário, conforme estimativas de agências internacionais e projeção da taxa de crescimento. A evolução das produções, consumo brasileiro e mundial, exportações e empregos em um cenário transformador, são apresentadas nas Figuras 8a e 8b, respectivamente.

As projeções foram feitas a partir das estimativas de agências internacionais e projeção da taxa de crescimento, em conjunto com as projeções da siderurgia (FeNb) e da IEA, considerando, ainda, o aumento da participação dos produtos especiais, particularmente decorrente do desenvolvimento das baterias automotivas, em desenvolvimento conjunto da CBMM, Toshiba e montadoras.

Considerando um bom desempenho das baterias LiNb, a participação do óxido no mix de produtos pode chegar a 20/25% (valor que foi considerado nas projeções). Uma outra consideração adotada foi que a condição atual, onde o óxido é produzido somente pela CBMM, se mantém no período.

Para o consumo na siderurgia, foram feitas as projeções previstas e inferidas, considerando as previsões de crescimento do PIB e com base no conhecimento do setor. As projeções mundiais foram baseadas nas previsões da OECD (FeNb). Os dados referentes ao monóxido são considerados a parte, por não se relacionar com as alternativas relacionadas a energia. Os índices referentes à mão de obra são considerados no valor pleno e a proporção CBMM/CMOC atual, referida às capacidades nominais, é mantida.

Dada a extensão da projeção e o fato de que ainda não há definições firmes, as estimativas de emprego devem ser encaradas com reserva. No entanto, uma observação importante é que, com base em considerações feitas anteriormente, dentro de um contexto nacional, a verticalização da produção, ou seja, a implantação no Brasil de unidades de fabricação dos produtos finais, como, por exemplo, a produção de baterias, levaria a uma potencialização dos efeitos socioeconômicos decorrentes da indústria de nióbio brasileira.

Tabela 15. Estimativas das projeções do nióbio, até 2050, considerando um cenário transformador. *

	2020	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Produção Brasileira (kt/a) ¹	59,8	64,9	76,3	89,7	102,2	116,3	132,5	150,8	171,7
Investimentos no Brasil (US\$M)			(**)						
Produção Mundial (kt/a) ¹	67,7	73,4	86,3	101,5	115,6	131,6	149,8	170,6	194,3
Consumo Interno (kt/a) ²	1,55	2,25	2,69	3,28	3,64	4,40	4,87	5,85	6,48
Importações (kt/a)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Consumo Externo (kt/a) ¹	66,15	71,15	83,61	98,22	111,96	127,20	149,27	164,75	187,82
Exportações (kt/a) ³	58,25	62,65	73,61	86,42	98,56	111,90	127,63	144,95	165,22
Empregos Diretos ⁴	2.556	2.772	3.260	3.835	4.367	4.972	5.662	6.447	7.341
Empregos indiretos ⁴	7.149	7.753	9.119	10.726	12.213	13.907	15.835	18.031	20.532

Fontes: CBMM, 2021; CMOC, 2022; IABR, 2022; OECD, 2022; IEA, 2020.

¹Considerando as produções das empresas já em operação, com aumento projetado de 4,14% ao ano, até 2030, e 3,3% ao ano de 2030 a 2050, acompanhando as projeções mundiais de minério de ferro e aço, conforme Future Marketing Insights (FMI, 2022) e World Steel Association (WSA, 2022), respectivamente, uma vez que a quase totalidade do nióbio produzido tem o aço como consumidor final.

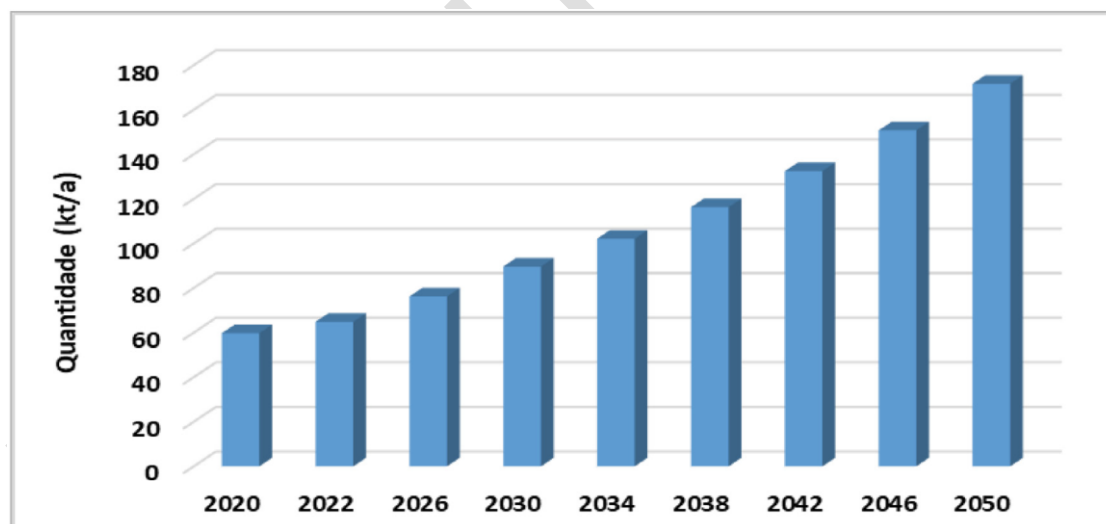
²Considerando o consumo brasileiro de produtos de nióbio crescendo na mesma proporção do mundo.

³Considerando que o Brasil exportará todo o excedente.

⁴Considerando fixas as relações atuais de empregos diretos e indiretos, por kt de nióbio contido produzido (*)Valores expressos em Nb contido.

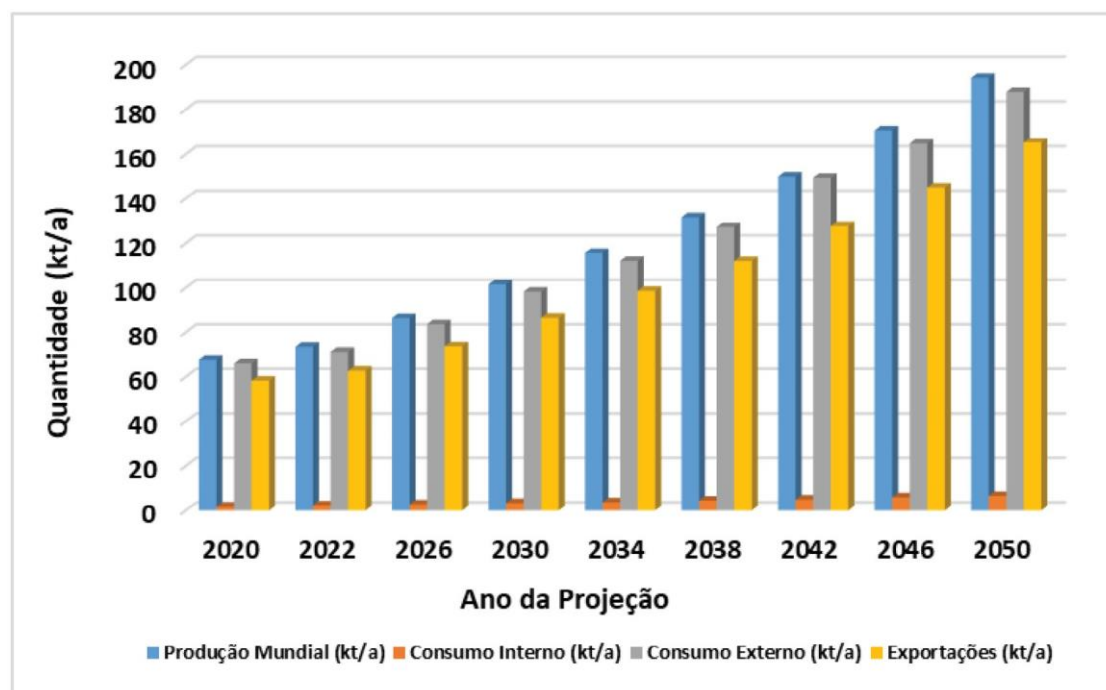
(**) O único investimento anunciado é o da CBMM no período de 2023 a 2030, de R\$7 bilhões (USD1,4 bilhões). Este valor não está lançado no quadro, por ser evidente que não será o único investimento no período.

Figura 8a. Evolução da produção brasileira de nióbio, em um cenário transformador.



Fontes: CBMM, 2021; CMOC, 2022; IABR, 2022; OECD, 2022; IEA, 2020.

Figura 8b. Evolução da produção mundial, do consumo interno, do consumo externo e das exportações, em um cenário transformador.



Fontes: CBMM, 2021; CMOC, 2022; IABR, 2022; OECD, 2022; IEA, 2020.

3.1.1.14. Usos e Aplicações do Nióbio

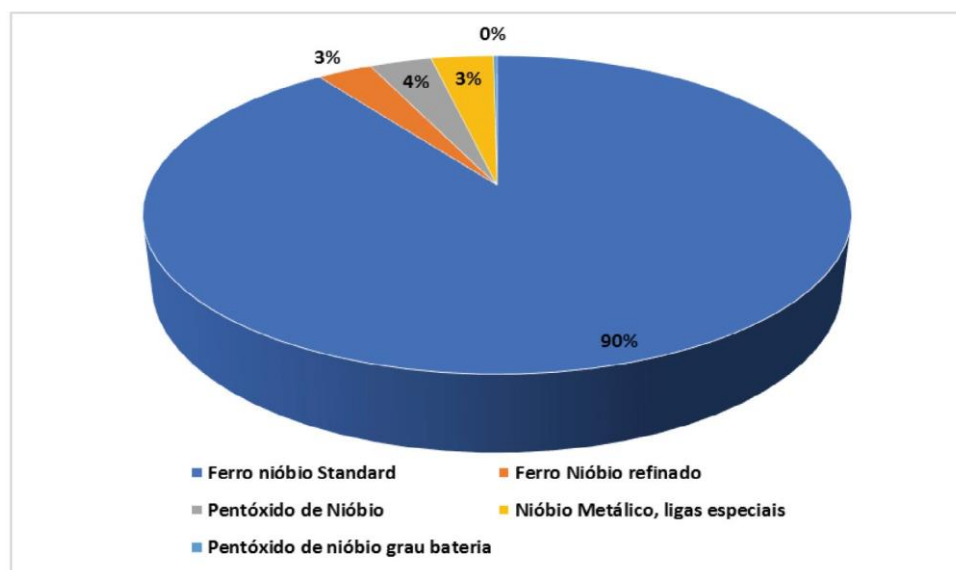
A tabela 16 apresenta as principais aplicações dos produtos da cadeia do nióbio e seus percentuais relativos de uso, enquanto a Figura 9 mostra um resumo das contribuições de cada aplicação para o total do uso do nióbio. Cabe ressaltar que de todos os produtos listados o Brasil ainda é produtor apenas dos aços, de maneira que apresenta-se aqui uma oportunidade para a expansão da cadeia do nióbio no Brasil, além do aumento da produção dos aços especiais.

Tabela 16. Aplicações e percentuais de uso dos produtos da cadeia do nióbio.

Produto	Aplicação	Uso (%)
Ferro Nióbio Standard	Aços de alta resistência e baixa liga (HSLA), Aços inoxidáveis, Aços refratários e criogênicos	90%
Ferro Nióbio refinado	Super ligas, Indústria aeroespacial	3%
Pentóxido de Nióbio	Indústria óptica, eletrônica	3,4%
Nióbio Metálico, ligas especiais	Supercondutores, tomógrafos, aceleradores de partículas	3,4%
Pentóxido de nióbio grau bateria	Baterias veículos elétricos	Futuro

Fonte: CBMM, (2021).

Figura 9. Resumo das contribuições de cada aplicação para o total do uso do nióbio.



Fonte: CBMM, (2021).

Na configuração atual, o seu uso na siderurgia é francamente predominante, e não só tende a continuar assim, como a intensidade da sua participação é crescente, principalmente pelo aumento da demanda dos aços HSLA (alta resistência – baixa liga), mas também pelo aumento possível da concentração de nióbio nos aços. Por outro lado, mesmo considerando a predominância do FeNb padrão, o seu uso em aplicações especiais tende a aumentar sua participação relativa, decorrente das perspectivas do uso do pentóxido em baterias. Esta aplicação ainda está em uma etapa de desenvolvimento, mas os indicadores são promissores.

Os produtos para as demais aplicações (ligas refinadas, Nb metal, pentóxido para aplicações ópticas etc.), apesar do elevado valor agregado, têm volumes tipicamente baixos, não tendo, portanto, influência significativa na evolução da produção global.

3.1.1.15. Padrão Tecnológico da Cadeia do Nióbio

As principais tecnologias utilizadas no Brasil na cadeia do nióbio são apresentadas na Tabela 17, juntamente com as tecnologias benchmark internacionais. A Figura 10 apresenta um fluxograma simplificado da rota tecnológica predominante no Brasil, referente à operação global da CBMM, para a cadeia do nióbio.

A operação da CMOC contempla apenas a produção do FeNb padrão e poderia ser representado pela parte esquerda do fluxograma. Ainda com respeito à CMOC, a produção da liga é feita pela rota aluminotérmica, onde a energia do processo é gerada pela redução do alumínio, sem o emprego de energia externa. Nessa opção, toda a energia vem da reação de oxidação do alumínio. A CBMM adota o processo eletro-aluminotérmico, onde a energia proveniente do alumínio se restringe àquela gerada nas reações de redução dos óxidos formadores da liga e o restante das necessidades energéticas são na forma de energia elétrica.

A primeira alternativa é empregada em todas as demais unidades produtoras no mundo, enquanto a segunda é adotada apenas pela CBMM, uma vez que é a única que tem escala de produção que viabiliza o investimento em fornos elétricos. Esta tecnologia foi desenvolvida pela CBMM, com o suporte da DEMAG, na engenharia do processo.

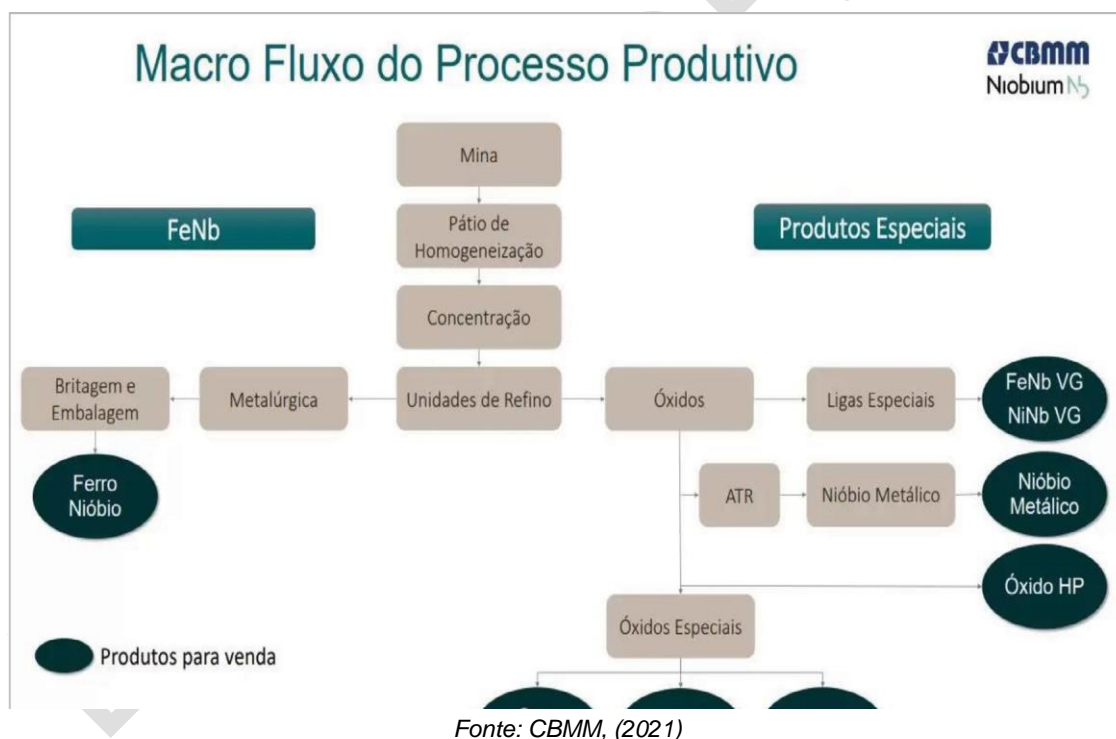
Com respeito aos produtos especiais, as ligas especiais são refinadas por tratamento a vácuo, o metal, por fornos de feixe de elétrons, e os óxidos são produzidos com tecnologia exclusiva da CBMM.

Tabela 17. Principais tecnologias utilizadas no Brasil, na cadeia do nióbio, juntamente com as tecnologias benchmark internacionais.

Produto	Tecnologia Produtiva no Brasil	Tecnologia Ambiental no Brasil	Benchmark Tecnológico Produtivo	Benchmark Tecnológico Ambiental
FeNb padrão	Aluminotermia, Eletro-aluminotermia	CBMM	CBMM	CBMM
FeNb refinado	Refino a vácuo	CBMM	CBMM	CBMM
NiNb	Refino a Vácuo	CBMM	CBMM	CBMM
Óxidos	Tecnologia CBMM	CBMM	CBMM	CBMM
Nb	Feixe de elétrons	CBMM	CBMM	CBMM

Fonte: CBMM, 2021; CMOC, 2022.

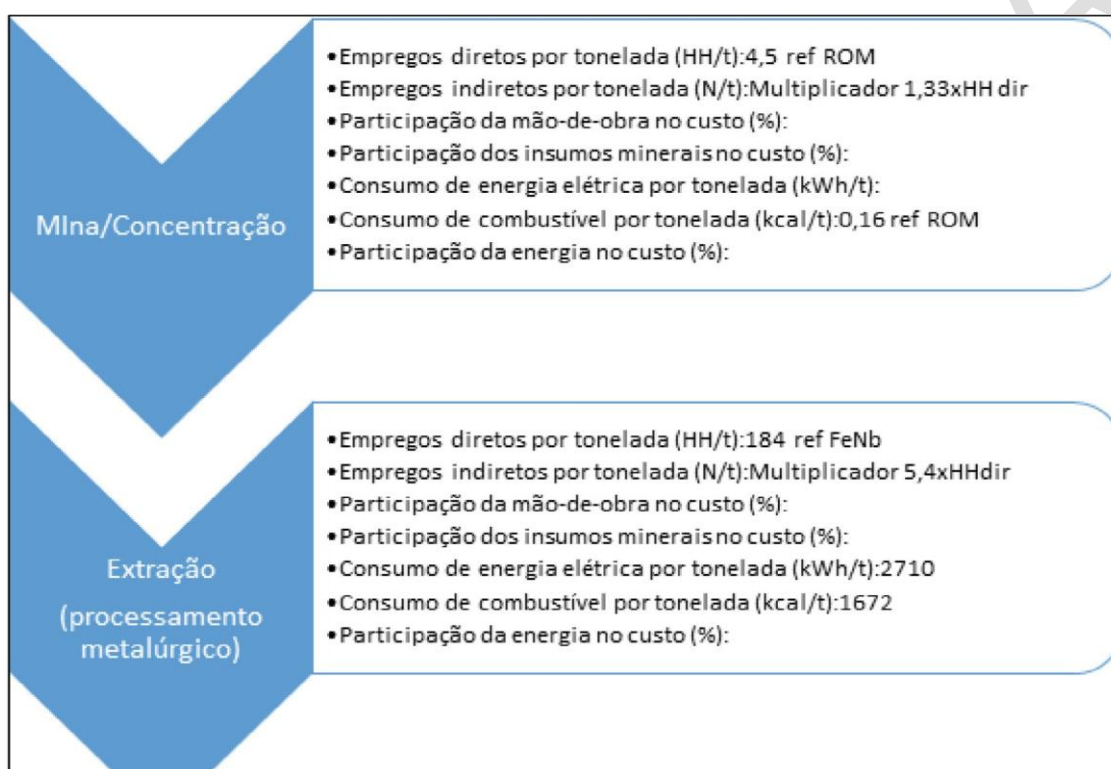
Figura 10. Fluxograma da rota tecnológica predominante no Brasil e das possíveis rotas alternativas, na cadeia do nióbio.



3.1.1.16. Análise Integrada da Cadeia Produtiva do Nióbio

A Figura 11 apresenta um fluxograma simplificado da cadeia do nióbio, especificando, para cada etapa onde há informações seguras, estimativas médias de geração de empregos/t (diretos e terceirizados permanentes), estimativa de sua participação (%) no custo de produção, estimativa de participação (%) dos insumos minerais no custo de produção, energia elétrica (kWh/t), combustível (kcal/t) e total (tep /t) e estimativa de participação (%) no custo de produção.

Figura 11. Fluxograma simplificado da cadeia do nióbio.



Fonte: CBMM, 2021

Lista de referências:

AMB: Anuário Mineral Brasileiro, de 2011 a 2022.

CBMM, 2021: Relatório de Sustentabilidade 2020 / 2021 em <https://cbmm.com/assets/sustainability-report-2020/pdf/CBMM-Relatorio-de-Sustentabilidade-2020.pdf>

CBMM: CBMM - Apresentação à Comissão de Minas e Energia-Câmara Federal, em 2019.

CMOC, 2022: CMOC Brasil (China Molybdenum Co.), informações diretas da empresa em 2022.

COMTRADE 2022: <https://comtrade.un.org/data>, sob o código HS720293.

DC: Diário do Comércio 10/2021.

ERSA: Estanho Rondônia S.A., informações da empresa em 2022.

FMI, 2022: Future Market Insights em www.futuremarketinsights.com/reports/direct-reduced-iron-dri-market. Acesso em 05.05.2022.

IABR: Instituto Aço Brasil, 2022, em: <https://acobrasil.org.br/site/>.

IEA: International Energy Agency 2020.

MSCI: MSCI ESG Rating 2021, em: <https://www.msci.com/our-solutions/esg-investing/esg-ratings>.

OECD: Organization for Economic Co-operation and Development – Brazil, 2022, em: <https://www.oecd.org>.

The territorialization of the niobium global extractive network in Goiás, Brazil – Ateliê Geográfico Goiânia – GO – v 4 n 2 ago 2020.

USGS: USGS Mineral Commodities Summary, de 2011 a 2022.

World Bank: World Bank - World Integrated Trade Solution – 2021.

WSA, 2022: World Steel Association em <https://www.reportlinker.com/report-summary/Iron-And-Steel/111879/Global-Steel-Industry>. Acesso em 05.05.2022.

PLANO NACIONAL DE MINERAÇÃO 2050

PNM 2050

CADEIA PRODUTIVA 2: ALUMÍNIO**Caderno 3: Cadeias Produtivas dos Minerais
para a Transição Energética**

CADEIA PRODUTIVA 2: ALUMÍNIO	32
3.1. Caracterização das Cadeias Produtivas.....	33
3.1.2.1. Polos produtivos mineiro-industriais no Brasil, da Cadeia Produtiva do Alumínio	33
3.1.2.2. O Parque Produtivo do Alumínio no Brasil	37
3.1.2.3. Consumo Energético e Emissão de CO ₂ , da Cadeia Produtiva do alumínio	38
3.1.2.4. Utilização de Água, da Cadeia Produtiva do Alumínio	39
3.1.2.5. Geração de Resíduos, da Cadeia Produtiva do Alumínio.....	40
3.1.2.6. Geração de Resíduos Sólidos, da Cadeia Produtiva do Alumínio.....	41
3.1.2.7. Produção Histórica do Alumínio	42
3.1.2.8. Consumo de Alumínio.....	45
3.1.2.9. Importações de Alumínio.....	47
3.1.2.10. Exportações de Alumínio.....	48
3.1.2.11. Porte das Empresas e Geração de Empregos do Alumínio.....	49
3.1.2.12. Porte dos Projetos em Andamento e/ou Previstos e Geração de Empregos do alumínio	52
3.1.2.13. Projeções até 2050 do alumínio, em 3 cenários hipotéticos	53
3.1.2.14. Usos e Aplicações do Alumínio	57
3.1.2.15. Padrão Tecnológico da Cadeia do Alumínio.....	57
3.1.2.16. Análise Integrada da Cadeia Produtiva do Alumínio.....	61

3.1. Caracterização das Cadeias Produtivas

O alumínio, em face de suas características de leveza, maleabilidade, condutibilidade elétrica e térmica, resistência mecânica adequada à conformação em várias espessuras, resistência à corrosão, altamente reciclável e de baixo custo relativo, é um dos metais mais utilizados na vida moderna. Ele está presente na construção civil, na indústria automotiva, na aviação, na transmissão de energia, na transmissão de informações, nos dispositivos eletrônicos, na embalagem dos mais variados produtos, entre muitos outros. Na sua cadeia de produção há ainda o óxido de alumínio ou alumina e o óxido hidratado, ou hidrato, além da própria bauxita que são materiais de grande utilização na indústria.

3.1.2.1. Polos produtivos minero-industriais no Brasil, da Cadeia Produtiva do Alumínio

Os centros produtivos da cadeia produtiva do alumínio no Brasil, em 2021, juntamente com nível de concentração da produção, sua distribuição territorial e percentual de participação de capital nacional/estrangeiro, são apresentados na Tabela 1, para todos os produtos e nos gráficos das Figuras 1a, 1b e 1c

Tabela 1. Polos produtivos da cadeia produtiva do alumínio, em 2021.

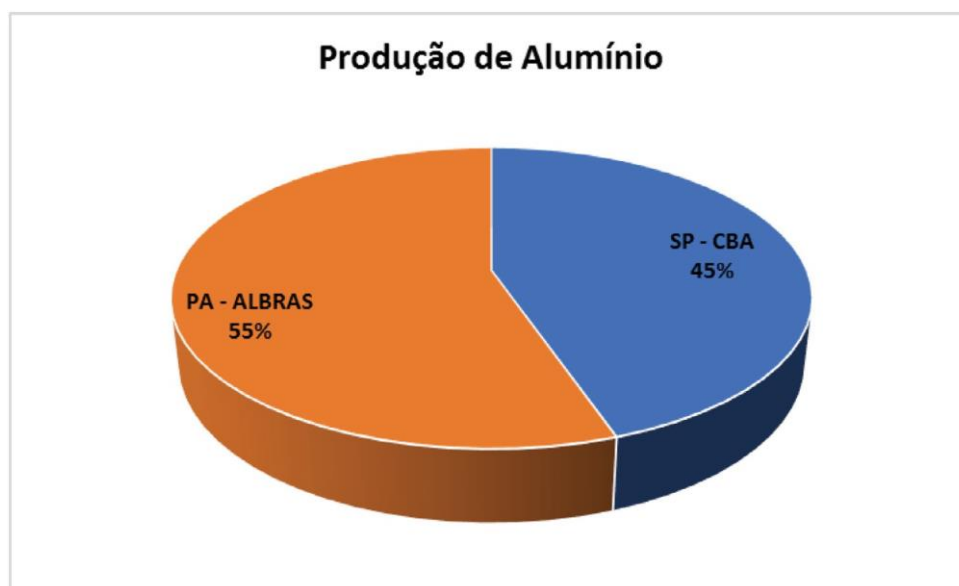
Estado	Município	Empresa	Produtos	Produção (kt/a)	Capital Nacional (%)	Capital Externo (%)	Percentual da Produção Nacional
SP	Alumínio	CBA	Alumínio	306,2	100	0	44,7%
PA	Barcarena	ALBRAS	Alumínio	378,9	0	100	55,3%
TOTAL			Alumínio	685,1			
PA	Barcarena	ALUNORTE	Alumina	5.466,5	0	100	53,7
MA	São Luiz	ALCOA	Alumina	2.080,5	0	100	20,4
	São Luiz	SOUTH 32	Alumina	1.387,0	0	100	13,6
	São Luiz	RIO TINTO	Alumina	385,3	0	100	3,8
SP	Alumínio	CBA	Alumina	651,6	100	0	6,4
MG	Poços de Caldas	ALCOA	Alumina	112,4	0	100	1,1
	Ouro Preto	ACTECH*	Alumina	101,4	100	0	1,0
TOTAL			Alumina	10.184,7			
PA	Oriximina	MRN	Bauxita	12.289,8	52	48	37,4
PA	Juruti	ALCOA	Bauxita	7.062,6	0	100	21,5
PA	Paragominas	HYDRO	Bauxita	8.840,2	0	100	26,9

MG/ GO	P. Caldas, Mi- rai, Itamarati e Barro Alto	CBA	Bauxita	1.749,1	100	0	5,3
		OUTROS	Bauxita	2.797,1			8,5
TOTAL			Bauxita	32.897,8			

Fontes: ABAL, (2021) e VS, (2022).

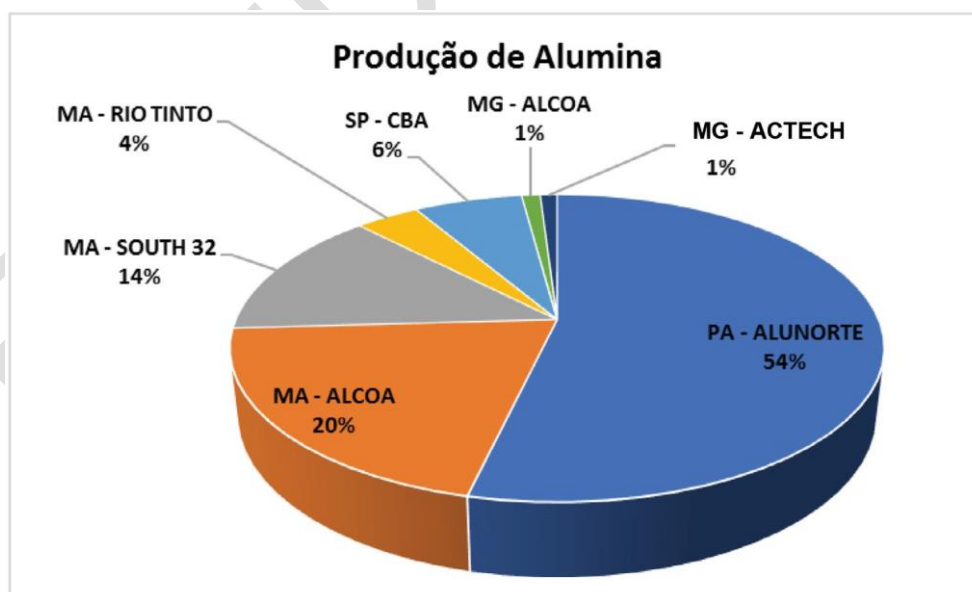
Nota: *Nova empresa nacional, que adquiriu as operações da Hindalco Brasil, em março de 2022.

Figura 1a. Polos produtivos de alumínio no Brasil, em 2021.

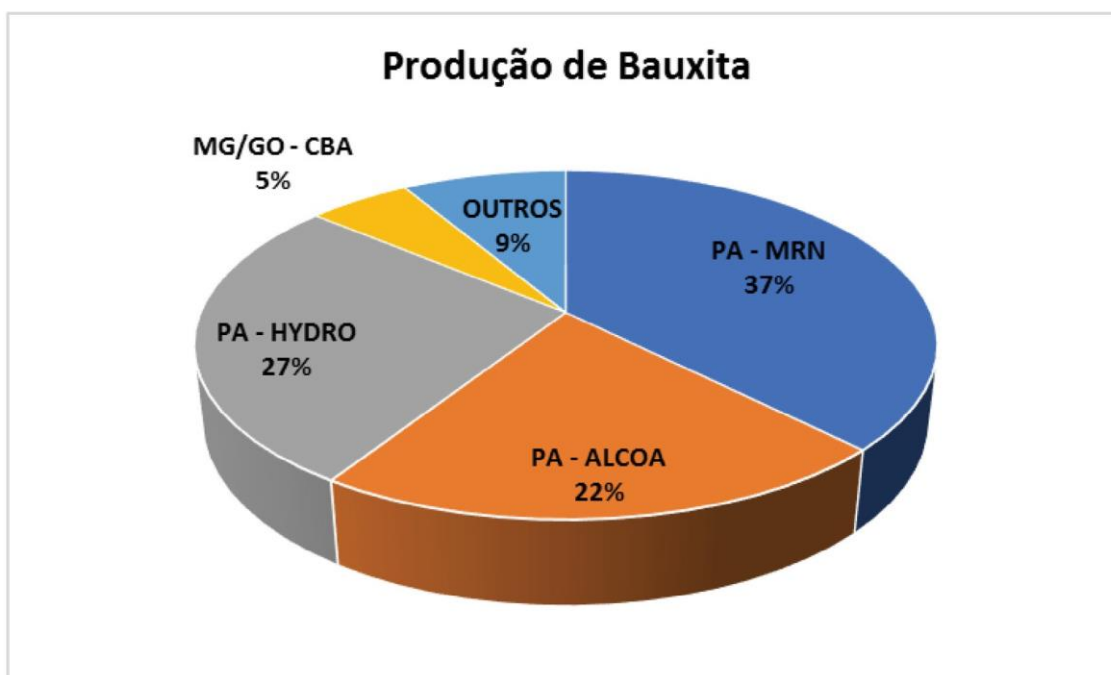


Fontes: ABAL, (2020) e VS, (2022).

Figura 1b. Polos produtivos no Brasil de alumina, até 2021.



Fontes: ABAL, (2020) e VS, (2022).

Figura 1c. Polos produtivos no Brasil de bauxita, em 2021.

Fontes: ABAL, (2020) e VS, (2022).

O Brasil tem a 3ª maior reserva mundial de bauxita, minério do alumínio, sendo a bauxita brasileira uma das melhores do mundo. Está localizada principalmente na região norte do país, daí a produção de bauxita e alumina estar concentrada nessa região. Na produção de alumínio existem hoje no Brasil apenas dois produtores: a CBA, de capital nacional e a ALBRAS de capital norueguês e japonês. No início do século tínhamos outros produtores e o país chegou a produzir 1,5 milhão t/a, mas desde 2014/2015 a produção caiu ao nível de 700 mil t/a, devido ao preço alto da energia no mercado interno e ao preço baixo do alumínio no mercado internacional.

Tais produções colocam o Brasil, no ano de 2019, na 15ª posição no ranking mundial na produção de alumínio, conforme apresentado na Tabela 2, juntamente com os 15 países com maiores produções no mundo.

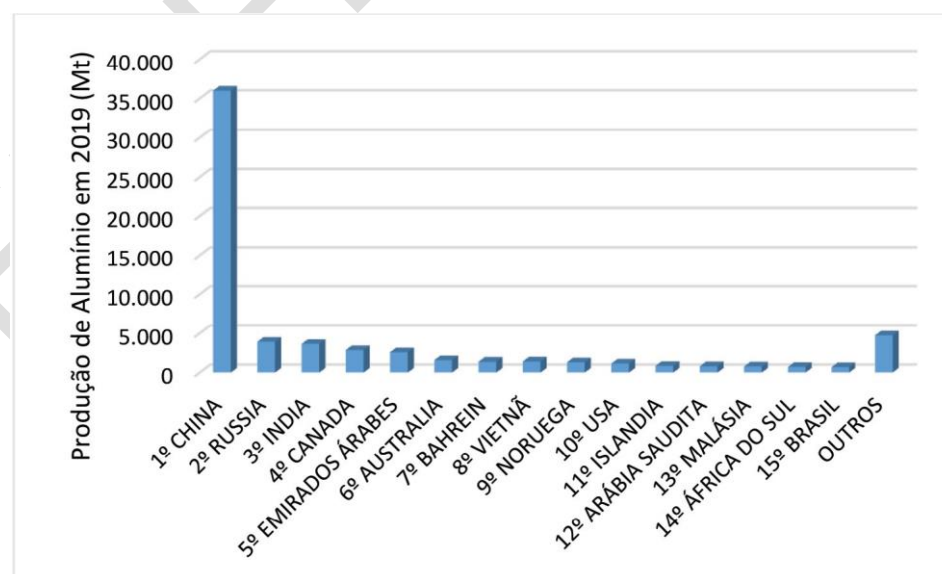


Tabela 2. “Ranking” dos principais produtores mundiais de alumínio, no ano de 2019.

Colocação / País	Produção (kt/a)
1º CHINA	35.975
2º RUSSIA	3.900
3º INDIA	3.627
4º CANADA	2.854
5º EMIRADOS ÁRABES	2.573
6º AUSTRALIA	1.570
7º BAHREIN	1.365
8º VIETNÃ	1.395
9º NORUEGA	1.297
10º USA	1.126
11º ISLÂNDIA	845
12º ARÁBIA SAUDITA	790
13º MALÁSIA	760
14º ÁFRICA DO SUL	717
15º BRASIL	685
OUTROS	4.732
TOTAL	64.211

Fonte: ABAL, (2021).

Figura 2. “Ranking” dos principais produtores mundiais de alumínio, no ano de 2019.



Fonte: ABAL, (2021).

A China, com sua produção baseada no carvão, produz hoje cerca de 58% da produção mundial de alumínio e tem praticado uma política de preços absolutamente predatória contra a produção de outros países. Não obstante, Rússia e Canadá têm se mantido como grandes produtores e a Índia e países do Oriente Médio têm conseguido crescer.

3.1.2.2. O Parque Produtivo do Alumínio no Brasil

O parque produtivo no Brasil do alumínio, incluindo número de empresas, capacidade, localização e tipologia das unidades de produção que integram a cadeia de sua produção minero-industrial, juntamente com a caracterização das integrações a montante e a jusante, bem como de facilidades locais e logísticas associadas às integrações existentes, é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Caracterização do parque produtivo brasileiro do Alumínio.

	Empre- sa	Local	Produ- tos	Produ- ção (kt/a)	Opera- ção Mont- ante	Logís- tica	Distân- cia	Opera- ção Jusante	Logís- tica	Distân- cia
Lavra	MRN	PA	Bauxita	ND	-	-	-	MRN	-	-
	ALCOA	PA	Bauxita	ND	-	-	-	ALCOA	-	-
	HYDRO	PA	Bauxita	ND	-	-	-	HYDRO	-	-
	CBA	MG/GO	Bauxita	ND	-	-	-	CBA	-	-
Beneficiamento	MRN	PA	Bauxita lavada	12.289,8	MRN	-	-	HYDRO, ALCOA, SOUTH, RIO TINTO, EX-PORT	Ferrovia e Navios	-
	ALCOA	PA	Bauxita lavada	7.421,6	ALCOA e MRN	-	-	ALCOA, SOUTH,	Navios	-
	HYDRO	PA	Bauxita lavada	11869,5	HYDRO e MRN	-	-	HYDRO	Minero- duto	240 km
	CBA	MG GO	Bauxita	1749,1	CBA	-	-	CBA	Ferrovia e Cami- nhão	2 km
Alumina	HYDRO	PA	Alumina Hidrato	6.000	MRN e HYDRO	Navio e Minero- duto	1000 km e 240 km	ALBRAS e EX-PORT	Cami- nhão e Navios	-
	ALCOA	MA	Alumina	2.080,5	MRN e ALCOA	Navio	1000 km	ALCOA	-	-
	SOUTH	MA	Alumina	1.387,0	MRN e ALCOA	Navio	1000 km	SOUTH	-	-
	RIO TINTO	MA	Alumina	385,3	MRN e ALCOA	Navio	1000 km	EX-PORT	-	-
	CBA	SP	Alumina	651,6	CBA	-	-	CBA	-	-
Alumínio	HYDRO	PA	Alumínio	378,9	HYDRO	Cami- nhão	1,5 km	EX-PORT.	-	-
	ALCOA	MA	Alumínio	0	-	-	-	-	-	-
	SOUTH	MA	Alumínio	0	-	-	-	-	-	-
	CBA	SP	Alumínio	306,2	CBA	-	-	CBA	Cami- nhão	2 km

Fonte: VS, (2022).

O Brasil tem a 3ª reserva mundial de bauxita e é o 4º maior produtor mundial do minério. Ao mesmo tempo é o 3º maior produtor mundial de alumina, o que demonstra sua competitividade na oferta da bauxita e da alumina. O mesmo não ocorre com a produção do alumínio, onde países que dispõem de energia barata – Oriente Médio, Canadá, Rússia e China, tornaram antieconômica a ampliação da produção brasileira. Contudo, a produção chinesa é baseada na energia do carvão e a do Oriente Médio na energia do gás natural, o que deve reverter a atual posição competitiva dos citados sistemas produtivos diante dos novos conceitos de sustentabilidade.

3.1.2.3. Consumo Energético e Emissão de CO₂, da Cadeia Produtiva do alumínio

O consumo energético e a emissão de CO₂ da cadeia produtiva do alumínio no Brasil, incluindo as principais fontes energéticas utilizadas, e as estimativas do percentual de auto suprimento de energia, do tratamento das emissões gasosas e do grau de automação nas empresas, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Consumo energético e emissão de CO₂ da cadeia produtiva do Alumínio no Brasil.

	Empresa	Local	Consumo Energético (GJ/t)	Fontes de Energia	Auto-Geração (%)	Emissão de CO ₂ (t/t)	Tratamento de gases	Grau de Automação
Lavra e Beneficiamento	Todas	-	0,18	Óleo/Elétrica	0	0,06	-	-
Média BR			0,18	Óleo/Elétrica	0	0,06	-	-
Alumina	HYDRO	PA	-	Óleo Carvão	60	-	Particulados SO ₂	-
	ALCOA	MA		Óleo Carvão	50		Particulados SO ₂	
	SOUTH 32	MA		Óleo Carvão	50		Particulados SO ₂	
	RIO TINTO	MA		Óleo Carvão	50		Particulados SO ₂	
	CBA	SP		Gás / Óleo / Biomassa	80		Particulados	
Média BR			8,0	Gás / Óleo e Carvão	60	0,7		>80%
Alumínio	ALBRAS	PA	-	Hidro	0	-	Completo	-
	CBA	SP		Hidro	80			
Média BR			52,2	Hidro	40	2,6		>80%
Média no Brasil			69,1*	-		4,3*		>80%

Fonte: VS (2022)

Nota: *Por tonelada do metal

As áreas de mineração e beneficiamento se localizam em ambientes remotos e têm normalmente baixo consumo de combustíveis e nível reduzido de emissões. Dentro do cenário de maior sustentabilidade, tenderão a fazer maior uso da energia de fonte solar e/ou eólica.

Para a produção da alumina, é imprescindível o uso de combustíveis para a geração de vapor e para a calcinação. As fábricas da HYDRO (ALUNORTE) e da ALCOA / SOUTH 32 / RIO TINTO (ALUMAR) têm os mais baixos consumos energéticos do mundo e a da CBA é igualmente muito eficiente. ALUNORTE e ALUMAR geram parte significativa de sua demanda de energia elétrica via co-geração. E na produção do alumínio metálico, a fonte usual continua sendo a hidroelétrica. Daí resulta que o índice médio de emissão de CO₂ na produção de alumínio no Brasil, seja menos da metade do índice mundial que é da ordem de 9 t/t.

Os parques de geração solar e eólica estão se expandindo e poderão dar novo alento à produção do alumínio no Brasil. Efetivamente para a retomada da produção de alumínio na ALUMAR, n ano de 2022, a fonte energética prevista é totalmente limpa e renovável – solar e/ou eólica.

É preciso ressaltar que a reciclagem do alumínio já responde por mais de 50% do consumo brasileiro, com grande redução no consumo de energia e nas emissões de CO₂.

3.1.2.4. Utilização de Água, da Cadeia Produtiva do Alumínio

A utilização de água no Brasil, da cadeia produtiva do alumínio, incluindo o percentual de recirculação da água utilizada e o tratamento do efluente líquido, é apresentada na Tabela 5, enquanto a Figura 3 mostra o mapa com os consumos de água por estado.

Tabela 5 - Utilização de água na cadeia produtiva do alumínio no Brasil

Consumo Médio na Operação	Consumo de Água* (m³/t)	Reutilização (%)	Tratamento de Efluentes
Lavra**	0	0	0
Beneficiamento**	0,9	85	100%
Extração**	0,5	90	100%
Refino**	1,5	90	100%
Média no Brasil***	7,0	87	100%

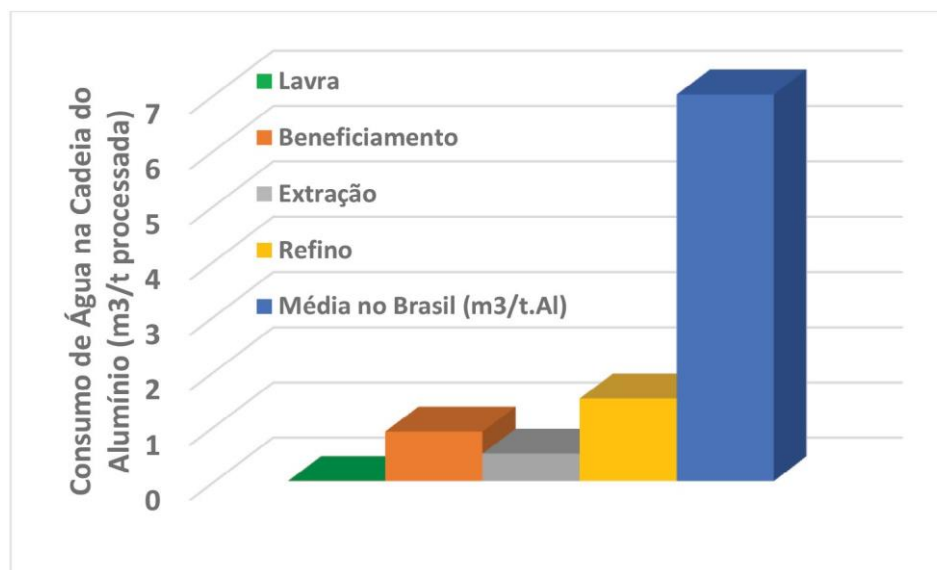
Fonte: VS/ PRODUTORES, (2022).

*Por tonelada do metal

**Valores mínimos de consumo

***Valor praticado no Brasil

Figura 3. Utilização de água no Brasil, da cadeia produtiva do alumínio.



Fonte: VS/ PRODUTORES, (2022).

*Por tonelada do metal

**Valores mínimos de consumo para lavra, beneficiamento, extração e refino.

***Valor médio praticado no Brasil

3.1.2.5. Geração de Resíduos, da Cadeia Produtiva do Alumínio

A geração de resíduos no Brasil, da cadeia produtiva do alumínio, bem como uma pré-qualificação e potencial de aproveitamento dos resíduos em outros segmentos ou em obras de infraestrutura juntamente com as práticas de prevenção ou mitigação de impactos ambientais, é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6. Geração de resíduos no Brasil, da cadeia produtiva do alumínio.

Geração Média na Operação	Geração de Resíduos (t/t _{produto})	Natureza dos Resíduos	Potencial de Aproveitamento (setor)	Práticas de Mitigação de Impactos Ambientais
Beneficiamento	0,12	Orgânico e Inorgânico	Não	Aterro Sanitário
Extração	0,7	Pasta a 60% Sólidos	Componente para pisos, prod. cimento ou geopolímeros	Sólidos retidos em área estanque
Refino	0,05	Sólido carbonoso	Recuperação de AlF ₃ (fluoreto de alumínio)	Retenção em área estanque e coberta
Média no Brasil*	2,05			

Fonte: VS/ PRODUTORES, (2022).

Nota: *Por tonelada do metal

Não havendo dados precisos sobre a geração de resíduos das operações de lavra, é importante relatar que em todas as minas o capeamento é guardado e devolvido às cavas de mineração, com a correspondente reconstituição topográfica. Igualmente, os rejeitos dos beneficiamentos, da ordem de 20% da produção, são direcionados na forma de polpa para outras cavas, de onde a água é reciclada e os resíduos sólidos são retidos.

3.1.2.6. Geração de Resíduos Sólidos, da Cadeia Produtiva do Alumínio

A geração de resíduos sólidos na cadeia produtiva do alumínio no Brasil, bem como uma pré-qualificação e potencial de aproveitamento dos resíduos gerados em outras cadeias produtivas, juntamente com grau de reciclagem e panorama de utilização de sucatas e de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7. A geração de resíduos sólidos na cadeia produtiva do alumínio no Brasil.

Geração Média na Operação	Geração de Resíduos (kg/t _{produto})	Natureza dos Resíduos	Grau de Reciclagem
Lavra e Beneficiamento	120	Orgânico e Inorgânico	Preenchimento de cavas
Alumina	700	Pasta a 60% sólidos	Parcial: Prod. cimento, geopolímeros
Alumínio	50	<i>Spent pot lining</i>	Não disponível
Média no Brasil*	2.050		

Fonte: VS/ PRODUTORES, (2022)

*Nota: *Por tonelada do metal*

A produção de alumínio gera dois resíduos sólidos principais: a chamada lama vermelha, formada pelos resíduos da bauxita após extração da alumina pelo processo BAYER e o desmonte das cubas eletrolíticas após cumprido o correspondente ciclo de vida operacional; este é comumente denominado SPL – SPENT POT LINING. A lama vermelha é hoje filtrada e descartada em áreas estanques e revestidas de forma a proteger o lençol freático e os cursos d'água vizinhos. É um produto potencialmente reciclável embora a única experiência realmente em uso seja a da CBA, na produção de cimento. Quanto ao SPL também tem potenciais de uso estudados e, possivelmente, em uso, mas em geral é mantido em áreas estanques e cobertas. Notar que a média no Brasil é a soma dos resíduos referentes a 5 t de bauxita, 2 t de alumina e uma t de alumínio.

3.1.2.7. Produção Histórica do Alumínio

A produção de alumínio no Brasil, de 1970 até 2020 é apresentada na Tabela 8, por estado da federação, e nos gráficos das Figura 4a e 4b, com os totais consolidados para o país.

Tabela 8. Produção brasileira, por estado, do alumínio, desde 1970 até o ano de 2020.

Estado	Produção* (kt)														
	1970	1975	1980	1985	1990	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
MG	33	85	177	197	192	135	132	99	36	0	0	0	0	0	0
PA	0	0	0	9	194	458	447	452	441	435	446	447	308	327	379
MA	0	0	0	116	280	438	402	340	167	35	0	0	0	0	0
SP	23	36	83	136	175	409	455	414	319	302	343	355	352	324	306
RJ	0	0	0	91	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TO-TAL	56	121	260	549	931	1.440	1.436	1.304	962	772	790	802	659	650	685

Fontes: ABAL, (2021) e VS, (2022).

*A produção de alumínio na Bahia, pela empresa Novelis, alcançando valores da ordem de 59kt/a, perdurou de 1991 a 2010.

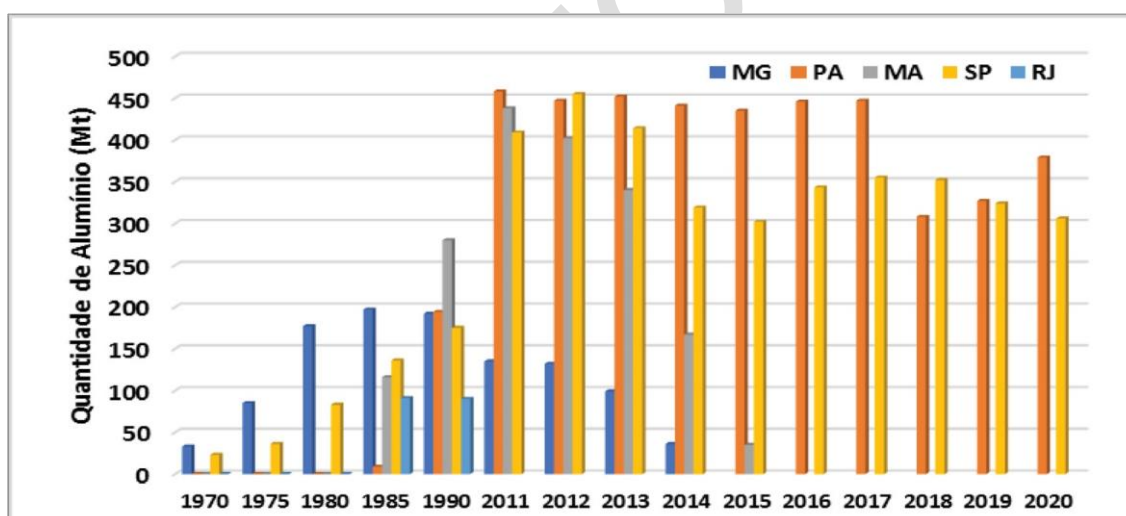
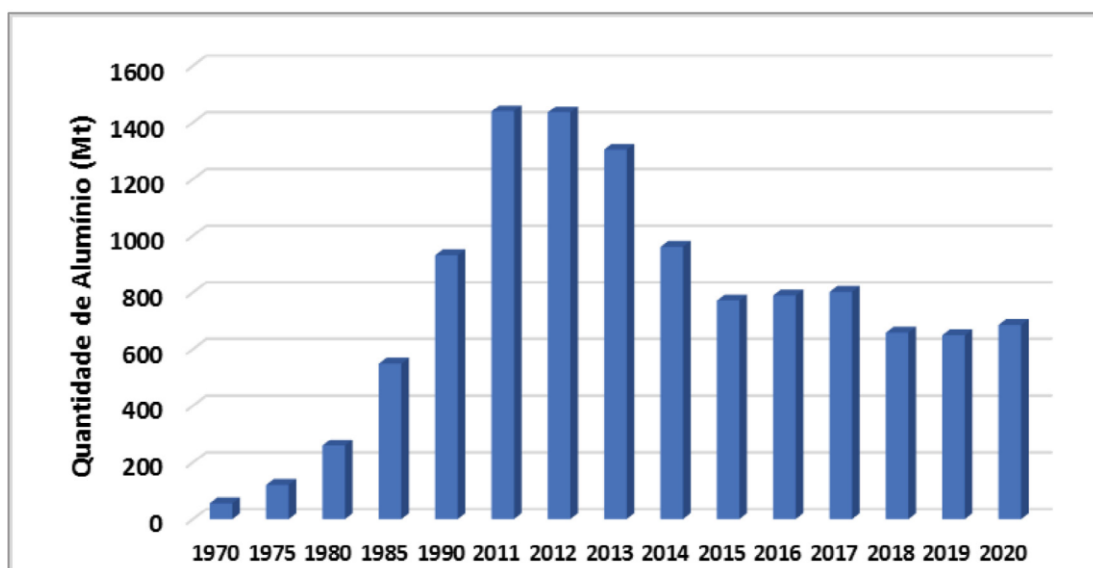


Figura 4a. Produção brasileira por estado, por ano, do alumínio, desde 1970 até o ano de 2020.

Fontes: ABAL, (2021) e VS, (2022).

Figura 4b. Produção brasileira total, por ano, do alumínio, desde 1970 até o ano de 2020.



Fontes: ABAL, (2021) e VS, (2022).

Os baixos preços do alumínio no mercado internacional e os altos custos da energia no Brasil causaram o fechamento das fábricas de Minas Gerais, da Bahia e do Rio de Janeiro e também a paralisação da produção de metal no Maranhão. Desta forma a produção brasileira que chegou a 1,6 milhão t/a no período 2006 a 2010, caiu para menos da metade nos anos seguintes. Hoje só temos dois produtores do metal: a CBA, que é voltada para o mercado interno e está localizada no centro consumidor do país, e a ALBRAS, no Pará, que visa principalmente a exportação.

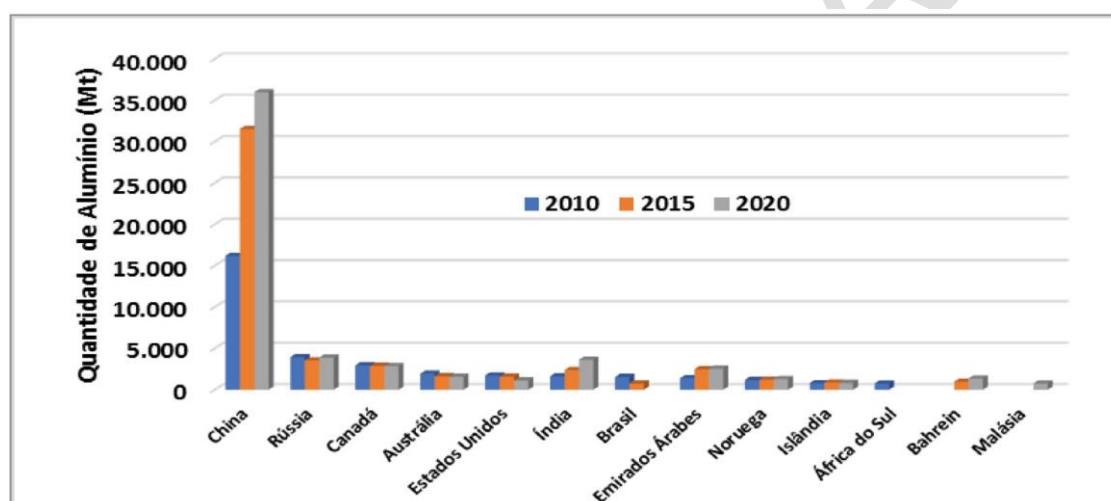
Em 2020 o Brasil ficou na 15ª posição no ranking mundial de produtores de alumínio (ABAL, 2021). A Tabela 9 e as Figura 5a e 5b apresentam sua evolução no ranking mundial, juntamente com os 10 países com maiores produções no mundo.

Tabela 9. Ranking dos principais produtores mundiais de alumínio.

Colocação País 2010	Produção (Mt)	Colocação País 2015	Produção (Mt)	Colocação País 2020	Produção (Mt)
CHINA	16.195	CHINA	31.518	CHINA	35.975
RUSSIA	3.947	RUSSIA	3.554	RUSSIA	3.896
CANADA	2.963	CANADA	2.880	INDIA	3.627
AUSTRALIA	1.933...	EMIR. ARAB	2.484...	CANADA	2.854
USA	1.727	INDIA	2.373	EMIR ARAB	2.573
INDIA	1.614	AUSTRALIA	1.649	AUSTRALIA	1.570
BRASIL	1.538	USA	1.587	BAHREIN	1.365
EMIR ARAB	1.400	NORUEGA	1.225	NORUEGA	1.297
NORUEGA	1.202	BAHREIN	961	USA	1.126
ISLANDIA	806	ISLANDIA	878	ISLANDIA	845
AF. DO SUL	760	BRASIL	772	MALASIA	760

Fonte: ABAL, (2021).

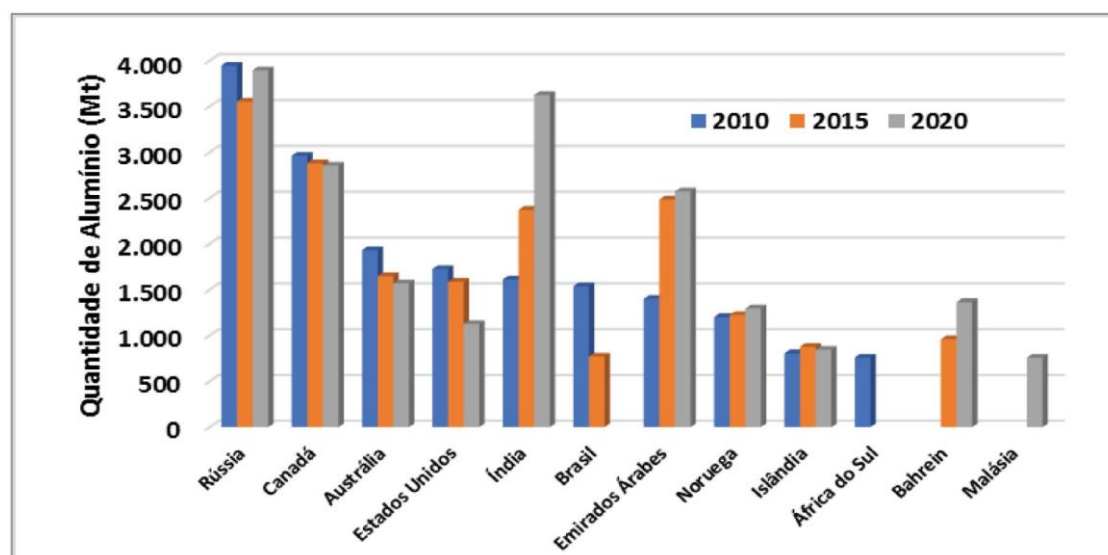
Figura 5a. Ranking dos 10 principais produtores mundiais de alumínio. *



Fonte: ABAL, (2021).

Nota: *Em 2020 o Brasil não figurou entre os 10 maiores produtores, ocupando a 15ª posição.

Figura 5b. Ranking dos 10 principais produtores mundiais de alumínio, exceto a China.



Fonte: ABAL, (2021).

Nota: *Em 2020 o Brasil não figurou entre os 10 maiores produtores, ocupando a 15ª posição.

A produção da China no início do século era da ordem de 10% da produção mundial e em 2010 já alcançava 39%, sendo hoje da ordem de 58%. Com exceção da Índia e do Oriente Médio, que tiveram bom crescimento, o resto do mundo teve redução ou, no máximo, manteve sua capacidade de produção, de 2010 em diante. É preciso notar que todo o crescimento chinês e indiano tem sido calcado na energia do carvão, em franco desacordo com os novos conceitos de sustentabilidade / ESG – Environment, Sustainability, Governance.

3.1.2.8. Consumo de Alumínio

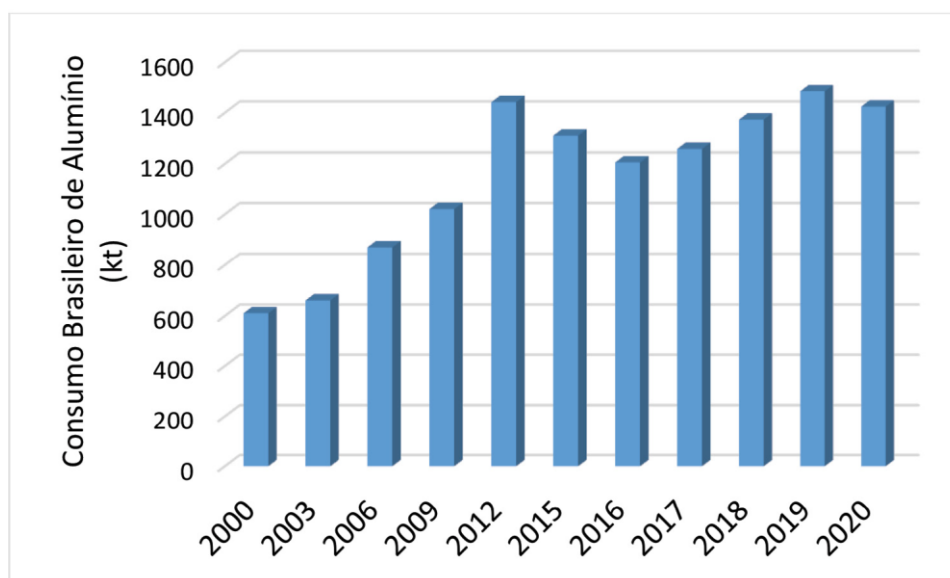
O consumo de alumínio no Brasil entre 2000 e 2020, é apresentado na Tabela 10 e no gráfico da Figura 6.

Tabela 10. Consumo brasileiro de alumínio de 2000 até 2020

Brasil	Consumo (kt)										
	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2016	2017	2018	2019	2020
TOTAL	610	660	870	1020	1.441	1.310	1.205	1.258	1.373	1.486	1.424

Fonte: ABAL, (2021).

Figura 6. Consumo brasileiro (kt), por ano, do alumínio, desde 2000 até o ano de 2020.



Fonte: ABAL, (2021).

Entre 2012 e 2016 o consumo brasileiro de alumínio apresentou queda considerável, e tem mostrado razoável recuperação a partir de 2017, apesar dos efeitos da pandemia covid-19.

Em 2020 seu consumo colocou o Brasil na 8ª posição no ranking mundial de consumidores de alumínio e a Tabela 11 apresenta sua evolução no ranking mundial, juntamente com outros 11 países maiores consumidores no mundo.

Tabela 11. Ranking dos principais consumidores mundiais de alumínio.

Colocação País 2015	Consumo (Mt)	Colocação País 2015	Consumo (Mt)	Colocação País 2020	Consumo (Mt)
1º CHINA	18.913,5	1º CHINA	32.241,3	1º CHINA	39.000,0
2º USA	7.327,7	2º USA	9.437,2	2º USA	10.360,8
3º JAPÃO	3.683,1	3º JAPÃO	3.807,1	3º JAPÃO	3.987,3
4º ALEMANHA	3.208,6	4º ALEMANHA.	3.194,0	4º INDIA	3.576,2
5º INDIA	2080,3	5º INDIA	3.115,5	5º ALEMANHA	2.779,1
6º C. DO SUL	1.533,0	6º MEXICO	2.717,9	6º MEXICO	2.404,7
7º MEXICO	1432,1	7º C. DO SUL	1.911,4	7º C. DO SUL	1.896,6
8º ITALIA	1.396,4	8º ITALIA	1.385,0	8º BRASIL	1.424,0
9º BRASIL	1.341,9	9º R. UNIDO	1.319,8	9º ITALIA	1.369,4
10º FRANÇA	1.167,0	10º BRASIL	1.309,8	10º R. UNIDO	1.241,0
11º R. UNIDO	1.070,1	11º FRANÇA	1.080,6	11º FRANÇA	1.052,0
12º ESPANHA	813,2	12º TURQUIA	999,2	12º TURQUIA	1.039,5

Fonte: ABAL, (2021).

Observe-se que, embora o Brasil se encontre entre os maiores consumidores de alumínio do mundo, o seu consumo per capita é baixo – cerca de 7 kg/ano – quando comparado aos países desenvolvidos. A média global de consumo per capita de alumínio é de 22,4 quilos, bem maior do que a brasileira, ou seja, há espaço para crescimento. O setor de maior consumo no Brasil é o de embalagens, que se encontra acima da média mundial. Entretanto, nos setores de construção civil e transporte, o consumo no Brasil está abaixo da média mundial.

3.1.2.9. Importações de Alumínio

O volume de importações colocou o Brasil na 11ª posição no ranking mundial de importadores de alumínio em 2020 e a Tabela 12 apresenta sua evolução no ranking mundial, juntamente com os outros 10 países com maiores importações no mundo.

Tabela 12. Ranking dos principais importadores mundiais de alumínio.

Colocação País 2010	Importações (kt)	Colocação País 2015	Importações (kt)	Colocação País 2020	Importações (kt)
1º USA	5.601	1º USA	7.850	1º USA	9.463
2º JAPÃO	3.683	2º JAPÃO	3.807	2º JAPÃO	3.987
3º ALEMA- NHA	2.806	3º MÉXICO	2.718	3º CHINA	3.000
4º CHINA	2.718	4º ALEMA- NHA	2.653	4º MÉXICO	2.405
5º COR. SUL	1.533	5º COR.SUL	1.911	5º ALEMA- NHA	2.250
6º MÉXICO	1.432	6º ITÁLIA	1.385	6º COR. SUL	1.897
7º ITÁLIA	1.266	7º R. UNIDO	1.273	7º ITÁLIA	1.369
8º R. UNIDO	860	8º TURQUIA	953	8º R. UNIDO	1.200
9º FRANÇA	811	9º CHINA	723	9º TURQUIA	959
10º TURQUIA	530	10º FRANÇA	666	10º FRANÇA	673
11º INDIA	466	11º BRASIL	537	11º BRASIL	215

Fonte: VS, (2022) e ABAL, (2021).

O Brasil, que já foi exportador, aparece hoje, com um volume significativo, entre os grandes importadores de alumínio – USA, Japão, China, México, Alemanha, e demais países europeus. Os volumes importados representam as respectivas diferenças entre o consumo e a produção nacional.

3.1.2.10. Exportações de Alumínio

O seu volume de exportações colocou o Brasil na 8ª posição no ranking mundial de exportadores de alumínio em 2020. A tabela 13 apresenta sua evolução no ranking mundial, juntamente com os 8 países com maiores exportações no mundo. Nessa tabela a classificação e os volumes exportados até 2015, representam as diferenças entre produção e consumo de cada país, enquanto que em 2020 se referem aos registros comerciais de cada país.

Tabela 13. Ranking dos principais exportadores mundiais de alumínio, em 2020.

Colocação País 2010	Exportações (kt)	Colocação País 2015	Exportações (kt)	Colocação País 2020	Exportações (kt)
1º RUSSIA	3.070	RUSSIA	2.870	CANADA	2.866
2º CANADA	2.152	E. ARABES	2.400	INDIA	2.139
3º AUSTRA- LIA	1.411	CANADA	1.929	HOLANDA	1.896
4º EM. ARA- BES	1.400	AUSTRALIA	1.273	RUSSIA	1.849
5º ISLÂNDIA	880	NORUEGA	1.101	AUSTRALIA	1.406
6º NORUE- GA	774	ISLÂNDIA	860	NORUEGA	1.280
7º BAHREIN	661	BAHREIN	451	BAHREIN	1.152
8º AFR. SUL	610	AFR. SUL	417	BRASIL	166

Fonte: ABAL Anuário, (2020)

A Tabela 14 apresenta o ranking de exportadores de produtos na cadeia de produção do alumínio em 2020.

Tabela 14. Ranking dos principais exportadores mundiais de produtos na cadeia de produção do alumínio, em 2020.

EXPORTAÇÕES MUNDIAIS DE BAUXITA, ALUMINA E ALUMÍNIO - 2020						
	BAUXITA		ALUMINA		ALUMÍNIO/LIGAS	
RANKING	PAÍS	(kt/a)	PAÍS	(kt/a)	PAÍS	(kt/a)
1	GUINÉ	72.719,5	AUSTRÁLIA	17.755,2	CANADA	2.865,8
2	AUSTRÁLIA	37.870,1	BRASIL	7.025,3	ÍNDIA	2.139,5
3	INDONÉSIA	19.422,2	JAMAIICA	2.222,4	HOLANDA	1.896,2
4	BRASIL	4.525,2	IRLÂNDIA	1.935,2	RUSSIA	1.849,2
5	JAMAIICA	3.435,7	UKRÂNIA	1.713,2	AUSTRÁLIA	1.406,2
6	SERRA LEOA	1.319,2	CHINA	1.429,1	NORUEGA	1.279,9
7	TURQUIA	1.286,3	ÍNDIA	1.419,8	ISLÂNDIA	728,1
8	GUIANA	663,9	ESPANHA	1.245,3	BRASIL	166,5
9	OUTROS	4.335,4	OUTROS	8.033,6	OUTROS	7.700,0
	TOTAL	145.577,5	TOTAL	42.779,1	TOTAL	20.031,4

Fonte: ABAL (2021)

O grande volume de exportações de alumina – 7 a 8 milhões t/a, dá ao Brasil a 2ª posição no ranking de exportadores do produto. Também é importante notar a 4ª posição nas exportações de bauxita e a 8ª posição entre os exportadores de alumínio. Finalmente é preciso destacar o alto índice de reciclagem do alumínio alcançado no Brasil: mais de 50% do consumo é obtido da reciclagem. Isto contribui muito para minimizar as importações do metal e reduz sensivelmente o consumo de energia e as emissões de CO₂.

3.1.2.11. Porte das Empresas e Geração de Empregos do Alumínio

A tabela 15, mostra um panorama das empresas produtoras de alumínio no Brasil em 2020, conforme seu porte, em termos de produção (Médio Porte <1Mta > 100kta; Pequeno Porte <100kta e > 10kta; e Microempresas < 10kta; ANM, 2019), e os respectivos estados da federação onde estão suas operações e os números de empregos diretos e indiretos gerados.

Tradicionalmente, o alumínio é produzido por grandes empresas, em todo o mundo. E por se tratar de um produto barato, essas empresas buscam ter algum controle sobre o suprimento de alumina e/ou de bauxita. Daí a formação de consórcios – MRN e ALUMAR, por exemplo. Hoje no Brasil, só há produção

do alumínio primário no Pará e em São Paulo. Entretanto, quando se fala na indústria de transformação do alumínio, há uma grande pulverização, em todo o território nacional, com muitas empresas de médio e pequeno porte que se localizam junto aos centros consumidores e que transformam o alumínio primário e/ou sucatas de alumínio, em produtos acabados.

A cadeia de produção do alumínio está hoje dividida entre o Norte – Pará e Maranhão, e o Sudeste – São Paulo, mas tende a crescer mais no Norte, em face da disponibilidade de bauxita e do potencial de geração de energia limpa. Entretanto a indústria de transformação – chapas, folhas, extrudados, etc., tende a se localizar junto dos centros consumidores e ter unidades dispersas junto às maiores cidades do país.

Tabela 15. Panorama das empresas da cadeia de alumínio no Brasil, por porte de produção, no ano de 2020.

Empresas de Grande Porte de Produção			
Empresa	Produção (kta)	Produtos	Estado
CBA	306,2	ALUMÍNIO	SP
HYDRO	378,9	ALUMÍNIO	PA
CBA	651,6	ALUMINA	SP
HYDRO	5.466,5	ALUMINA E HIDRATO	PA
ALCOA	2.192,9	ALUMINA	MA, MG
SOUTH 32	1.387,0	ALUMINA	MA
RIO TINTO	385,3	ALUMINA	MA
CBA	1.749,1	BAUXITA	MG, GO
MRN	12.289,8	BAUXITA	PA
HYDRO	8.640,2	BAUXITA	PA
ALCOA	7.421,6	BAUXITA	PA
OUTROS	2.797,1	HIDRATO	MG
Total de Empregos em Empresas de Grade Porte de Produção			
Diretos		26.852	
Indiretos		40.278	
Empresas de Grande Porte de Transformação			
Empresa	Produtos		Estado
CBA	CHAPAS, FOLHAS, EXTRUDADOS.		SP, PE
NOVELIS	CHAPAS E FOLHAS		SP
TRAMONTINA	CHAPAS E ARTEFATOS		RS
ALCAST DO BRASIL	CHAPAS E ARTEFATOS		PR
HYDRO EXTRUSION	EXTRUDADOS		SP
GRUPO RECICLABR	RECICLAGEM		SP
METALEX LTDA	RECICLAGEM		SP
BISPHARMA PACK	EMBALAGENS		SP, GO
BRINOX METALÚRGICA	ARTEFATOS		RS
NIGRO ALUMÍNIO	ARTEFATOS		SP
GRUPO IBRAP	EXTRUDADOS		SC

Empresas de Médio ou Pequeno Porte de Transformação		
Empresa	Produtos	Estado
ASA ALUMÍNIO LTDA	EXTRUDADOS	SP
ALUENGE IND. E COM. ALUMÍNIO	RECICLAGEM	RJ
PROLIND ALUMINIO LTDA	EXTRUDADOS	SP
IMPACTA IND, E COM. S A	EMBALAGENS	SP
LABORTUB IND. COM.	EMBALAGENS	SP
MELO PLAN. E PART.	RECICLAGEM	RJ
IMPACTA IND COM. S A	LAMINAÇÃO	SP
LABORTUB IND COM LTDA	LAMINAÇÃO	SP
TUIUTI METAIS NOBRES	FUNDIÇÃO LIGAS	SC
UNIÃO ALUMINIO EIRELI	EXTRUSÃO	GO
GSM REFUSÃO LTDA	RECICLAGEM	PR
ALUMÍNIO ALVORADA	RECICLAGEM	MG
RIMA INDUSTRIAL LTDA	MAGNÉSIO ALUMÍNIO ...	MG
ALUMINIO CEARÁ	LAMINAÇÃO	CE
Total de Empregos em Empresas de Transformação		
Diretos		86.759
Indiretos		269.873

Fonte: ABAL / VS, (2021/2022).

A indústria do alumínio é grande geradora de empregos com cerca de 0,08 H/t. ano de alumínio produzido e/ou processado na cadeia completa de produção, reciclagem e transformação. Ao se levar em conta os empregos indiretos, esse fator alcança 0,3 H/t.ano. Por outro lado, considerando-se o potencial de crescimento do consumo e caso se mantenha a perspectiva atual de crescimento da economia, é possível que o volume de empregos diretos mais indiretos atual de 423.762, venha a ser mais que dobrado nos próximos 10 a 20 anos.

Como apresentado na tabela 15, a indústria de transformação do alumínio gera 3 a 4 vezes mais empregos do que a de produção do metal primário. E como essa indústria de transformação é constituída por dezenas de plantas espalhadas por cerca de 17 estados, há também uma boa dispersão geográfica da geração de empregos. O estado de São Paulo tem o maior contingente, mas mesmo ali há considerável dispersão, pelas cidades do interior do estado.

3.1.2.12. Porte dos Projetos em Andamento e/ou Previstos e Geração de Empregos do alumínio

A Tabela 16 apresenta um panorama dos projetos em andamento e/ou previstos para a produção de alumínio no Brasil, conforme seu porte, em termos de produção, e listando ainda os estados da federação onde estão instaladas suas operações e os números de empregos diretos e indiretos previstos.

Tabela 16. Panorama dos projetos em andamento e/ou previstos para a produção na cadeia de alumínio no Brasil, por porte de produção da empresa, no ano de 2022 ou em futuro próximo.

Empresas de Grande Porte						
	Empresa	Produção	Produtos	Estado	Empregos diretos*	Empregos indiretos*
	ALCOA	225	ALUMÍNIO	MA	750	1.200
	SOUTH 32	175	ALUMINIO	MA		
	Total Alumínio	447			750	1.200
	CBA	3.000	ALUMINA	PA	1.800	2.500
	Total Alumina	3.000			1.800	2.500
Total				Brasil	2.550	3.700

Fonte: VS, (2022).

Nota: *Números estimados pelas operações atuais.

O projeto da ALCOA e da SOUTH 32 é conjunto, de retomada da produção de metal na ALUMAR - MA, o que estará ocorrendo até o final de 2022. Serão mais 447.000 t/ano de alumínio primário o que levará a produção brasileira, em 2023, a superar a casa de 1 milhão t/ano. E é importante mencionar que o suprimento energético para este projeto será 100% de energia limpa e renovável.

Outro projeto importante e que pode prosperar no curto prazo é o de implantação pela CBA de outra planta produtora de alumina: a ALUMINA RONDON, em Rondonópolis - PA. Ainda sem data definida.

Quanto à cadeia de transformação do metal, mesmo que haja alguma concentração a nível empresarial, cada empresa tem sempre um projeto de ampliação, seja com novas unidades ou com expansão das existentes. E como buscam se localizar junto aos centros consumidores, é provável que seu crescimento se dê principalmente nos estados das regiões sudeste, sul e

nordeste. Mas efetivamente essa indústria está presente em 17 dos 26 estados brasileiros, como já mencionado.

Embora sem dispor de dados detalhados por empresa ou por estado, é certo que a indústria de transformação que é o grande gerador de empregos na área do alumínio, com um índice médio da ordem de 0,06 empregos diretos / t.a de alumínio processado, e crescerá conforme o aumento da demanda interna.

Por outro lado, no mercado internacional, a expectativa de crescimento do consumo de alumínio nesta década - 2020 a 2030 - é da ordem de 33%, segundo relatório CRU / IAI, cedido pela ABAL. Estima-se então que haja bom crescimento da demanda interna, com significativa geração de empregos.

Além da boa perspectiva de crescimento apontada acima para a demanda do alumínio a nível mundial, a economia brasileira está em recuperação, podendo-se esperar que pelo menos seja acompanhado esse ritmo. Entretanto, grande parte desse crescimento deverá ocorrer na expansão de unidades de transformação já existentes, resultando num ritmo abrandado de geração de empregos. Mesmo assim a estimativa é de que o número de empregos cresça entre 1,8 e 2,0% ao ano, até 2030.

3.1.2.13. Projeções até 2050 do alumínio, em 3 cenários hipotéticos

Os dados de estimativas das projeções para o Brasil, até 2050, considerando um cenário conservador, são apresentados na Tabela 17. Tal cenário é baseado nos dados mundiais, que consideram apenas as estimativas, conforme estimativas de agências internacionais e projeção da taxa de crescimento atuais da economia. Considerando que a economia brasileira está em recuperação, após 3 anos de recessão – 2015 a 2018 – pode-se assumir que, no mínimo, a demanda brasileira seguirá o crescimento da demanda externa. Tais critérios foram adotados para o cenário conservador.

Tabela 17. Estimativas das projeções do alumínio, até 2050, considerando um cenário conservador.

	2020	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Produção Brasileira de Alumínio (kt/a)	685	800	1.200	1.200	1200	1300	1300	1400	1.600
Produção Brasileira de Alumina (Mt/a)	10,2	10,2	11,0	12,0	13,5	13,5	15,0	15,0	15,0
Investimentos no Brasil (US\$M)	0	349	843	1.037	2.426	745	2.236	779	1.564
Produção Mundial (Mt/a)	64,2	66,0	70,0	74,0	77,0	80,0	83,0	87,0	90,0
Consumo Interno (kt/a)	1.424	1.518	1.725	1.961	2.156	2.370	2.606	2.865	3.150
Reciclagem (kt/a)	710	757	860	977	1.074	1.181	1.298	1.427	1.569
Importações (kt/a)	215	0	0	0	0	0	0	38	0
Consumo Externo (Mt/a)	86,2	91,9	104,4	118,6	130,4	143,4	157,6	173,3	190,5
Exportações de Alumínio (kt/a)	166	39	335	216	118	111	8	0	19
Exportações de alumina (Mt/a)	8,7	8,4	8,4	9,4	10,9	10,6	12,1	11,9	11,5
Empregos diretos (mil)	113,6	119,3	126,8	135,2	142,5	150,5	161,2	168,7	179,6
Empregos indiretos (mil)	310,1	325,7	346,1	369,2	389,0	410,7	440,0	460,4	490,3

Fontes: CRU, (2022); ABAL, (2020) e VS, (2022).

Os dados de estimativas das projeções para o Brasil, até 2050, considerando um cenário intermediário, são apresentados na Tabela 18. Os dados mundiais consideram apenas um cenário, conforme estimativas de agências internacionais e projeção da taxa de crescimento da economia. A evolução das produções e consumos brasileiros e mundiais, em um cenário intermediário, consideram diminuição do custo da energia tornando a produção do alumínio primário mais favorável economicamente, e com aumento do consumo interno e consequente reciclagem, sem alteração relevante na estimativa da produção mundial. Considera-se aqui ser mais provável que se tenha crescimento da ordem de 4% ao ano até 2030 e de 3% ao ano, de 2031 a 2050, sendo esses os critérios adotados para caracterizar o cenário intermediário.

Tabela 18. Estimativas das projeções do alumínio, até 2050, considerando um cenário intermediário.

	2020	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Produção Brasileira de Alumínio (kt/a)	685	800	1.200	1.200	1.300	1.300	1.500	1.500	1.700
Produção Brasileira de Alumina (Mt/a)	10,2	10,2	11,0	12,0	13,5	13,5	15,0	15,0	15,0
Investimentos no Brasil (US\$M)	224	419	943	1.114	2.728	524	3.240	562	1.572
Produção Mundial (Mt/a)	64,2	66,0	70,0	74,0	77,0	80,0	83,0	87,0	90,0
Consumo Interno (kt/a)	1.424	1.540	1.802	2.108	2.372	2.670	3.005	3.382	3.807
Reciclagem (kt/a)	710	768	898	1.051	1.183	1.331	1.498	1.686	1.898
Importações (kt/a)	215	0	0	0	0	0	7	196	209
Consumo Externo (Mt/a)	86,2	91,9	104,4	118,6	130,4	143,4	157,6	173,3	190,5
Exportações de Alumínio (kt/a)	166	28	296	143	111	39	0	0	0
Exportações de alumina (Mt/a)	8,7	8,4	8,4	9,4	10,6	10,6	11,7	11,7	11,3
Empregos diretos (mil)	113,6	121,1	128,5	139,3	148,0	158,5	169,9	180,3	191,4
Empregos indiretos (mil)	310,1	330,5	350,8	380,1	404,1	432,6	463,8	492,3	522,4

Fonte: VS, (2022)

Os dados de estimativas das projeções para o Brasil, até 2050, considerando um cenário otimista, são apresentados na Tabela 19. Os dados mundiais consideram apenas um cenário, conforme estimativas de agências internacionais e projeção da taxa de crescimento da economia. A evolução das produções e consumos brasileiros e mundiais, em um cenário de pleno consumo e investimento (otimista), consideram diminuição do custo da energia que torne a produção do alumínio primário mais favorável economicamente, e com aumento do consumo interno e consequente reciclagem, sem alteração relevante na estimativa da produção mundial. Nesse cenário otimista, quanto à recuperação da economia, é possível que a demanda do alumínio cresça da ordem de 5% ao ano até 2030 e 4% ao ano daí em diante, até 2050. Neste caso, estima-se que em 2050, o consumo per capita no Brasil será da ordem de 20 kg/habitante.ano, como é atualmente nos países desenvolvidos.

Tabela 19. Estimativas das projeções do alumínio, até 2050, considerando um cenário otimista.

	2020	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Produção Brasileira de Alumínio (kt/a)	685	800	1.200	1.200	1.400	1.400	1.600	1.800	2.000
Produção Brasileira de Alumina (Mt/a)	10,2	10,2	11,0	12,0	13,5	13,5	15,0	15,0	15,0
Investimentos no Brasil (US\$M)	224	419	920	1270	3588	688	3.408	1.811	1.904
Produção Mundial (Mt/a)	64,2	66,0	70,0	74,0	77,0	80,0	83,0	87,0	90,0
Consumo Interno (kt/a)	1424	1.570	1.908	2.320	2.714	3.175	3.714	4.345	5.083
Reciclagem (kt/a)	710	783	952	1.157	1354	1.583	1.852	2.167	2.535
Importações (kt/a)	215	0	0	0	0	192	262	376	548
Consumo Externo (Mt/a)	86,2	91,9	104,4	118,6	130,4	143,4	157,6	173,3	190,5
Exportações de Alumínio (kt/a)	166	13	244	37	40	0	0	0	0
Exportações de alumina (Mt/a)	8,7	8,4	8,4	9,4	10,4	10,4	11,5	11,0	10,6
Empregos diretos (mil)	113,6	121,1	132,0	149,9	165,9	183,3	202,6	224,1	249,0
Empregos indiretos (mil)	310,1	330,5	360,3	409,2	452,9	500,4	553,0	611,6	679,7

Fonte: VS, (2022).

Não há dados detalhados sobre o crescimento da demanda de alumínio, no Brasil, mas um relatório CRU / IAI atual prevê as seguintes expansões de demanda, para esta década (2020 – 2030):

- Equipamentos de transportes: 33%
- transmissão de energia: 47%
- construção civil: 21,7%
- embalagens: 45,8%

Isto equivale a um crescimento médio da ordem de 3,25 % ao ano, sendo esta alta demanda atribuída primordialmente à transição energética, visto que o alumínio é essencial na transmissão de energia e na fabricação de veículos elétricos (EV), assim como nos sistemas de geração fotovoltaica (PV) e eólica. De 2031 em diante a previsão de crescimento cai para os tradicionais 2,4% ao ano.

Em todos os cenários assumiu-se que a reciclagem proverá cerca de 50% do consumo interno de alumínio. Os outros 50% seriam cobertos pela expansão da produção do alumínio primário.

3.1.2.14. Usos e Aplicações do Alumínio

A tabela 20 apresenta as principais aplicações dos produtos da cadeia do alumínio e seus percentuais relativos de uso.

Tabela 20. Aplicações e percentuais de uso dos produtos da cadeia do alumínio.

Produto	Aplicação	Uso (%)
CHAPAS E TARUGOS	TRANSPORTE: Carros, Caminhões, Aviões, Vagões, Barcos, etc	13,2
FOLHAS	EMBALAGENS: produtos farmacêuticos, cosméticos e higiene, de limpeza, bebidas e produtos alimentícios	40,8
CHAPAS E TARUGOS	CONSTRUÇÃO CIVIL: Esquadrias, Pisos Estruturas, Revestimentos, etc	9,6
CABOS	TRANSMISSÃO DE ENERGIA	16,1
CHAPAS, TARUGOS, FUNDIDOS E OUTROS	EQUIPAMENTOS E BENS DE CONSUMO: Painéis, Geladeiras, Cadeiras, Bicicletas, etc	20,3
ALUMINA (Óxido de Alumínio)	CERÂMICAS E REFRATÁRIOS	
HIDRATO (Hidróxido de Alumínio)	IND. QUÍMICA: Carpetes e cortinas corta-fogo, Tratamento d'água, etc	

Fonte: ABAL, (2020).

O consumo per capita brasileiro, ao nível de 7 kg/habitante.ano é muito baixo, se comparado ao dos países desenvolvidos, cujo consumo é acima de 20 kg/habitante.ano. A média global de consumo per capita de alumínio é de 22,4 quilos. Por outro lado, o quadro acima mostra que o consumo no Brasil, na construção civil e nos transportes, está muito abaixo das médias mundiais: respectivamente 23% e 25%, do consumo mundial. Vê-se, portanto, que há grande margem para crescimento nessas áreas. Também é importante notar que o consumo nas áreas de embalagens e de cabos de transmissão de energia são adequados. Se ocorrer um crescimento apreciável nas áreas de construção e transportes, pode ser alcançado um consumo de 15 ou 20 kg/habitante.ano, mesmo antes de 2050.

3.1.2.15. Padrão Tecnológico da Cadeia do Alumínio

As principais tecnologias utilizadas na cadeia do alumínio brasileira são apresentadas na Tabela 21, juntamente com as tecnologias benchmark

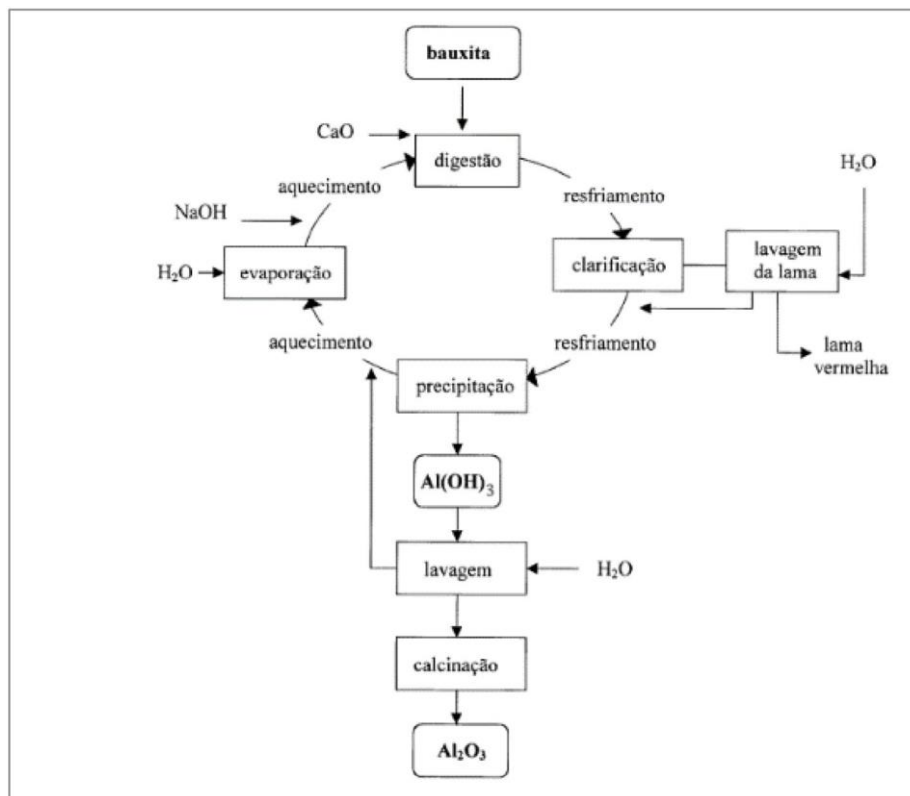
Caderno 3 Item 1 – Cadeias Produtivas dos Minerais para a Transição Energética

internacionais. A Figura 7 apresenta o fluxograma simplificado da rota tecnológica predominante no Brasil, para a produção de alumina.

Tabela 21. Principais tecnologias utilizadas no Brasil na cadeia do Alumínio, juntamente com as tecnologias benchmark internacionais.

Produto	Tecnologia Produtiva no Brasil	Tecnologia Ambiental no Brasil	Benchmark Tecnológico Produtivo	Benchmark Tecnológico Ambiental
Alumínio	HALL - HEROULT Otimizado; Anodo Pré-cozido Cons. Energia < 13,5 kWh/kg	Lavadores a Seco Emissão de HF < 1 kg/t	HALL - HEROULT Otimizado; Anodo Pré-cozido Cons. Energia < 13,5 kWh/kg	Lavadores a Seco Emissão de HF < 1 kg/t
Alumina	BAYER baixa temperatura otimizado; Precipitação contínua; Consumo de energia: <8 GJ Calcinador Estacionário	Lama filtrada pré-descarte; Controle emissões líquidas; Controle de emissões de particulados por Filtros Eletrostáticos	BAYER baixa temperatura otimizado; Precipitação contínua; Consumo de energia: <8 GJ Calcinador Estacionário	Lama filtrada pré-descarte; Controle emissões líquidas; Controle de emissões de particulados por Filtros Eletrostáticos
Bauxita	Mina estruturada com equipamentos modernos e beneficiamento junto da mina para minimizar transporte; Ferrovia ou Mineroduto para longas distâncias	Capeamento retorna à cava pós mineração; Rejeitos contidos nessas mesmas cavas; Reciclagem da água usada; Topografia e vegetação restauradas	Mina estruturada com equipamentos modernos e beneficiamento junto da mina para minimizar transporte; Ferrovia ou Mineroduto para longas distâncias	Capeamento retorna à cava pós mineração; Rejeitos contidos nessas mesmas cavas; Água reciclada; Topografia e vegetação restauradas

Figura 7. Fluxograma da produção de alumina pelo processo Bayer.

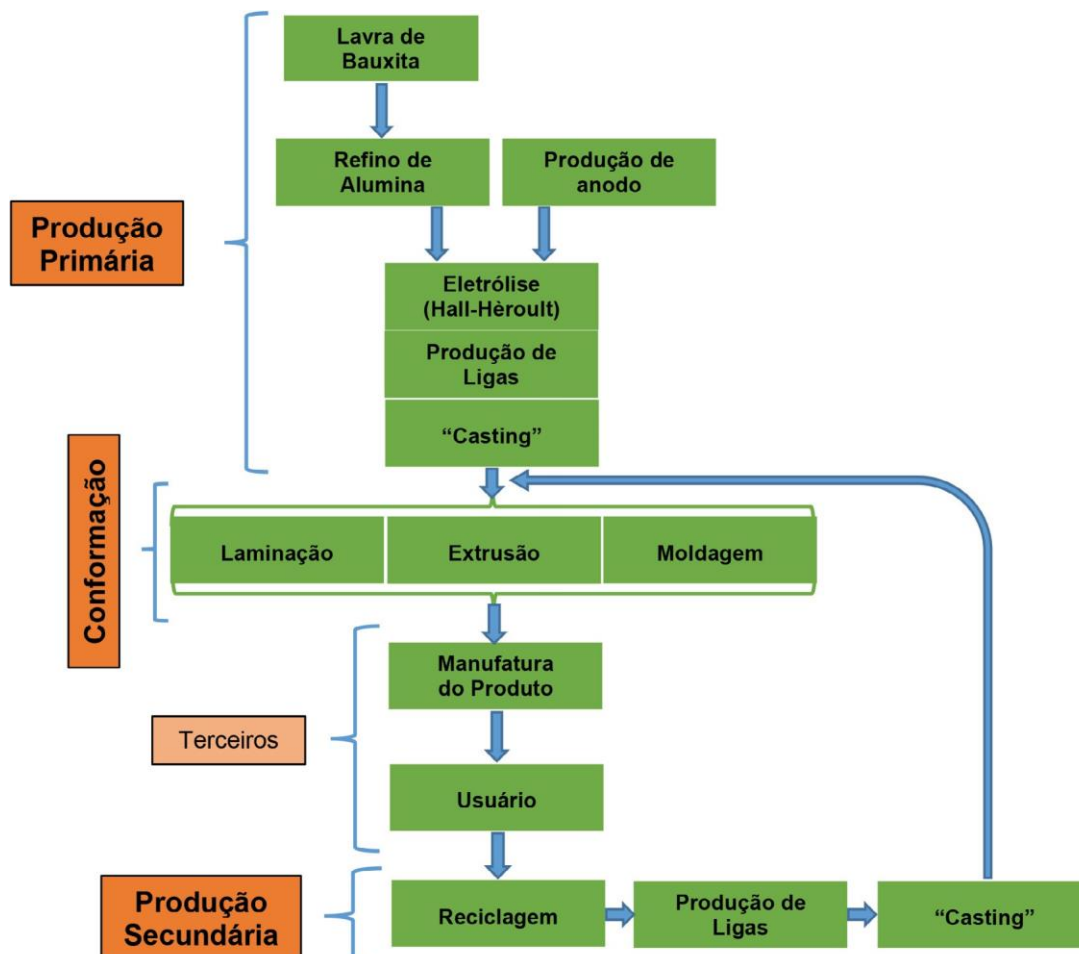


Fonte: Constantino, 2002.

Este esquema é bastante simplificado e se aplica também a bauxitas bohemíticas ou diaspóricas, ou seja, que contêm alta concentração de bohemita ou diásporo - óxidos mono-hidratados de alumínio – quanto aquelas que são 100% gibbsíticas (óxido tri-hidratado de alumínio). Nesse caso tem-se a variante Bayer de Baixa Temperatura, que é o caso da bauxita brasileira, e a etapa de digestão ocorre até 145° C. Para os outros casos tem-se a variante Bayer de Alta Temperatura – digestão acima de 200°C, com significativa desvantagem em relação à bauxita gibbsítica. Evidencia-se, por meio deste aspecto tecnológico, um fator que favorece a posição competitiva da bauxita brasileira, com repercussão na competitividade de toda a cadeia produtiva: Bauxita/Alumina/ Alumínio/ Reciclagem/ Downstream quando se leva em conta o consumo energético específico.

A Figura 8 apresenta fluxograma simplificado da rota tecnológica predominante no Brasil, para a produção de alumínio, considerando um “smelter” pelo processo Hall-Hèroult.

Figura 8. Fluxograma simplificado da produção de alumínio, com smelter pelo Processo Hall-Hèroult



Fonte: Haraldsson (adaptado), (2018)

A tecnologia de produção do alumínio e da alumina vem sendo aperfeiçoada desde que foram criados os processos de produção do alumínio – Processo HALL-HEROULT – em 1876 e da alumina – Processo BAYER – em 1878. Muita evolução foi introduzida nas várias etapas do circuito Bayer, assim como na digestão para processar bauxitas bohemíticas ou diaspóricas, na filtração de licor e dos resíduos, sempre buscando ganhar eficiência, qualidade ou menor impacto ambiental. As duas grandes fábricas brasileiras – ALUNORTE e ALUMAR – representam hoje o estado da arte no que diz respeito à produção de alumina, com bauxita gibbsítica. Da mesma forma houve evolução na produção do alumínio, seja na adoção do anodo contínuo, do anodo pré-cozido, do lavador de gases a seco, etc. As duas plantas brasileiras – ALBRAS e CBA – não representam o topo da tecnologia, visto que suas correntes de operação não chegam a 200 kA, mas são plantas de eficiência de classe mundial.

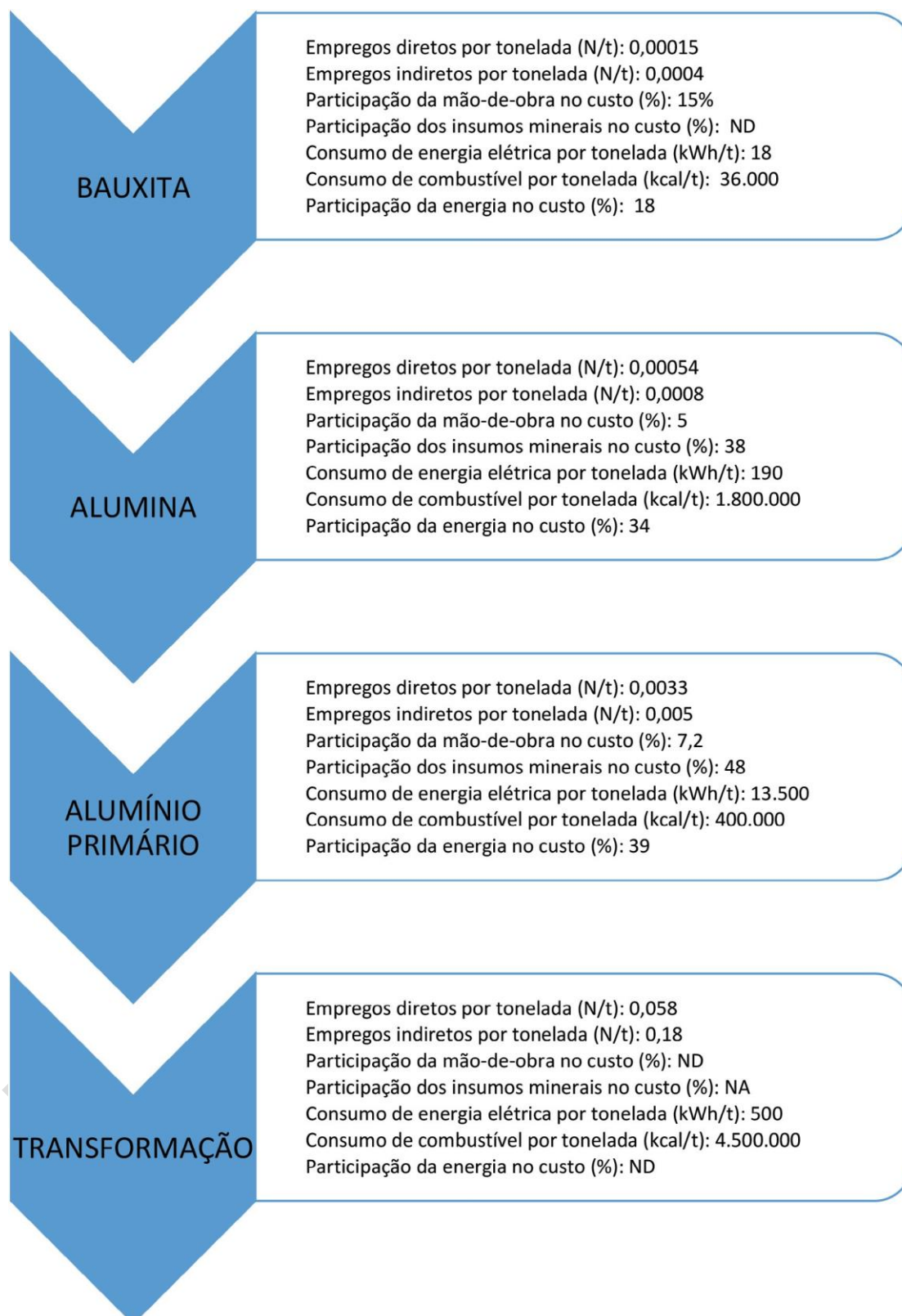
Um desenvolvimento muito promissor para os fornos de redução eletrolítica é o do anodo inerte, ainda em caráter experimental, que poderá ter grande relevância no esforço de produção do alumínio de baixo carbono. Este é um aspecto tecnológico de alta relevância para a competitividade da indústria do alumínio no Brasil. Aliado àquele já mencionado anteriormente, relacionado à possibilidade de digestão da bauxita gibbsítica em temperaturas inferiores a 140 °C estabelece-se um contexto de possibilidades tecnológicas muito favoráveis.

3.1.2.16. Análise Integrada da Cadeia Produtiva do Alumínio

A Figura 9 apresenta um fluxograma simplificado da cadeia do alumínio especificando, para cada etapa, estimativas médias de geração de empregos/t de capacidade instalada (diretos, incluindo terceirizados permanentes, assim como indiretos), estimativa de sua participação (%) no custo de produção, estimativa de participação (%) dos insumos minerais no custo de produção, energia elétrica (kWh/t), combustível (kcal/t) e total (tep /t) e estimativa de participação (%) no custo de produção.



Figura 9. Fluxograma simplificado da cadeia do alumínio.



Fonte: VS, 2022.

Lista de referências:

ABAL: Anuário Estatístico de 2020 em: <https://www.abalconteudos.abal.org.br/product-page/anuario-estatistico-abal-2020>

CBA: Relatórios anuais de 2020 e 2021 em: <https://cba.com.br/wp-content/uploads/2021/04/relatorio-anual-2020.pdf> e https://relatorioanual2021.cba.com.br/wpcontent/uploads/CBA_RA_2021_Reduz.pdf

Constantino, 2002: V. R. L. Constantino, K. Araki, D. O. Silva e W. de Oliveira, Quím. Nova, Vol. 25, No. 3, 490-498, 2002.

CRU: Opportunities for Aluminium on a post-Covid Economy – Relatório preparado por solicitação do IAI – International Aluminium Institute em: <https://aluminium.org.au/news/opportunities-for-aluminium-in-a-post-covid-economy/>

Haraldsson: J. Haraldsson, M.T. Johansson, Review of measures for improved energy efficiency in production-related processes in the aluminium industry _ From electrolysis to recycling, Renew. Sustain. Energy Rev. (2018), doi: 10.1016/j.rser.2018.05.043.

MRN: Informações fornecidas mediante solicitação;

VS: Victório Siqueira – Informações de arquivo próprio.

PLANO NACIONAL DE MINERAÇÃO 2050

PNM 2050

CADEIAS PRODUTIVAS 3: COBRE

Caderno 3: Cadeias Produtivas dos Minerais para a Transição Energética

CADEIAS PRODUTIVAS 3: COBRE.....	64
3.1. Caracterização das Cadeias Produtivas.....	65
3.1.3. Cadeia Produtiva de Cobre	65
3.1.3.1. Polos produtivos mínero-industriais no Brasil, da Cadeia Produtiva de Cobre	66
3.1.3.2. Parque Produtivo mínero-industrial de Cobre no Brasil.....	70
3.1.3.3. Consumo Energético e Emissão de CO ₂ , da Cadeia Produtiva de Cobre	73
3.1.3.4. Utilização de Água, da Cadeia Produtiva do Cobre	75
3.1.3.5. Geração de Resíduos, da Cadeia Produtiva do Cobre.	77
3.1.3.6. Geração de Resíduos Sólidos, da Cadeia Produtiva	79
3.1.3.7. Produção do Cobre	80
3.1.3.8. Consumo de Cobre	84
3.1.3.9. Importações de Cobre	86
3.1.3.10. Exportações de Cobre	88
3.1.3.11. Porte das Empresas e Geração de Empregos	91
3.1.3.12. Porte dos Projetos em Andamento e/ou Previstos e Geração de Empregos	92
3.1.3.13. Projeções até 2050, em 3 Cenários Hipotéticos	94
3.1.3.14. Usos e Aplicações do cobre	97
3.1.3.15. Padrão Tecnológico da Cadeia do Cobre	98
3.1.3.16. Análise Integrada da Cadeia Produtiva do cobre	101

3.1. Caracterização das Cadeias Produtivas

3.1.3. Cadeia Produtiva de Cobre

O cobre é um metal de transição pertencente ao grupo 11 da classificação periódica dos elementos, podendo ser encontrado na natureza em sua forma nativa, mas principalmente nos minerais calcopirita, calcocita e bornita presentes nos minérios sulfetados, mineral cuprita nos oxidados, azurita e malaquita nos carbonatados e crisocola nos silicatados. No Brasil, as reservas de cobre são, em sua grande maioria, constituídas por minerais sulfetados (ROCIO et. al., 2012).

Nos primórdios da civilização o uso do cobre era praticamente exclusivo, passando a formar ligas metálicas com o estanho (bronze), caracterizando a Era do Bronze, e posteriormente com o zinco (latão), além de outros milhares de ligas. O emprego do cobre foi sendo direcionado às aplicações onde a sua maleabilidade, ductilidade, resistência à corrosão e capacidade de condução de energia elétrica e térmica são requisitos essenciais, que o coloca em uma posição de destaque. Seu uso se estende aos segmentos da indústria eletroeletrônica, construção civil, química, farmacêutica e na agricultura, dentre outros.

A recente tendência de reconfiguração da matriz energética indica que a demanda do metal tende a um crescimento elevado no futuro próximo, com uso mais intensivo em projetos de infraestrutura relacionados à energia renovável e veículos elétricos.

A indústria primária do cobre se caracteriza pela extração do minério e seus subsequentes processamentos até chegar à produção do cobre metálico de elevada pureza. O fato deste metal não perder suas propriedades fez surgir a indústria secundária do cobre, que tem como principal matéria prima o cobre refinado e a reciclagem de suas sucatas.

Estima-se que as reservas mundiais de cobre sejam da ordem de 880 milhões de toneladas (ICSG 2021).

3.1.3.1. Polos produtivos mineiro-industriais no Brasil, da Cadeia Produtiva de Cobre

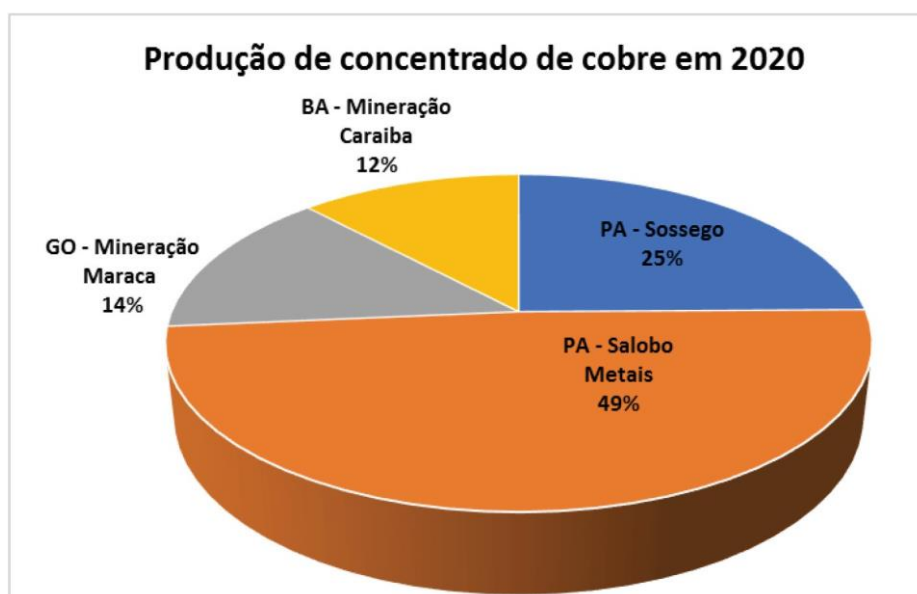
Os polos produtivos da cadeia do cobre no Brasil, até 2020, juntamente com o nível de concentração da produção e percentual de participação de capital nacional/estrangeiro, com distribuição no território nacional são apresentados na Tabela 1 e nas Figura 1a e 1b.

Tabela 1. Polos produtivos da cadeia produtiva de cobre no Brasil, até 2020

Estado	Município	Empresa	Produto	Produção Cobre con- tido (t)	Receita (R\$)	Capital Nacio- nal (%)	Capital Externo (%)	Produção Nacional (%)	Ref.
PA	Canaã dos Carajás	Vale S.A./ Sossego	Concen- trado de cobre	87700	3.507.457.088	100	-	24,8	1;2
PA	Carajás	Salobo Metais	Concen- trado de cobre	172700	6.906.930.890	100	-	48,8	1;2
GO	Alto Hori- zonte	Lundin Mining/ (Mineração Maracá)	Concen- trado de cobre	50573	2.142.993.231	-	100	14,3	2;3
BA	Pilar	Mineração Caraíba	Concen- trado de cobre	42814	1.268.565.306	-	100	12,1	2
Concentrado de Cobre				353787	13.825.946.515	-	-	-	-
BA	Dias D'Ávila	Paranapa- nema *(2019)	Catodo	175242	-	36,022	23,406	-	4
			Laminados e Con- dutores elétricos	143991	-				
		Produção efetiva		206055				100%	4
		Vendas de Cobre refinado Mercado Interno	Catodo	8377	198.534.000	-	-	-	4
			Laminados e Con- dutores elétricos	65213	1.736.012.000	-	-	-	4
		Vendas para Trans- formação	Catodo	553	587.000	-	-	-	4
		Vendas de Cobre refinado Mercado Externo	Catodo	46003	1.109.778.000	-	-	-	4
			Laminados e Con- dutores elétricos	6263	1.448.724.000	-	-	-	4
		Vendas para Trans- formação	Laminados/ barras/fios/ outros	15949	51.909.000	-	-	-	4
Cobre refinado -				196358	4.545.544.000	-	-	-	4
Produção Nacional (2020)			Laminados	39700	639.200.000	-	-	27,6%	5
			Tubos e conexões	34400	864.400.000	-	-	23,9%	5
			Barras	39700	536.900.000	-	-	27,6%	5
			Fios	30000	967.900.000	-	-	20,9%	5
Semimanufaturados -				143800	3.008.400.000	-	-	-	5

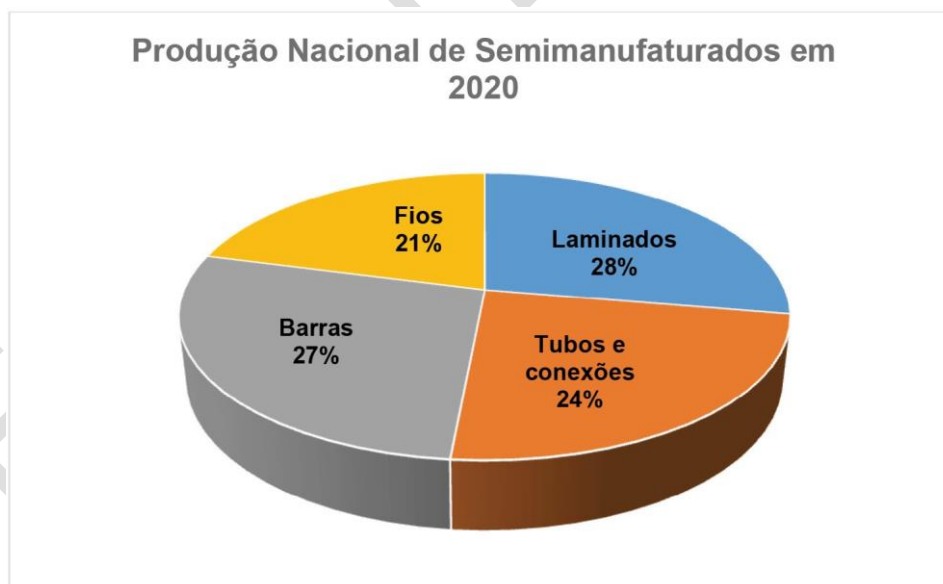
Fontes: 1 - Vale, (2020); 2 - AMB, (2021); 3 - Lundin Mining, (2020); 4 - Paranapanema, (2020); 5 - ABC, (2020).

Figura 1a. Polos produtivos no Brasil de concentrado de cobre e suas respectivas participações no mercado, em 2020.



Fontes: 1 -Vale, (2020); 2- AMB, (2021); 3 - Lundin Mining, (2020); 4- Paranapanema, (2020); 5 - ABC, (2020).

Figura 1b. Produção nacional de semimanufaturados de cobre e as respectivas participações no mercado, em 2020



Fontes: ABC, (2020).

A produção da Bahia se destina quase exclusivamente ao mercado interno e as do Pará e Goiás, ao mercado externo. Cerca de 74% de concentrado de cobre no Brasil são produzidos pela Vale S.A., proprietária das minas de Sossego e Salobo, ambas localizadas no estado do Pará. É interessante observar que a não verticalização do processo no Pará está fortemente ligada a questões de demanda de energia do processo de geração do cobre refinado, assim como à vocação mineradora da empresa detentora dos depósitos. Certamente, tal situação implica em perdas de divisa para o país, sendo desejável que tal questão seja equacionada, inclusive para a redução da dependência brasileira de importações de cobre refinado.

A Paranapanema é ainda o único produtor nacional de cobre refinado e produtos semimanufaturados, fornecendo 50% da sua produção para o mercado interno, enquanto os outros 50% do mercado interno de cobre refinado são supridos por importações.

Em termos de concentrado, pode-se dizer que o país seria autossuficiente no metal, mas, por razões diversas, mais de 90% deste é exportado, enquanto se importa parte do metal.

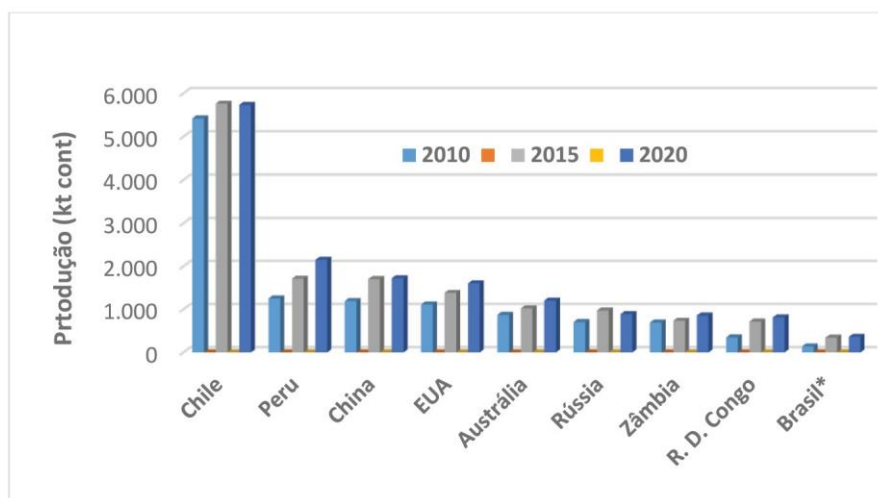
No ano de 2020, o Brasil se colocou nas principais posições no ranking mundial de produtores de concentrado de cobre. A Tabela 2 e a Figura 2 mostram a evolução no ranking mundial, juntamente com os países maiores produtores. As quantidades são expressas em cobre contido e a produção mundial é estimada, pelo USGS (2022), em 20,6 Mt ao ano.

Tabela 2. Ranking dos principais produtores de concentrado de cobre, em kt de cobre contido.

Colocação	2010		2015		2020	
	Países	Produção (kt _{cont})	Países	Produção (kt _{cont})	Países	Produção (kt _{cont})
1º	Chile	5.420	Chile	5.760	Chile	5.730
2º	Peru	1.250	China	1.710	Peru	2.150
3º	China	1.190	Peru	1.700	China	1.720
4º	EUA	1.110	EUA	1.380	R. D. Congo	1.600
5º	Austrália	870	R. D. Congo	1.020	EUA	1.200
6º	Rússia	703	Austrália	971	Austrália	885
7º	Zâmbia	690	Rússia	732	Zâmbia	853
8º	R. D. Congo	343	Zâmbia	712	Rússia	810
	Brasil*	136	Brasil*	340	Brasil*	358

Fontes: AMB, (2011 - 2021) e USGS, (2022).

Figura 2. Principais produtores mundiais de concentrado de cobre, em kt de cobre contido



Fonte: AMB (2011 - 2021) e USGS (2022)

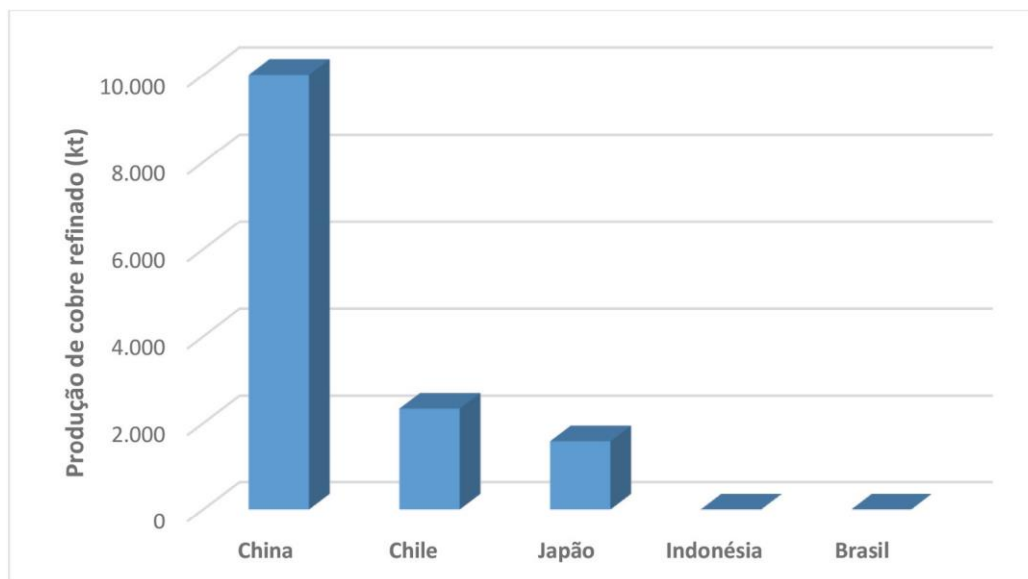
No que concerne à produção do cobre refinado, o Brasil não está entre os principais produtores mundiais, conforme apresentado na Tabela 3 e na Figura 3, juntamente com os três países maiores produtores do mundo.

Tabela 3. Ranking dos principais produtores mundiais de cobre refinado, no ano de 2020.

Colocação/ País	Produção (kt/a)	Distribuição (%)
1º China	10.025	40,0
2º Chile	2.330	9,32
3º Japão	1.580	6,32
...
16º Indonésia	0,270	1,08
17º Brasil	0,206	0,80

Fonte: WMP, 2020.

Figura 3. Principais produtores mundiais de cobre refinado, mais Indonésia e Brasil, no ano de 2020



Fonte: WMP, 2020.

3.1.3.2. Parque Produtivo minero-industrial de Cobre no Brasil

O parque produtivo minero-industrial do cobre, no ano de 2020, incluindo número de empresas, produção, localização e tipologia das unidades de produção que integram a cadeia de sua produção, juntamente com a caracterização das integrações a montante e a jusante, bem como de facilidades locacionais e logísticas associadas às integrações existentes, é mostrado na Tabela 4, enquanto a Figura 4 mostra as produções em cada empreendimento de mineração.

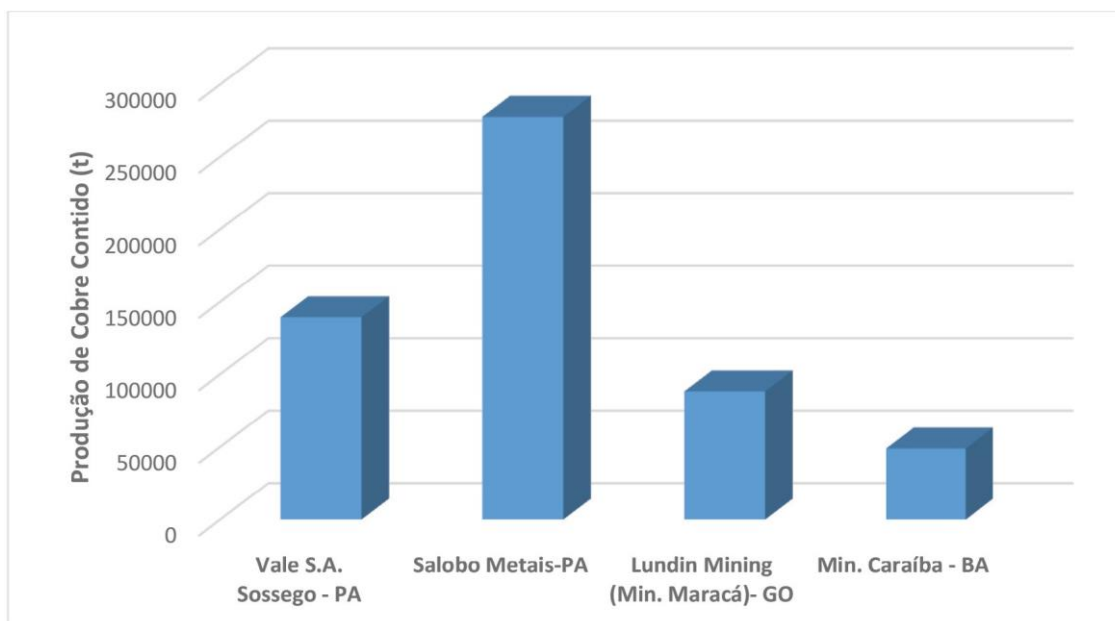


Tabela 4. Caracterização do parque produtivo brasileiro de cobre, em 2020.

	Empre- sa	Lo- cal	Produtos	Produção Cobre Cont. (t)	Operação Montante	Logística	Dist.	Operação Juzante	Logística	Dist.
Lavra										
(Céu aberto) Britagem	Vale S.A./ Sossego	PA	Minério de cobre	139450	Detonação/ Remoção/ Transporte	Explosivo/ Escavad. / Cami- nhão	1 km	Estocagem/ pilha pulmão	Correia transport.	4km
(Céu aberto) Britagem Primária	Salobo Metais	PA	Minério de cobre	277790	Detonação/ Remoção/ Transporte	Explosivo/ Escavad. / Cami- nhão	1 km	Britagem Secundária Estocagem pilha pulmão	Correia transport.	SI
(Céu aberto) Britagem	Lundin Mining (Min. Maracá)	GO	Minério de cobre	88220	Detonação / Remoção/ Transporte	Caminhão	1,5 km	Estocagem pilha pulmão	Correia transport.	100m
(Subterrânea) Britagem	Mine- ração Caraíba	BA	Minério de cobre	48892	Desmonte/ Transporte	Elevador / Cami- nhão	-	Moagem	Correia transport.	-
Benefic.										
Flotação	Vale S.A./ Sossego	PA	Concent. de cobre	87700	Moagens / Peneiram. / Ciclonação	Transp. polpa	-	Espessam. / Filtragem Transporte Parauapebas/ Porto Itaquí - São Luís-MA	Trans. polpa Cami- nhão/ Ferrovia	- 90 km 900 km
Flotação	Salobo Metais	PA	Concent. de cobre	172700	Prensagem/ Moagem/	Transp. polpa	-	Espessam. / Filtragem Transporte Parauapebas/ Porto Itaquí - São Luís-MA	Trans. polpa Caminhão Ferrovia	168 km 900 km
Flotação	Lundin Mining (Min. Maracá)	GO	Concent. de cobre	50573	Moagem/ Filtragem	correia transport.	-	Transporte Term. Marít. Vitória	Caminhão	1630 km
Flotação /	Mine- ração Caraíba	BA	Concent. de cobre	42814	Moagem	correia transport.	-	Espessam. / Filtragem Transporte Term. Marít. Inácio Sergipe	Trans. polpa Cami- nhão / Ferrovia	430 km
Extração										
Fundição	Para- napane- ma	BA	Anodo de cobre	160000*	Lixiviação / pilha	Empilha- deira	200 m	Eletrolise	Empilha- deira	200m
Refino										
Eletrolise	Para- napane- ma	BA	Catodo de cobre	143800	Recebid. anodos	Empilha- deira	100 m	Laminação / trefilas	Empilha- deira	100 m
								Semimanufatu- -rados	Caminhão /navio	1700 km

* Estimativa de Valor Calculado

Fontes: Vale, (2020); AMB, (2021); Lundin Mining, (2020) e Paranapanema, (2020)

Figura 4. Parque produtivo brasileiro de mineração de cobre.

Fontes: Vale, (2020); AMB, (2021); Lundin Mining, (2020) e Paranapanema, (2020)

Observa-se pela tabela 4 que a mineração de cobre, normalmente a partir de minérios sulfetados, é feita a céu aberto e apresenta configurações de lavra e beneficiamento distintas em cada unidade de produção, exigindo transporte a longas distâncias, por caminhão ou correia transportadora. Apenas na Mineração Caraíba a lavra é subterrânea, fazendo o minério chegar à superfície por elevadores de carga.

Outro ponto diz respeito ao escoamento da produção de concentrado de cobre, envolvendo uma logística por caminhão, até uma unidade de extração metalúrgica do cobre primário, e ferrovia até um determinado porto de embarque para o mercado externo.

A Paranapanema é a única empresa do Brasil que transforma o cobre mineral em metal, sendo referência na fundição (produção de anodos) e no refino de cobre primário (cátodos), bem como na produção de semimanufaturados de cobre e suas ligas, como vergalhões, fios trefilados, laminados, barras, tubos, conexões, entre outros, em suas unidades de Dias d'Ávila - BA, Santo André - SP e Serra - ES.

3.1.3.3. Consumo Energético e Emissão de CO₂, da Cadeia Produtiva de Cobre

O consumo energético e a emissão de CO₂ no Brasil, da cadeia produtiva do cobre, incluindo as principais fontes energéticas utilizadas, as estimativas do percentual de auto suprimento de energia, do tratamento das emissões gasosas, do grau de automação nas empresas e das tecnologias para energia limpa, são apresentados na Tabela 5.

Os valores de referência de kWh/t e combustíveis utilizados foram obtidos do relatório elaborado por Northey e Haque, 2013, onde são encontrados consumos específicos de empresas mineradoras de sulfetados e lateríticos. Em termos de kWh/t de minério, entre as etapas de lavra e beneficiamento, pode-se destacar o maior consumo de energia elétrica nas etapas de britagem e moagem. A etapa de extração metalúrgica destaca-se pelo maior consumo de energia nas unidades de eletrorefino e forno elétrico.

Os fatores de conversão para emissão de CO₂ foram:

- Óleo diesel: 3,7kg/kg
- Gás Natural: 56,1 t/TJ
- Energia Elétrica - Período de 2021 a 2025: 0,0468 t/MWh

Os valores de emissões de CO₂ em milhares de toneladas são percebidos nas atividades de escavação e transporte do minério até a unidade de beneficiamento. Os principais fornecedores de caminhões para transporte de minérios já vêm anunciando modelos na versão totalmente elétrico, segundo a Revista Minério, 2020.

Tabela 5. Consumo energético e emissão de CO₂ da cadeia produtiva do cobre, no Brasil.

	Empresa	Local	Consumo Energético	Fontes de Energia	Auto-Ge- ração (%)	Emissão de CO ₂ (kg/t)	Tratamento de gases (%)	Tecnologias para Energia Limpa	Grau de Auto-mação
Lavra	Vale 56 Mt/ano de minério	PA	20,4 kWh/t	Hidrelétrica	54%	0,95 kg CO ₂ /t minério	-	Energia eólica	SI
			2,8 kg/t	Diesel	0%	10,36 kg CO ₂ /t minério	-	Energia eólica	SI
	Mineração Maraca 29 M t/ano minério	GO	20,4 kWh/t	Hidrelétrica	0%	0,95 kg CO ₂ /t minério	-	SI	SI
			2,8 kg/t	Diesel		10,36 kg CO ₂ /t minério	-	SI	SI
	Mineração Caraíba 2,32 M t/ano de minério	BA	20,4 kWh/t	Hidrelétrica	0%	0,95 kg CO ₂ /t minério	-	SI	SI
			2,8 kg/t	Diesel		10,36 kg CO ₂ /t minério	-	SI	SI
Beneficiamento	Vale	PA	18,5 kWh/t	Hidrelétrica	54%	0,87 kg CO ₂ /t minério	-	Energia eólica	SI
	Mineração Maraca	GO	18,5 kWh/t	Hidrelétrica	0%	0,87 kg CO ₂ /t minério	-	SI	SI
	Mineração Caraíba	BA	18,5 kWh/t	Hidrelétrica	0%	0,87 kg CO ₂ /t minério	-	SI	SI
Extração Metalúrgica	Paranapanema 975 kt de escória	BA	70 kWh/t	Hidrelétrica	0%	3,28 kg CO ₂ /t escória	100%	N	SI
	220 kt de anodo		2,5 GJ/t anodo	Gás natural	0%	140,25 kg CO ₂ /t anodo	100%	N	SI
	220 kt de anodo		0,7 GJ/t de anodo	Óleo diesel	0%	51,87 kg CO ₂ /t anodo	100%	N	SI
	610 kt de ácido sulfúrico		1,25 GJ/t H ₂ SO ₄	Hidrelétrica	0%	15,61 kg CO ₂ /t H ₂ SO ₄	100%	N	SI
Refino	Paranapanema 175,2 kt de catodo de cobre	BA	280 kWh/t	Hidrelétrica	0%	12,54 kg CO ₂ /t catodo	100%	N	SI
			0,97 GJ/t de Catodo	Gás natural	0%	54,42 kg CO ₂ /t catodo	100%	SI	SI

SI => Sem Informação

N => Não

Fontes: Vale, (2020); AMB, (2021); Lundin Mining, (2020); Paranapanema, (2020); Northey e Haque, (2013) e notas do autor (2020).

3.1.3.4. Utilização de Água, da Cadeia Produtiva do Cobre

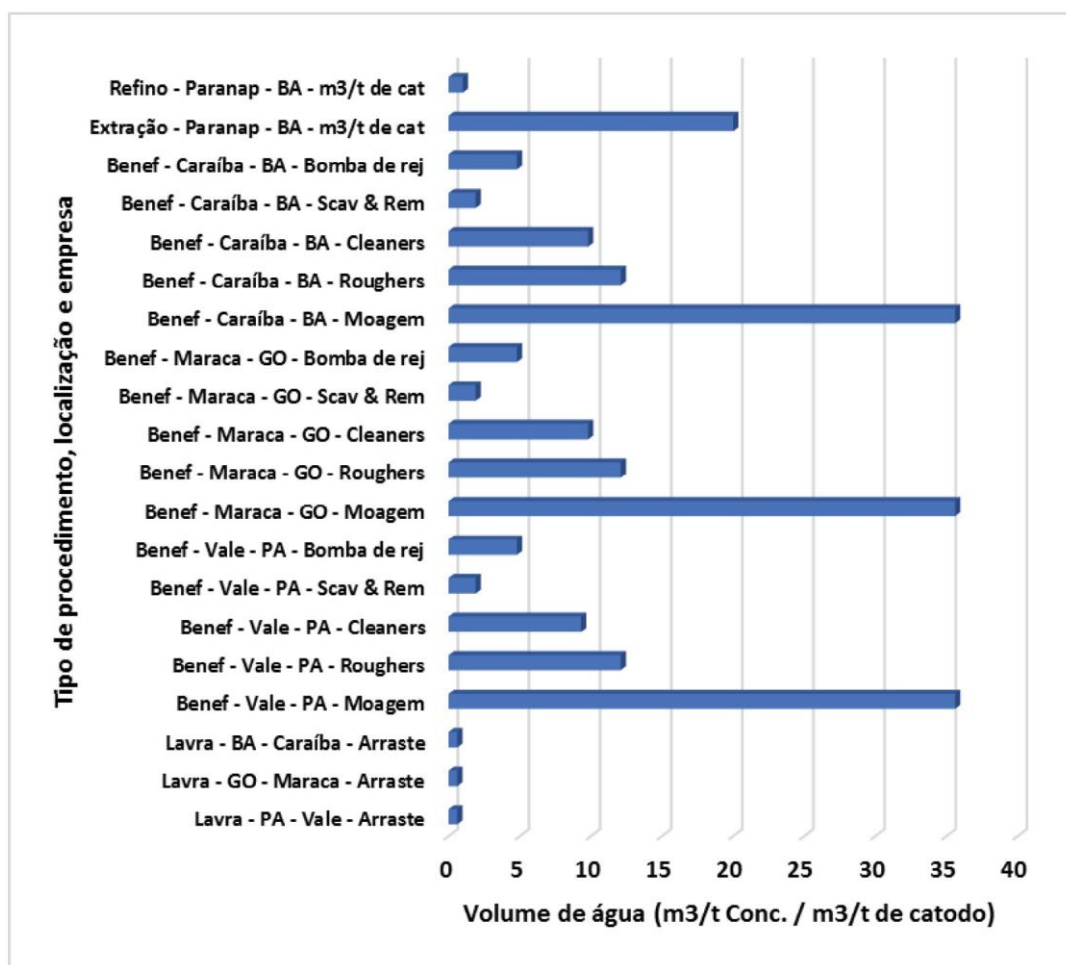
A utilização de água no Brasil, na cadeia produtiva do cobre, incluindo o percentual de recirculação da água utilizada e o tratamento do efluente líquido, é apresentada na Tabela 6, enquanto a Figura 5 mostra os consumos de água por operação.

Tabela 6. Utilização de água da cadeia produtiva do cobre no Brasil.

	Empresa	Local	Consumo de Água (m³/t)	Reutilização (%)	Tratamento de Efluentes
Lavra	Vale 56 Mt/ano de minério	PA	Arraste pelo minério 0.6 m³/t	-	-
	Mineração Maracá 29 Mt/ano de minério	GO	Arraste pelo minério 0.6 m³/t	-	-
	Mineração Caraíba 2,32 Mt/ano de minério	BA	Arraste pelo minério 0.6 m³/t	-	-
Beneficiamento	Vale 897 kt/ano de concentrado de cobre	PA	Moagem 35.6 m³/t Conc. Roughers 12.1 m³/t Conc. Cleaners 9.8 m³/t Conc. Scavenger & Remoagem 1.9 m³/t Conc. Bomba de rejeito 4.8 m³/t Conc.	95%	-
	Mineração Maracá 209 kt/ano de concentrado de cobre	GO	Moagem 35.6 m³/t Conc. Roughers 12.1 m³/t Conc. Cleaners 9.8 m³/t Conc. Scavenger & Remoagem 1.9 m³/t Conc. Bomba de rejeito 4.8 m³/t Conc.	70%	-
	Mineração Caraíba 127 kt/ano de concentrado de cobre	BA	Moagem 35.6 m³/t Conc. Roughers 12.1 m³/t Conc. Cleaners 9.8 m³/t Conc. Scavenger & Remoagem 1.9 m³/t Conc. Bomba de rejeito 4.8 m³/t Conc.	90%	-
Extração Metalúrgica	Paranapanema 220 kt de anodo de cobre		20 m³/t de catodo	20%	80%
Refino	Paranapanema 175,2 kt de catodo de cobre	BA	1 m³/t de catodo	60%	20%

Fontes: Northey & Haque, (2013); Moore et al, (2019); Rodriguez et al, (2021) e Burns et al, (2021); notas do autor.

Figura 5. Consumos de água por operação da cadeia produtiva do cobre, no Brasil.



Fontes: Northey & Haque, (2013); Moore et al, (2019); Rodriguez et al, (2021) e Burns et al, (2021); notas do autor (2020).

Por falta de informações das minas de cobre no Brasil, foi utilizado o consumo específico médio de água (m^3/t) por cada operação unitária para o tratamento de minério sulfetado de cobre, segundo Northey & Haque, 2013, dados estes coletados de relatórios de sustentabilidade de empresas em diversos países de todos os continentes. Percebe-se um grande consumo de água nas etapas de moagem e flotação (*roughers*, *scavengers* e *cleaners*). Esse estudo menciona que a reposição de água foi de $26,6 \text{ m}^3/\text{t}$ de concentrado, ou $1,2 \text{ m}^3/\text{t}$ de minério ou $102 \text{ m}^3/\text{t}$ de cobre contido.

Os relatórios técnicos das minas de cobre em operação no Brasil, de Moore et al, 2019, Rodriguez et al, 2021 e Burns et al, 2021, reportam sobre o aproveitamento entre 70% e 95% da água utilizada, considerando o tratamento de efluentes. O consumo de água específico na fundição pode ser explicado pela etapa de lavagem, durante a limpeza dos gases (*"offgas"*) provenientes da fundição,

granulação da escória (perdas por evaporação) e consumo na produção do ácido sulfúrico.

3.1.3.5. Geração de Resíduos, da Cadeia Produtiva do Cobre.

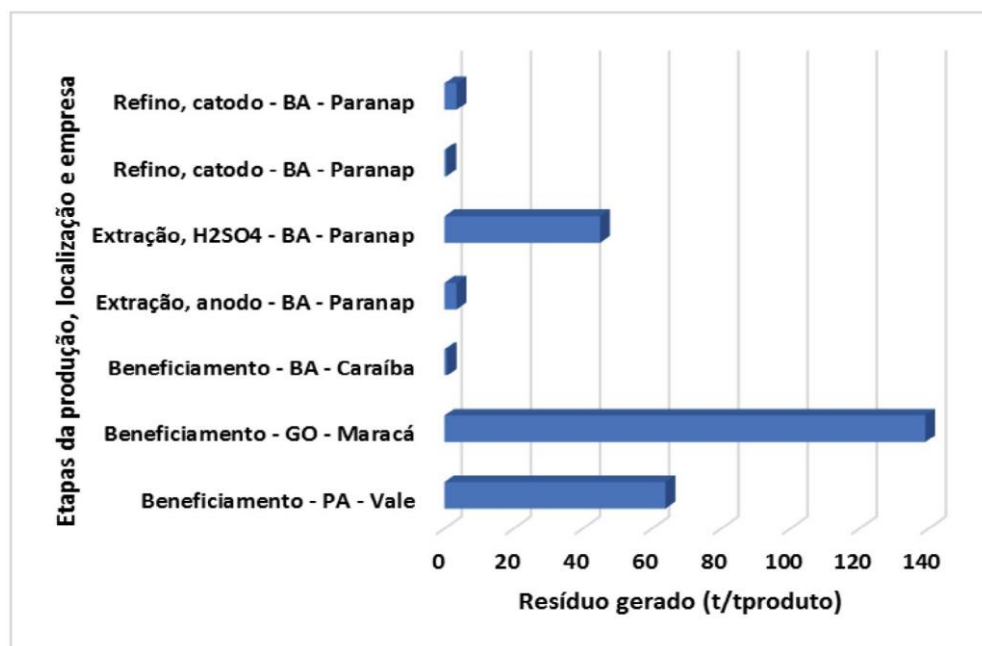
A geração de resíduos no Brasil, na cadeia produtiva do cobre, bem como uma pré-qualificação e potencial de aproveitamento dos resíduos em outros segmentos ou em obras de infraestrutura, juntamente com as práticas de prevenção ou mitigação de impactos ambientais, é mostrada na Tabela 7, enquanto a Figura 6 mostra o mapa da geração de resíduos por estado, desconsiderando o estéril como resíduo.

Tabela 7. Geração de resíduos no Brasil, da cadeia produtiva do cobre.

	Empresa	Local	Geração de Resíduos (t/ t _{produto})	Natureza e Classificação dos Resíduos	Potencial de Aproveitamento (setor e %)	Práticas de Mitigação de Impactos Ambientais
Lavra	Vale 56 Mta de minério	PA	-	-	-	-
			-	-	-	-
	Mineração Maracá 29 Mta de minério	GO	-	-	-	-
			-	-	-	-
	Mineração Caraíba 2,32 Mta de minério	BA	-	-	-	-
			-	-	-	-
Beneficiamento	Vale 897 kta de concentrado de cobre	PA	63,9	Rejeito de minério	0%	Empilhamento de inertes e barragens
	Mineração Maracá 209 kta de concentrado de cobre	GO	139,0	Rejeito de minério	0%	Empilhamento de inertes e barragens
	Mineração Caraíba 127 kta de concentrado de cobre	BA	0,7	Rejeito de minério	0%	Empilhamento de inertes e uso no fechamento da mina
Extração Metalúrgica	Paranapanema 220 kta de anodo de cobre	BA	3,5	escória	100% ^a	Venda como Subproduto
	610 kta de ácido sulfúrico		45	lama de gesso	0%	Disposição em aterro Classe II
Refino	Paranapanema 175.2 kta de catodo de cobre	BA	0,6	lama cúprica	100%	Reciclado para fundição
			3,5	lama anódica	100%	Venda para recuperação de metais preciosos

Fontes: Moore et al, (2019); notas do autor

Figura 6. Geração de resíduos em cada etapa de produção na cadeia produtiva do cobre, no Brasil.



Fontes: Moore et al, (2019); notas do autor

A Mineração Caraíba, desde 2010, não utiliza mais a sua barragem de rejeito, optando por codisposição do rejeito em mistura com cimento para “*backfill*” em suas minas subterrâneas que estão inativas, sendo importante salientar que tal processo é viável apenas em casos de volumes menores de geração de rejeitos, em função da demanda de cimentícios, e da disponibilidade de cavas desativadas, para a destinação. Este processo tem considerado a segurança do local bem como a revegetação, segundo Moore et al, 2019.

No caso dos resíduos gerados durante a extração do cobre pelo processo de fundição, pode ser destacada a escória (silicato de ferro ou fayalita). Esse resíduo é aproveitado como carga na indústria cimenteira e também utilizado em operação de jateamento e limpeza de superfícies. Outro resíduo gerado na unidade de tratamento de efluentes é a lama de gesso, não perigoso (classe II) e, portanto, confinado em aterro junto à fundição.

Outros resíduos são gerados na etapa de refino eletrolítico, como lama cúprica e catodos de eletrodeposição e lama anódica, que, contendo ouro, prata, platina e paládio, é vendida para outras indústrias.

3.1.3.6. Geração de Resíduos Sólidos, da Cadeia Produtiva

A geração de resíduos sólidos no Brasil, da cadeia produtiva do cobre, bem como uma pré-qualificação e potencial de aproveitamento dos resíduos gerados em outras cadeias produtivas, juntamente com grau de reciclagem e panorama de utilização de sucatas e de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, é mostrada na Tabela 8.

Tabela 8. Geração de resíduos sólidos no Brasil, da cadeia produtiva do cobre .

	Empresa	Local	Geração de Resíduos (kg/t _{produto})	Natureza e Classificação dos Resíduos	Grau de Reciclagem (%)	Uso de Sucatas e Resíduos Eletroeletrônicos
Lavra	Vale 56 Mt/ano minério	PA	SI	-	-	-
	Mineração Maracá 29 milhões minério t/ano	GO	SI	-	-	-
	Mineração Caraiíba 2,32 Mt/ano de minério	BA	SI	-	-	-
Beneficiamento	Vale 897 kt/ano de concentrado de cobre	PA	SI	-	-	-
	Mineração Maraca 209 kt/ano de concentrado de cobre	GO	SI	-	-	-
	Mineração Caraiíba 127 kt/ano de concentrado de cobre	BA	SI	-	-	-
Extração Metalúrgica	Paranapanema 220 kt de anodo de cobre	BA	0,6	Finos/poeira coletados em precipitadores eletrostáticos e (limpeza de painéis , fornos)	100%	0%
Refino	Paranapanema 175.2 kt de catodo de cobre	BA	270	Sucata de anodo de cobre, limalha de cobre, catodos eletro refino contaminados	100%	0%

SI => Sem informação

Fonte: Alcântara, E., (2022).

Dentre esses resíduos destacam-se aqueles gerados a partir da operação de extração (poeira coletadas em precipitadores eletrostáticos e “*revert*”, material obtido a partir da limpeza dos fornos e painéis, que transportam o mate e *blister* na fundição) e refino do cobre (sucata de anodo, limalha de cobre e catodos de eletrodeposição ditos contaminados), todos reciclados na própria fundição.

A reciclagem de sucata externa é possível, porém limitada a 70 t/ano, na fundição da Paranapanema. Segundo Gregoir et al, 2022, a reciclagem de sucata no mundo gira em torno de 45% do cobre comercializado, número considerado bastante baixo. Os autores mencionam que em 2035 essa reciclagem deverá chegar a 60% de sucata de cobre.

No que se refere à reciclagem da sucata eletrônica, a forma mais segura e econômica seria em uma metalurgia do cobre, no entanto, a fundição deve ser adaptada para que seja possível. A Boliden (2021), é uma das melhores referências de adequação tecnológica para reciclagem de eletroeletrônicos.

3.1.3.7. Produção do Cobre

A produção brasileira de cobre, durante o período de 1970 a 2020, é apresentada na Tabela 9, por unidade da federação, e no gráfico das Figuras 7a e 7b, com os totais consolidados para o país.

Tabela 9. Produção brasileira de cobre de 1970 a 2020 e por estado, a partir de 2015 (kt de cobre).

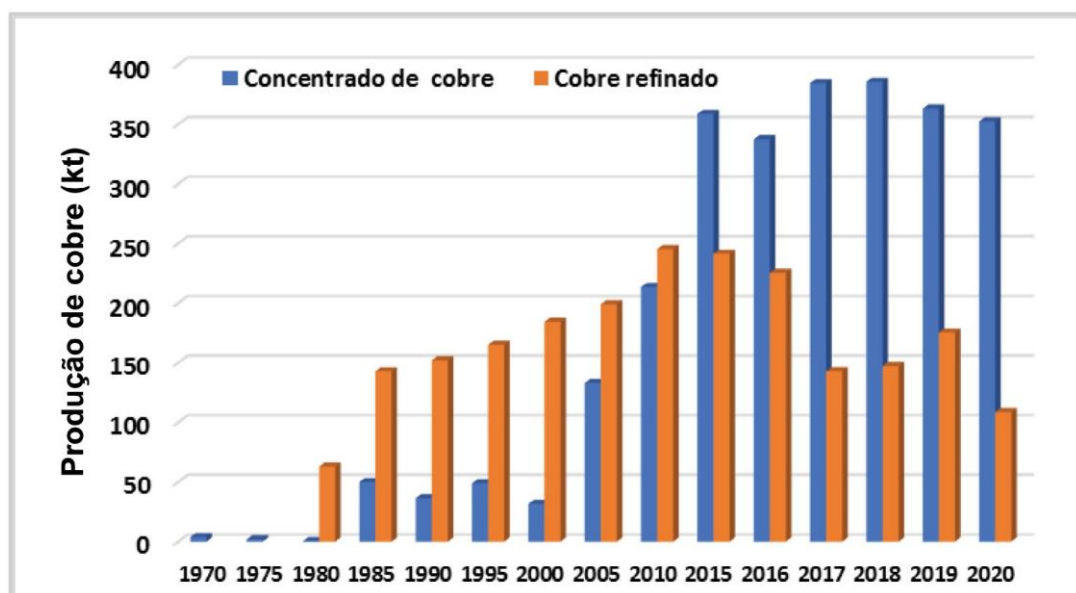
Produto	1970 ^b	1975 ^b	1980 ^b	1985 ^b	1990 ^b	1995 ^b	2000 ^b	2005 ^a	2010 ^b
Produção Nacional Conc. Cobre	3,9	1,92	0,402	50	36,4	48,9	31,7	133,1	213,54
Total em Concentrado	3,9	1,9	0,402	50	36,4	48,9	31,7	133,1	213,54
Total refinado	-	-	63	142,88	152,11	164,99	184,25	199,04	245,29

Produto	Estado	2015 ^a	2016 ^a	2017 ^a	2018 ^a	2019 ^a	2020 ^a
Produção Nacional Conc. Cobre	PA	271,1	280,2	307	297	261,9	259,2
	GO	60,6	52,4	57,7	58,5	59,0	50,5
	BA	27	4,8	19,7	30,1	42,3	42,8
Total em Concentrado	BR	358,7	337,4	384,4	385,6	363,2	352,5
Total Refinado	BA	241,46	225,55	142,89	147,12	175,24	108,64

^aFonte: *Produção por Estado - Anuário Mineral Brasileiro: principais substâncias metálicas / ANM, 2021*

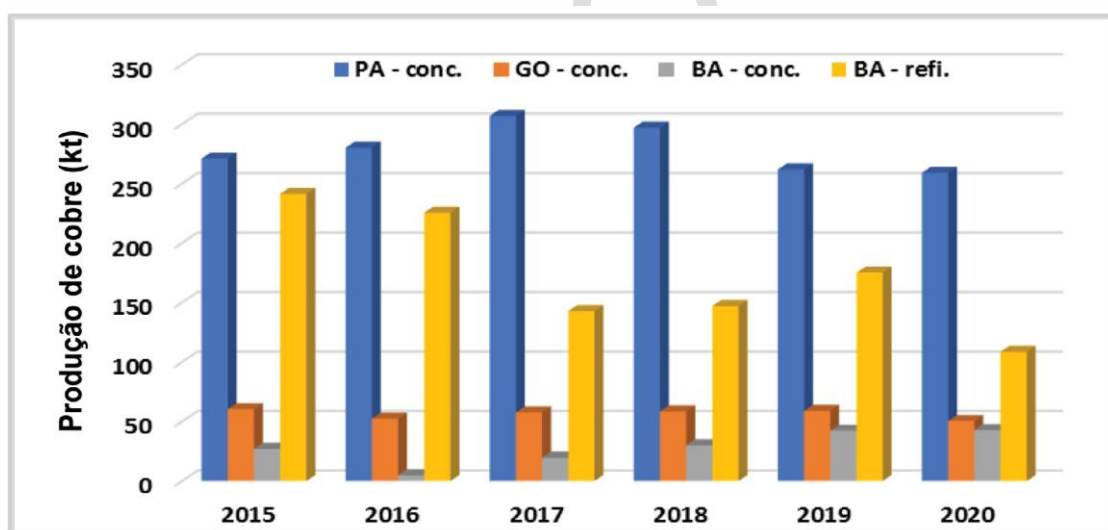
^b Fonte: *Produção Nacional – World Mineral Statistics*

Figura 7a. Produção brasileira de cobre, de 1970 a 2020 (kt de cobre).



Fonte: Produção Nacional – World Mineral Statistics

Figura 7b. Produção brasileira por estado de concentrado de cobre e cobre refinado, de 2015 a 2020.



Fonte: Anuário Mineral Brasileiro: principais substâncias metálicas / ANM,(2021)

O Brasil iniciou sua produção de cobre refinado na Bahia em 1982 com a operação da Caraíba Metais (lavra, beneficiamento, refino). A compra externa de concentrado de cobre sempre foi uma característica desse empreendimento, visto que a capacidade da unidade de refino concebida foi superior à capacidade de produção da mina Caraíba.

A partir de 2005, a Vale iniciou sua operação de produção de concentrado de cobre, na mina de Sossego, PA, e a partir daí, com a mina de Salobo, PA, em 2010, conseguiu implementar sua estratégia de fornecimento de concentrado de cobre para a Caraíba, além de estabelecer operações de exportação.

É importante salientar que o Brasil não possui ainda tecnologia com capacidade para consumir o concentrado de cobre da mina de Salobo, em função dos elevados teores de contaminantes, principalmente flúor e cloro, que necessitam de investimento para suportar a agressividade desses elementos aos equipamentos da fundição e unidade de ácido sulfúrico.

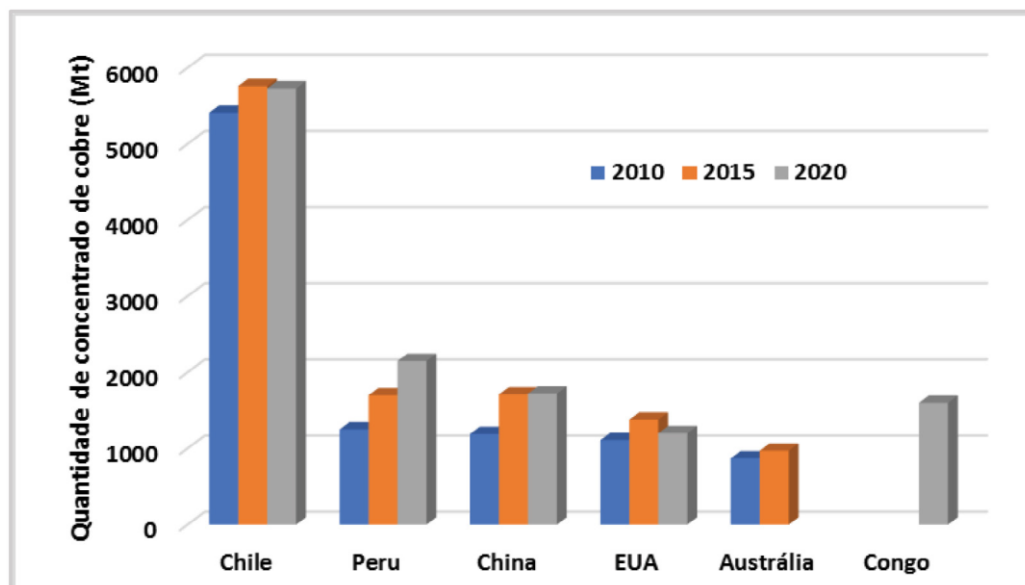
No ano de 2020, o Brasil se colocou na 14^a posição no *ranking* mundial de produtores de concentrado de cobre e na 31^o posição no ranking de produtores do cobre refinado. A Tabela 10 e as Figura 8a e 8b apresentam o *ranking* mundial, juntamente com os países maiores produtores.

Tabela 10. Ranking dos principais produtores de concentrado de cobre e cobre refinado.

Produto	Colocação País 2010	Produção (Mt)	Colocação País 2015	Produção (Mt)	Colocação País 2020	Produção (Mt)
Concentrado de Cobre	1º Chile	5,410	1º Chile	5,760	1º Chile	5,730
	2º Peru	1,250	2º China	1,710	2º Peru	2,150
	3º China	1,190	3º Peru	1,700	3º China	1,720
	4º EUA	1,110	4º EUA	1,380	4º Congo	1,600
	5º Austrália	870	5º Austrália	971	5º EUA	1,200
Cobre Refinado	1º China	4,540	1º China	7,968	1º China	10,000
	2º Chile	3,243	2º Chile	2,688	2º Chile	2,330

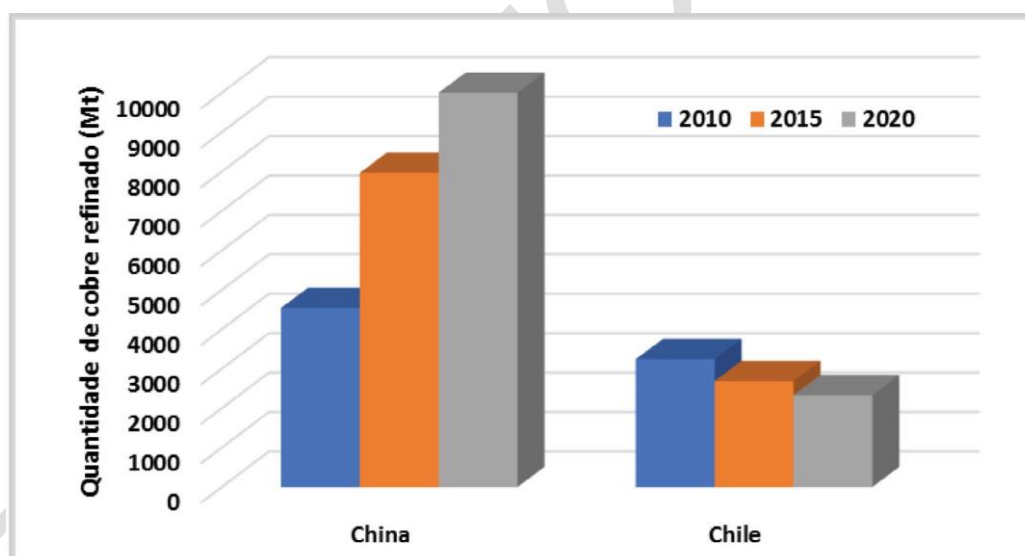
Fonte: USGS, (2022).

Figura 8a. Principais produtores mundiais de concentrado de cobre de 2010 até 2020.



Fonte: USGS, (2022)

Figura 8b. Principais produtores mundiais de cobre refinado entre 2010 e 2020



Fonte: USGS, (2022)

Embora o Brasil apresente um crescimento significativo da produção do concentrado de cobre nos últimos dez anos, a sua posição no ranking mundial é ainda vista como tímida, pois em 2020 o 5º país do ranking (EUA) possui cerca de 3,5 vezes a produção de concentrado de cobre brasileiro.

O Brasil possui uma capacidade de produção nominal de 280 kt/ano de cobre refinado, desde 2013, considerando 210 kt/ano de cobre a partir do concentrado de cobre e 70 kt/ano de sucata de cobre. Mesmo assim, o 5º país no ranking mundial de cobre refinado (Rússia) produz cerca de 3 vezes mais do que a produção brasileira.

3.1.3.8. Consumo de Cobre

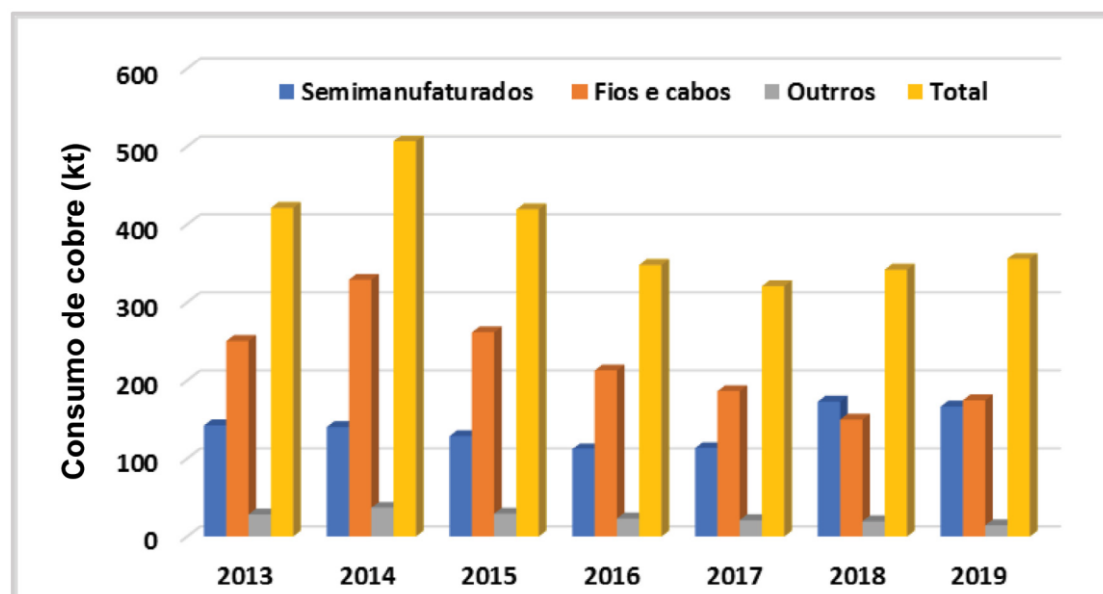
O consumo de cobre refinado, no Brasil, a cada ano, durante o período de 2013 a 2019, é apresentado na Tabela 11 e no gráfico da Figura 9.

Tabela 11. Consumo brasileiro de produtos de cobre, de 2013 a 2019.

		Consumo (kt)						
	PRODUTO	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Brasil	Semimanufaturados (barras, tubos, laminados e conexões)	142,6	140,6	128,5	112,1	113,5	172,9	166,8
	Fios e cabos	250,5	329	262	213	186,5	149,7	174,5
	Outros	28,1	36,9	29	23	21	19,6	14,6
TOTAL		421,2	506,5	419,5	348,1	321,0	342,2	355,9

Fonte: ABCOBRE, (2020)

Figura 9. Consumo brasileiro de produtos de cobre e total por ano, de 2013 a 2019.



Fonte: ABCOBRE

O consumo de cobre refinado no mercado brasileiro vem registrando queda desde 2014 e decaiu cerca de 30%, daquele ano até 2019. Os produtos semimanufaturados apresentaram um crescimento do consumo nos anos 2018 e 2019, enquanto os fios e cabos mostram uma correlação significativa com a queda do consumo total. Essa redução do consumo de cobre pode ser explicada pela redução do PIB da construção civil (IBGE), cujo percentual acumulado entre 2014 e 2019 totaliza uma queda de 31,4%. Durante esse mesmo período, pode ser observado um aumento expressivo das exportações de cobre, de 42,2 kt em 2014, para 175,5 kt em 2019, segundo o Anuário Brasileiro do Cobre (2020). As importações de cobre apresentaram um aumento de 20%, também nesse mesmo período.

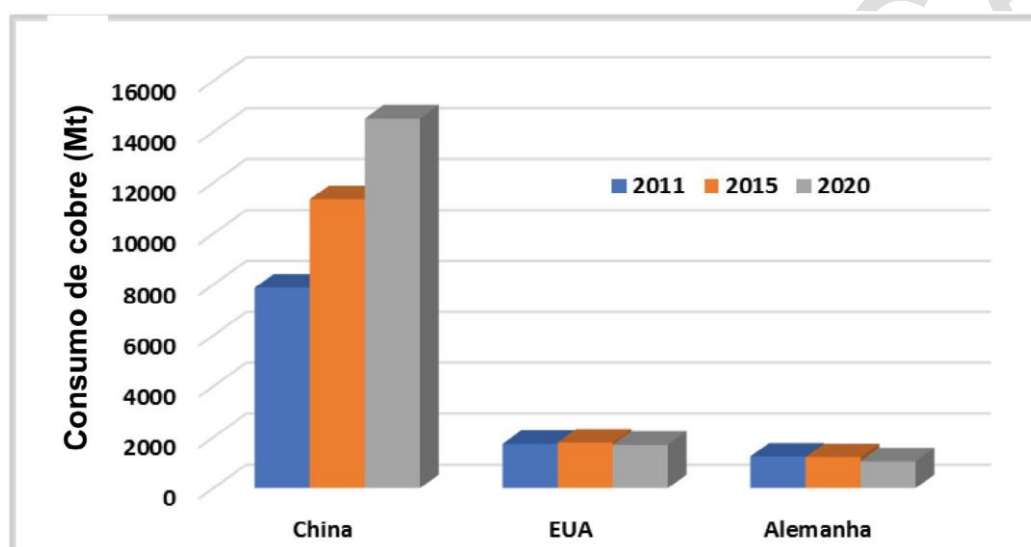
Em 2020, o Brasil se colocou na 16ª posição no ranking mundial de consumidores de cobre refinado e a Tabela 12 e a Figura 10 apresentam os três países maiores consumidores no mundo.

Tabela 12. Principais consumidores mundiais de cobre refinado.

Colocação País 2011	Consumo (kt)	Colocação País 2015	Produção (kt)	Colocação País 2020	Produção (kt)
1º China	7.880,8	1º China	11.353,1	1º China	14.527,4
2º EUA	1,744,7	2º EUA	1.796,0	2º EUA	1.706,0
3º Alemanha	1.247,0	3º Alemanha	1.218,9	3º Alemanha	1.059,1
...

Fonte: WMP, 2020

Figura 10. Principais consumidores mundiais de cobre refinado.



Fonte: WMP, (2020).

Dentre os principais consumidores de cobre no mundo, a China vem isolada na 1ª posição do *ranking* e praticamente dobrando o consumo de cobre nos últimos dez anos. A Alemanha, 3ª no ranking, consome cerca de 3 vezes mais cobre refinado que o Brasil. Isso mostra o tamanho da oportunidade do mercado brasileiro, frente à necessidade de crescer sua economia nos próximos 30 anos.

3.1.3.9. Importações de Cobre

Em 2020, o Brasil se colocou na 11ª posição no ranking mundial de importadores de cobre contido em concentrados. A Tabela 13 mostra a evolução do ranking mundial e a Figura 11 mostra os principais países importadores de concentrado de cobre, nos anos de 2010, 2015 e 2020.

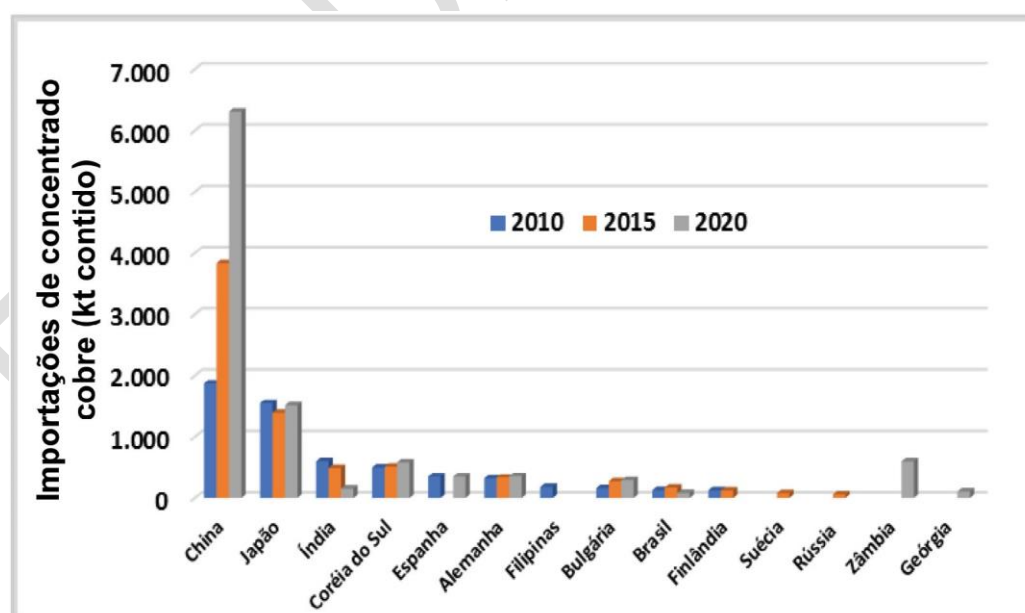
A China, o Japão e a Coreia do Sul são os principais importadores de cobre contido em concentrados, com um grande destaque para a China. De um modo geral, a prática normal é a de se utilizar de concentrados de várias origens, que são mesclados, para se ter uma homogeneidade de características e uma minimização de custos. Como já mencionado, a complementação das necessidades da Caraíba Metais no Brasil é originada de fontes externas. A posição do Brasil e demais países perante o ranking mundial foram estabelecidos com base, nos dados disponíveis no Comtrade (U01,2022).

Tabela 13. Ranking dos principais importadores de concentrado de cobre, em kt de cobre contido.

Colocação País 2010	Importações (kt contidas)	Colocação País 2015	Importações (kt contidas)	Colocação País 2020	Importações (kt contidas)
1ª China	1.875	1ª China	3.838	1ª China	6.312
2º Japão	1.553	2º Japão	1.397	2º Japão	1.516
3ª Índia	600	3º Coreia do Sul	513	3º Zâmbia	597
4º Coreia do Sul	501	4ª Índia	492	4º Coreia do Sul	581
5º Espanha	356	5º Alemanha	338	5º Alemanha	359
6º Alemanha	325	6º Bulgária	275	6º Espanha	357
7º Filipinas	185	7º Brasil	173	7º Bulgária	291
8º Bulgária	166	8º Finlândia	130	8ª Índia	158
9º Brasil	136	9º Suécia	86	9º Geórgia	113
10º Finlândia	133	10º Rússia	64	11º Brasil	88

Fonte: U01, (2022).

Figura 11. Principais importadores de concentrado de cobre, em kt de cobre contido.



Fonte: U01, (2022).

Em 2020, o Brasil se colocou na 12ª posição no ranking mundial de importadores de cobre refinado e ligas de cobre, conforme mostrado na Tabela 14.

Tabela 14. Ranking dos principais importadores de cobre refinado e ligas, em 2020.

Posição	País	Valor (US\$ milhões)	Volume (kt)
1	China	30.601,1	5.014
2	EUA	4.213,8	691
3	Alemanha	3.815,9	615
4	Itália	2.839,1	458
5	Ásia (outros)	2.787,0	454
6	Em. Árabes	2.404,7	402
7	Turquia	2.194,6	353
8	Tailândia	2.101,9	344
9	Coreia do Sul	1.455,7	238
10	Vietnam	1.460,3	232
11	França	1.199,4	194
12	Brasil	1.195,1	190

Fonte: U01, (2022).

A importação brasileira de cobre deve ser dividida em importações de concentrado de cobre para consumo na unidade metalúrgica, localizada na Bahia, e de cobre metálico para complemento do mercado nacional, que é deficitário em cobre refinado.

O consumo de concentrado de cobre na indústria envolve diversas condições contratuais, que podem influenciar no consumo pela metalurgia: como teores de impurezas (flúor, cloro, arsênio, antimônio, bismuto, chumbo, etc.), metais preciosos (ouro, prata, platina, paládio, etc.), passando por negociações das taxas de tratamento do minério (TC) e de refino (RC) e, por fim, o monitoramento da cotação do cobre na bolsa de Londres.

O déficit do mercado brasileiro impulsionou empresários e governos a viabilizarem a importação do cobre refinado via incentivos fiscais, sendo a estratégia implementada inicialmente por São Paulo, seguido por Espírito Santo, Bahia e, por último, por Santa Catarina.

3.1.3.10. Exportações de Cobre

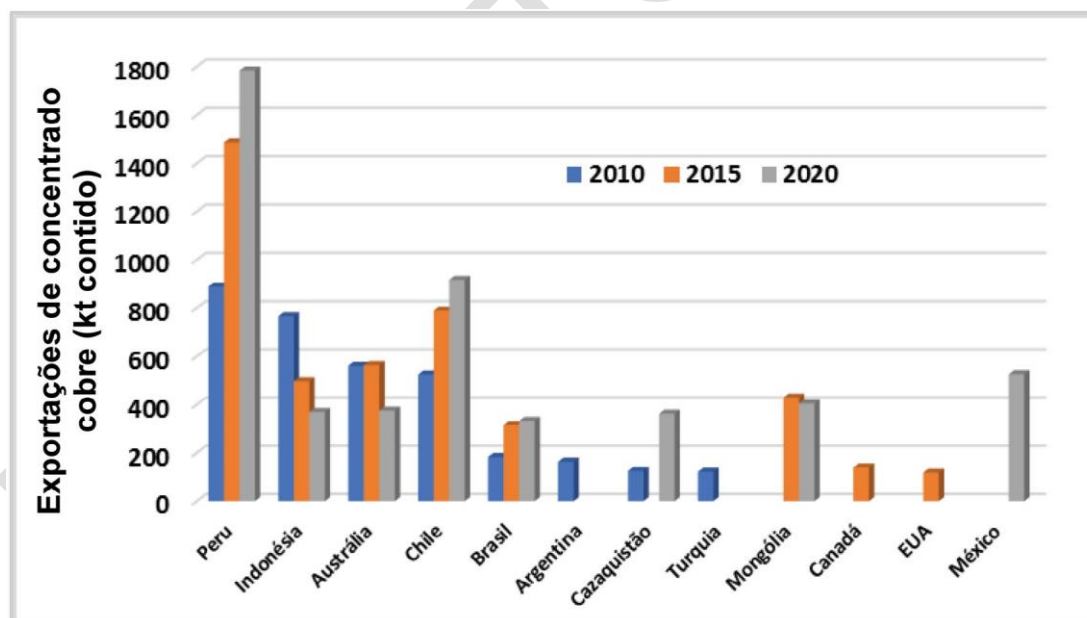
Em 2020, o Brasil se colocou na 8ª posição no ranking mundial de exportadores de cobre contido em concentrados. A Tabela 15 e a Figura 12 mostram a evolução do ranking mundial, juntamente com os 8 países com maiores exportadores no mundo.

Tabela 15. Ranking dos principais exportadores mundiais de concentrados de cobre, em kt contidas de cobre contido.

Colocação País 2010	Exportações (kt contidas)	Colocação País 2015	Exportações (kt contidas)	Colocação País 2020	Exportações (kt contidas)
1º Peru	889	1º Peru	1.486	1º Peru	1.784
2ª Indonésia	766	2º Chile	789	2ª Chile	917
3º Austrália	561	3º Austrália	564	3ª México	527
4º Chile	526	4ª Indonésia	496	4ª Mongólia	405
5º Brasil	183	5º Mongólia	429	5ª Austrália	375
6ª Argentina	164	6º Brasil	315	6ª Indonésia	370
7º Cazaquistão	125	7ª Canadá	140	7ª Cazaquistão	363
8º Turquia	122	8º EUA	118	8ª Brasil	333

Fonte: U01, 2022

Figura 12. Principais exportadores de concentrados de cobre, em kt de cobre contido.



O Brasil está relativamente bem-posicionado no elenco dos exportadores de cobre contido em concentrados. No entanto, há que se considerar que a mina de Sossego está próxima ao esgotamento. O primeiro lugar do Peru, como país exportador, indica uma menor capacidade de transformação a metal. Há que se

considerar a tendência de os países produtores de concentrado agregarem valor mediante a verticalização da sua produção, como é feito em grande parte pelo Chile, mas as condições comerciais do concentrado são, em muitos casos, mais atrativas que a do metal.

Quanto ao cobre refinado, o Brasil não figura entre os maiores exportadores, com uma produção tímida, no mercado internacional. Em 2020, o Brasil se colocou na 31ª posição no ranking de exportadores de cobre refinado e ligas de cobre, conforme mostrado na Tabela 16.

Tabela 16. Ranking dos principais exportadores de cobre refinado e ligas, em 2020.

Posição	País	Valor (US\$ milhões)	Volume (kt)
1	Chile	14.586,7	2.311
2	Rússia	4.644,4	775
3	Japão	4.694,7	775
4	Cazaquistão	2.720,4	484
5	Austrália	2.373,2	399
6	Polônia	1.831	295
7	Coreia do Sul	1.736,2	284
8	Peru	1.787,1	284
9	Filipinas	1.573,1	258
10	Zâmbia	1.417,6	239
11	Alemanha	1.326,9	214
12	Indonésia	1.257,6	214
13	China	1.293,2	212
14	Bulgária	1.182,7	191
15	Áustria	942,1	182
16	Canadá	1.031,0	172
17	Myanmar	924,7	161
18	EUA	938,4	143
19	Suécia	768,8	123
20	Uzbequistão	582,4	99
31	Brasil	121,0	23

Fonte: U01, (2022).

3.1.3.11. Porte das Empresas e Geração de Empregos

O panorama dos empreendimentos produtores de cobre no Brasil, em 2019 e 2020, conforme seu porte de produção, os estados da federação de suas operações e os números de empregos diretos e indiretos gerados encontra-se consolidado na Tabela 17. Os empregos indiretos considerados foram os divulgados pelas empresas, normalmente de trabalhos terceirizados, não diretamente ligados à produção.

Tabela 17. Panorama dos empreendimentos produtores de cobre no Brasil, por porte de produção, em 2019 e 2020.

Empresas de Grande Porte de Produção					
Empreendimento	Produção (kta.Cu)	Produtos	Estado	Empregos diretos	Empregos indiretos
Salobo	172,7	Concentrado de Cobre	PA	1600	800
Paranapanema	175,0	Cobre Refinado	BA	800	400
Total	347,7		Brasil	2400	1200
Empresas de Médio Porte de Produção					
Empreendimento	Produção (kta.Cu)	Produtos	Estado	Empregos diretos	Empregos indiretos
Sossego	87,7	Concentrado de Cobre	PA	820	400
Mineração Maracá	50,6	Concentrado de Cobre	GO	650	326
Mineração Caraíba	42,4	Concentrado de Cobre	BA	400	200
Mineração Vale Verde (<i>rump up</i>)	22,0*	Concentrado de Cobre	AL	233	120
Total	202,7		Brasil	2103	1046
Total das Empresas por Porte de Produção					
Porte	Produção (kta.Cu)	Produtos	Brasil	Empregos diretos	Empregos indiretos
Grande	347,0	Concentrado de Cobre e Cobre Refinado	PA e BA	2400	1200
Médio	202,7	Concentrado de Cobre	PA ; GO e AL	2103	1046
Total	549,7	Concentrado de Cobre e Cobre Refinado	Brasil	4503	2246

*Link: [Mineração Vale Verde inicia testes e planeja primeiro embarque para novembro \(revistamineracao.com.br\)](https://revistamineracao.com.br)

Fonte: AMB, 2020

Nos últimos dezoito anos, a Vale tornou-se a principal produtora de concentrado de cobre em solo brasileiro, após colocar em operação as minas a céu aberto

de Sossego (início de operação 2004 - capacidade nominal anual de 97 mil t de cobre contido e concentrado) e de *Salobo* (início de operação 2012 - capacidade nominal anual de 197 mil t de cobre contido em concentrado), ambas localizadas na região de Carajás, PA.

Embora o Complexo Mineração Caraíba (mina mais antiga em operação no Brasil, aberta há 40 anos) tenha produzido 42 kt/ano em 2020, estima-se que essa produção deverá ser mantida apenas até 2028. A partir desse ano, a produção deverá decrescer continuamente até atingir 17 kt /ano de cobre, em 2033, segundo relatório da Ero-Copper – 2021, empresa canadense proprietária do empreendimento.

A mineração Maracá iniciou sua operação em 2007 e possui uma capacidade nominal de 60 kt/ano de cobre e vem intensificando prospecções no sentido de viabilizar novos depósitos de cobre. A proprietária Lundin Mining é uma empresa canadense, grande produtora de concentrado de cobre e com minas de cobre em vários países, inclusive no Chile e Portugal.

A Mineração Vale Verde - AL, é a mais nova produtora de concentrado de cobre em solo brasileiro e está em sua trajetória de aumento de produção até alcançar a sua capacidade nominal, de 22 kt/ano de cobre.

3.1.3.12. Porte dos Projetos em Andamento e/ou Previstos e Geração de Empregos

O panorama dos projetos em andamento e/ou previstos para a produção de concentrado de cobre no Brasil, conforme seu porte de produção considerando o volume lavrado, os estados da federação de suas operações e os números de empregos diretos e indiretos previstos encontra-se consolidado na Tabela 18. Os empregos indiretos considerados foram os divulgados pelas empresas, e refere-se, normalmente, às atividades terceirizadas, não diretamente ligados à produção.

Tabela 18. Panorama dos projetos em andamento e/ou previstos para a produção de cobre no Brasil, por porte de produção

Empreendimentos de Grande Porte de Produção					
Empreendimento	Produção Cobre contido	Produtos	Estado	Empregos diretos	Empregos indiretos
Salobo III (Vale)	50 kt/a (5 anos) 42 kt/a (10 anos) 32 kt/ano (até o esgotamento da mina)	Concentrado de Cobre	PA	470	230
Boa Esperança (MCSA)	20,0	Concentrado de Cobre	PA	200	90
Total	70,0	Concentrado de Cobre	Brasil	670	320
Total dos Empreendimentos por Porte de Produção					
Porte	Produção	Produtos	Brasil	Empregos diretos	Empregos indiretos
Grande	52,0	Concentrado de Cobre	Pará	670	320
Total	52,0	Concentrado de Cobre	Brasil	670	320

Fonte: Vale, (2020), Revista Brasil Mineral, (2022).

A Vale anunciou a operação da Salobo III para o primeiro semestre de 2022, segundo seu relatório anual (Vale-2020), no entanto, vem encontrando dificuldades com a operação atual em função das condições de segurança de suas barragens. É importante salientar que Salobo III utilizará parte da estrutura existente da Salobo I e II. Com o problema iminente de segurança, a partida de Salobo III deverá ser postergada.

A Mineração Caraíba anunciou a implantação do projeto Boa Esperança, no município de Tucumã - PA, com início previsto para abril de 2022. Estima-se que o depósito mineral apresente 360 kt de cobre contido, com investimento da ordem de USD 490 milhões (Revista Brasil Mineral-2022).

3.1.3.13. Projeções até 2050, em 3 Cenários Hipotéticos

As projeções para o Brasil, até 2050, considerando um cenário conservador, são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19. Projeções do Mercado Mundial e Nacional do Cobre, até 2050, considerando um cenário conservador.

	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Produção Mundial de Cobre Metálico Primário (Mt.Cu) (1)	26,0	29,3	32,9	37,1	41,7	47,0	52,9	59,5
Consumo Mundial de Cobre Metálico Primário (Mt.Cu) (2)	26,0	29,3	32,9	37,1	41,7	47,0	52,9	59,5
Produção Nacional de Cobre Metálico (kt.Cu) (3)	111,9	118,8	126,1	133,8	142,0	150,7	160,0	169,8
Consumo Nacional de Cobre Metálico (kt.Cu) (4)	373,9	412,7	455,6	502,9	555,1	612,7	676,3	746,5
Importações de Cobre Metálico (kt.Cu) (5)	262,0	293,9	329,5	369,1	413,1	462,0	516,3	576,7
Exportações de Concentrado de Cobre (kt.Cu) (6)	353,3	397,6	447,5	503,7	566,9	638,1	718,1	808,3
Empregos diretos (7)	5329	5656	6003	6372	6763	7178	7618	8086
Empregos indiretos nas unidades (7)	2644	2806	2978	3161	3355	3560	3779	4011

1. Considerando que a produção primária de cobre se encontre na parte inferior da faixa de crescimento de demanda previsto pela ONU (2022), com 3% ao ano.
2. Considerando que o consumo de cobre primário absorva toda a produção e que a demanda excedente seja suprida por reciclagem.
3. Considerando, em um cenário conservador, que a produção de cobre metálico nacional cresça apenas 1,5% ao ano.
4. Considerando que o consumo de cobre no Brasil acompanhe o crescimento do PIB mundial, de 2,5% ao ano.
5. Considerando suprir a diferença entre produção de cobre metálico e consumo interno.
6. Considerando que a produção de concentrado suprirá a demanda interna e o excedente ainda acompanhará a demanda mundial de cobre, crescendo 3% ao ano, segundo a ONU (2022).
7. Considerando que a geração de empregos no Brasil cresça a metade do aumento das exportações, portanto em 1,5% ao ano.

As projeções para o Brasil, até 2050, considerando um cenário intermediário, são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20. Projeções do Mercado Mundial e Nacional do cobre até 2050, considerando um cenário intermediário.

	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Produção Mundial de Cobre Metálico Primário (Mt.Cu) (1)	26,2	30,1	34,6	39,7	45,5	52,2	59,9	68,8
Consumo Mundial de Cobre Metálico Primário (Mt.Cu) (2)	26,2	30,1	34,6	39,7	45,5	52,2	59,9	68,8
Produção Nacional de Cobre Metálico (kt.Cu) (3)	114,1	126,0	139,1	153,5	169,4	187,0	206,4	227,9
Consumo Nacional de Cobre Metálico (kt.Cu) (4)	373,9	412,7	455,6	502,9	555,1	612,7	676,3	746,5
Importações de Cobre Metálico (kt.Cu) (5)	259,8	286,7	316,5	349,4	385,6	425,7	469,9	518,6
Exportações de Concentrado de Cobre (kt.Cu) (6)	356,7	409,3	469,7	539,0	618,5	709,8	814,5	934,7
Empregos diretos (7)	5356	5740	6153	6595	7069	7577	8122	8705
Empregos indiretos (7)	2657	2847	3052	3271	3507	3758	4029	4318

1. Considerando que a produção primária de cobre se encontre na média da faixa de crescimento de demanda previsto pela ONU (2022), com 3,5% ao ano.
2. Considerando que o consumo de cobre primário absorva toda a produção e que a demanda excedente seja suprida por reciclagem.
3. Considerando, em um cenário intermediário, que a produção de cobre metálico nacional cresça 2,5% ao ano, acompanhando o crescimento do PIB mundial.
4. Considerando que o consumo de cobre no Brasil acompanhe o crescimento do PIB mundial, de 2,5% ao ano.
5. Considerando suprir a diferença entre produção de cobre metálico e consumo interno.
6. Considerando que a produção de concentrado suprirá a demanda interna e o excedente ainda acompanhará a demanda mundial de cobre, crescendo 3,5% ao ano, segundo a ONU (2022).
7. Considerando que a geração de empregos no Brasil cresça a metade do aumento das exportações, portanto em 1,75% ao ano.

As projeções para o Brasil, até 2050, considerando um cenário otimista, são apresentadas na Tabela 21.

Tabela 21. Projeções do Mercado Mundial e Nacional do cobre até 2050, considerando um cenário otimista

	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Produção Mundial de Cobre Metálico Primário (Mt.Cu) (1)	26,5	31,0	36,3	42,4	49,6	58,1	67,9	79,5
Consumo Mundial de Cobre Metálico Primário (Mt.Cu) (2)	26,5	31,0	36,3	42,4	49,6	58,1	67,9	79,5
Produção Nacional de Cobre Metálico (kt.Cu) (3)	116,4	133,5	153,2	175,9	201,8	231,6	265,7	304,9
Consumo Nacional de Cobre Metálico (kt.Cu) (4)	373,9	412,7	455,6	502,9	555,1	612,7	676,3	746,5
Importações de Cobre Metálico (kt.Cu) (5)	257,5	279,2	302,3	327,0	353,3	381,1	410,6	441,6
Exportações de Concentrado de Cobre (kt.Cu) (6)	360,2	421,4	492,9	576,6	674,6	789,2	923,2	1080,1
Empregos diretos (7)	5382	5826	6306	6826	7388	7997	8657	9370
Empregos indiretos (7)	2670	2890	3128	3386	3665	3967	4294	4648

1. Considerando que a produção primária de cobre se encontre na parte superior da faixa de crescimento de demanda previsto pela ONU (2022), com 4,0% ao ano.
2. Considerando que o consumo de cobre primário absorva toda a produção e que a demanda excedente seja suprida por reciclagem.
3. Considerando, em um cenário de pleno investimento, que a produção de cobre metálico nacional cresça 3,5% ao ano, buscando suprir a demanda nacional, chegando a 3,5%.
4. Considerando que o consumo de cobre no Brasil acompanhe o crescimento do PIB mundial, 2,5% ao ano.
5. Considerando suprir a diferença entre produção de cobre metálico e consumo interno.
6. Considerando que a produção de concentrado suprirá a demanda interna e o excedente ainda acompanhará a demanda mundial de cobre, crescendo 4,0% ao ano, segundo a ONU (2022).
7. Considerando que a geração de empregos no Brasil cresça a metade do aumento das exportações, portanto em 2,0% ao ano.

3.1.3.14. Usos e Aplicações do cobre

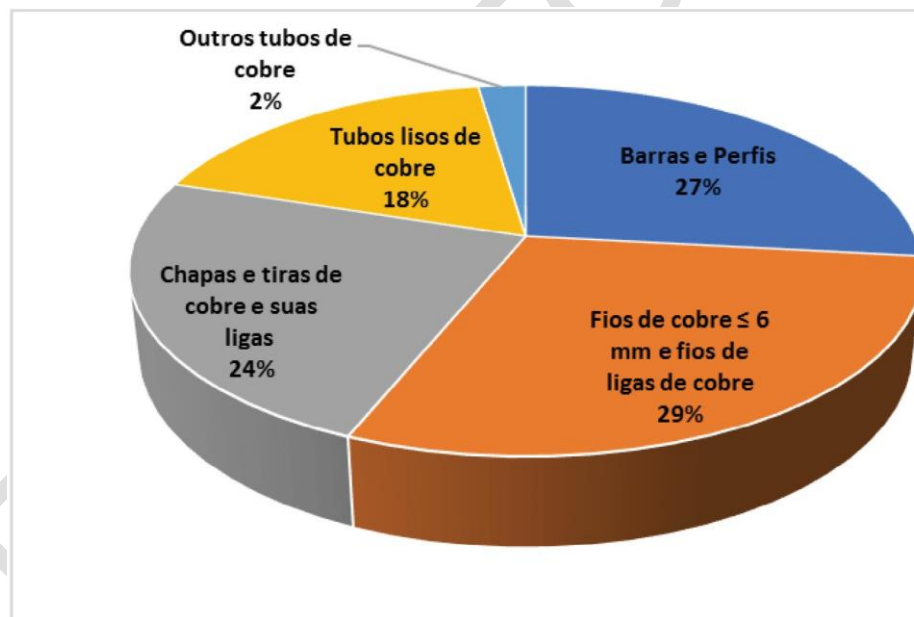
As tabelas 22 e 23 listam as principais aplicações dos produtos da cadeia do cobre e seus percentuais relativos de uso, enquanto as figuras 13 e 14 mostram um resumo das contribuições de cada aplicação para o total do uso do cobre.

Tabela 22. Aplicações e percentuais de uso dos produtos da cadeia do cobre na indústria.

Produto – Indústria Secundária	Uso (%)
Barras e Perfis	26,7
Fios de cobre \leq 6 mm e fios de ligas de cobre	29,4
Chapas e tiras de cobre e suas ligas	23,8
Tubos lisos de cobre	17,7
Outros tubos de cobre	2,3

Fonte: ABC, (2020)

Figura 13. Aplicações e percentuais de uso dos produtos da cadeia do cobre na indústria



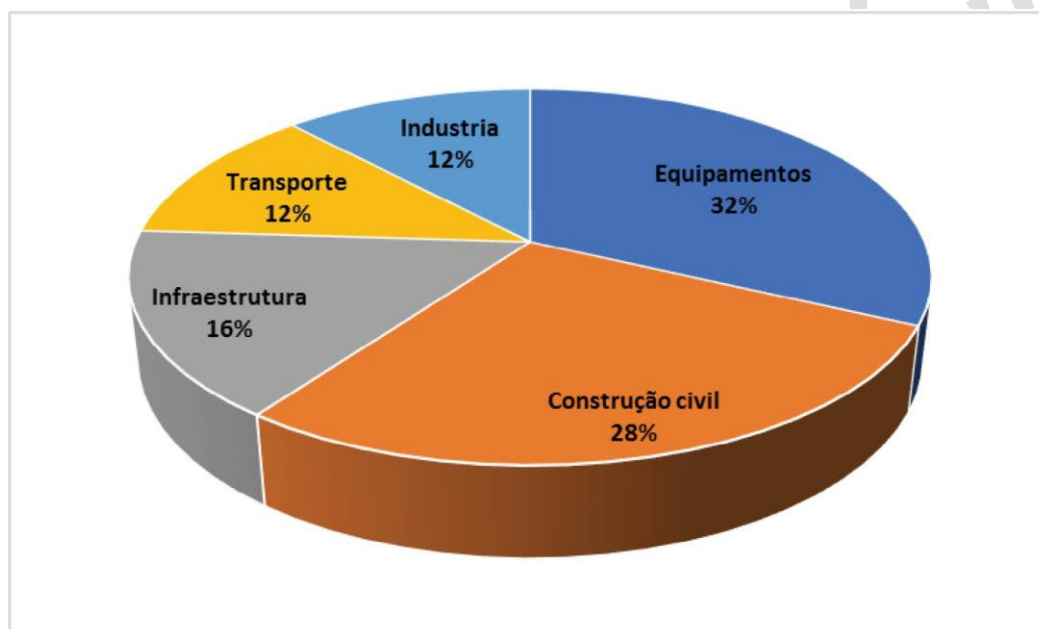
Fonte: ABC, (2020)

Tabela 23. Aplicações e percentuais de uso dos produtos da cadeia.

Produto – Industria Terciária	Uso (%)
Equipamentos	32
Construção civil	28
Infraestrutura	16
Transporte	12
Indústria	12

Fonte: ICSG, (2021)

Figura 14. Resumo das contribuições de cada aplicação para o total do uso do cobre na indústria



Fonte: ICSG, (2021)

3.1.3.15. Padrão Tecnológico da Cadeia do Cobre

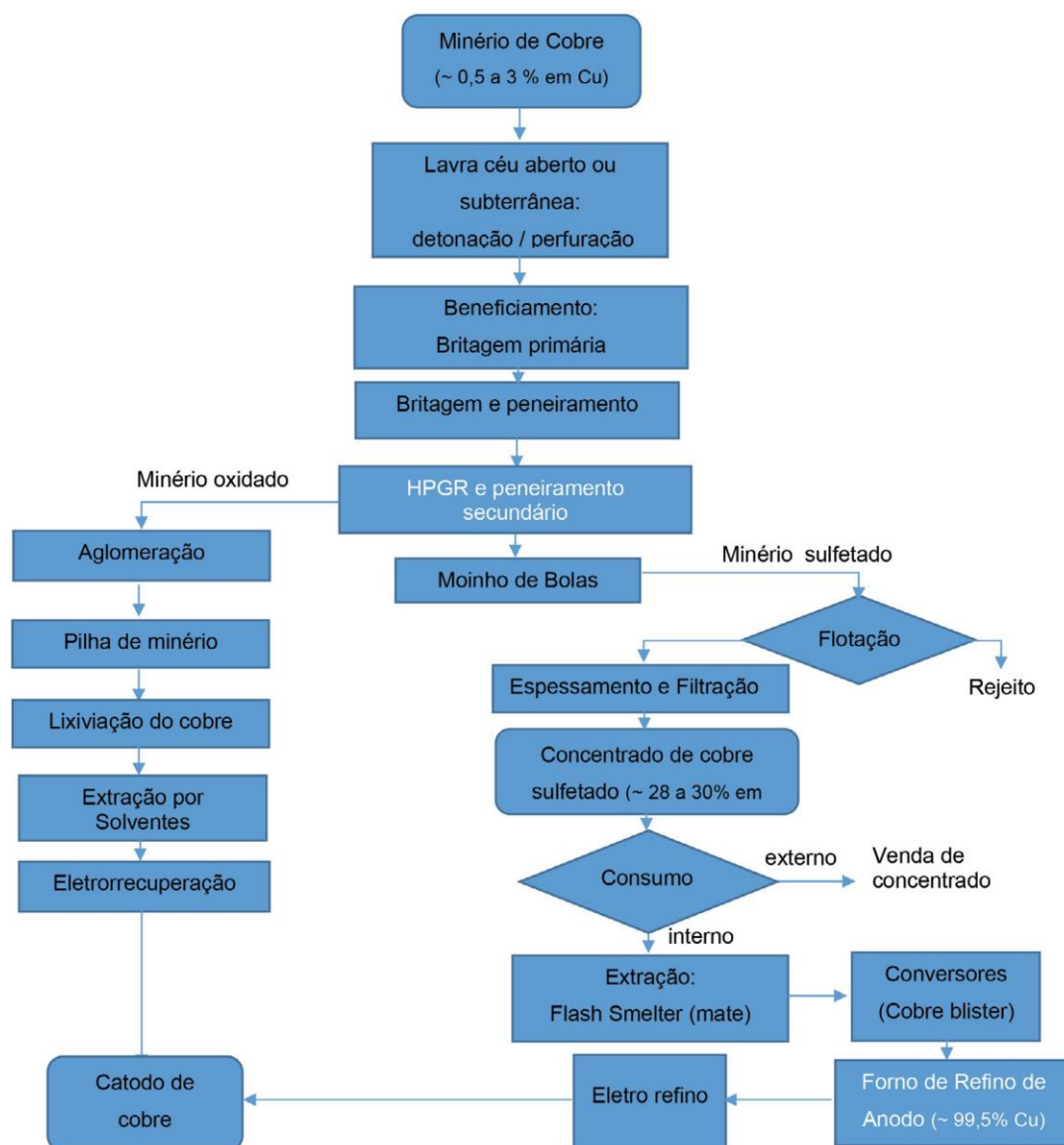
As principais tecnologias utilizadas no Brasil na cadeia do cobre são apresentadas na Tabela 24, juntamente com as tecnologias *benchmark* internacionais. A Figura 15 apresenta um fluxograma simplificado da rota tecnológica predominante no Brasil para a cadeia do cobre e as principais rotas alternativas.



Tabela 24. Principais tecnologias utilizadas no Brasil na cadeia do cobre, juntamente com as tecnologias benchmark internacionais.

Produto	Tecnologia Produtiva no Brasil	Tecnologia Ambiental no Brasil	Benchmark Tecnológico Produtivo	Benchmark Tecnológico Ambiental
Concentrado de Cobre	Mina Céu aberto (Cava; Britagem; Moagem; Flotação; Separação S/L e Disposição)	Barragens de rejeitos úmido		Rejeito a seco
Cobre Refinado	Flash Smelter e Eletrorefino (50% chapa de partida)	Precipitador Eletrostático; Limpeza de gases; Planta de Ácido Sulfúrico e Tratamento de Efluentes	Flash Smelter Converter; Eletrorefino (100% catodo permanente)	Secagem de concentrados (Steam dryer); Caldeira recuperadora na unidade de ácido sulfúrico, com gerador de eletricidade

Figura 15. Fluxograma da rota tecnológica predominante no Brasil e das possíveis rotas alternativas, na cadeia do cobre.

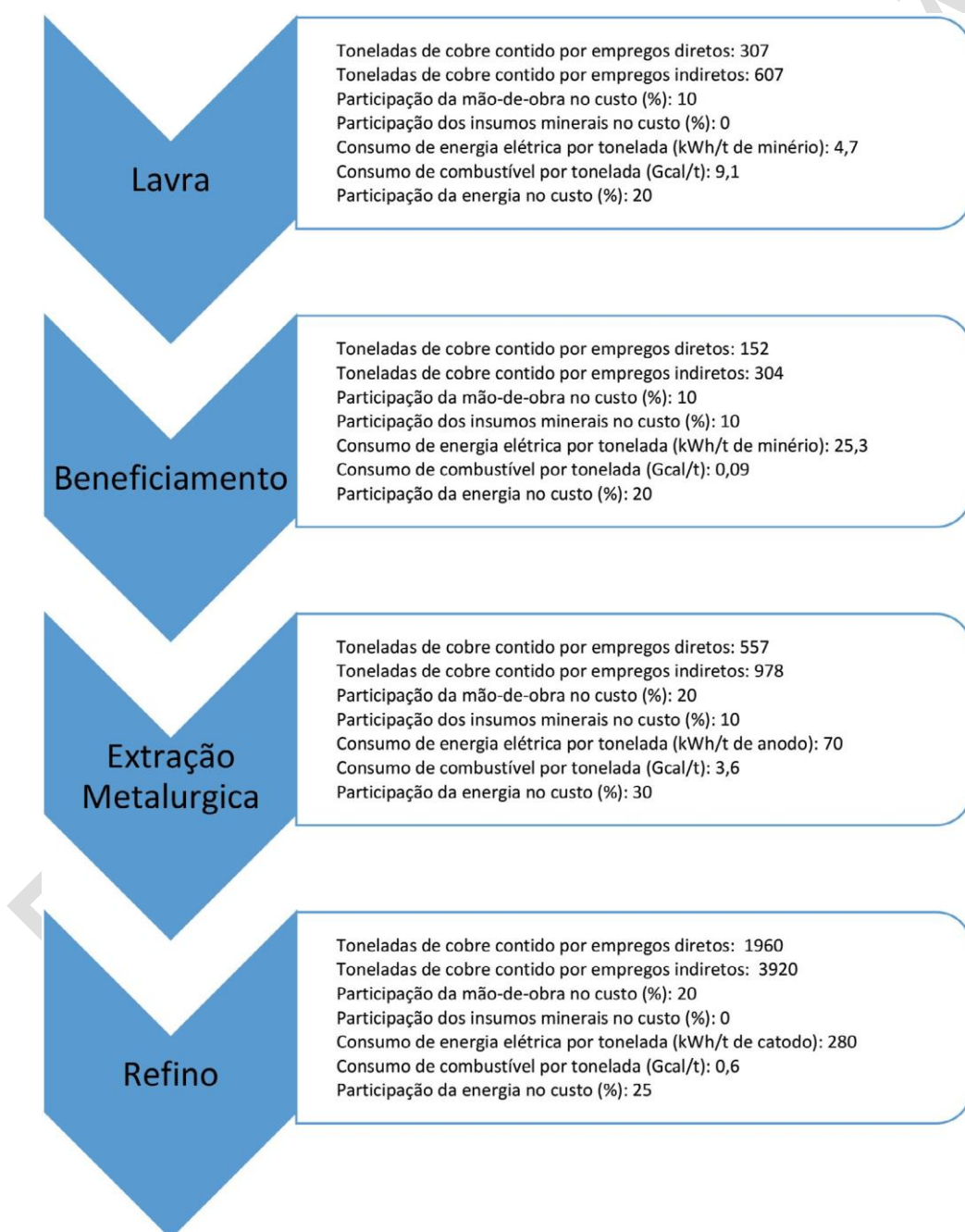


Fonte: Alcântara, E. (2022)

3.1.3.16. Análise Integrada da Cadeia Produtiva do cobre

A Figura 16 apresenta um fluxograma simplificado da cadeia do cobre, especificando, para cada etapa, estimativas médias de geração de empregos/t (diretos e terceirizados permanentes), estimativa de sua participação (%) no custo de produção, estimativa de participação (%) dos insumos minerais no custo de produção, energia elétrica (kWh/t), combustível (kcal/t) e total (tep/t) e estimativa de participação (%) no custo de produção.

Figura 16. Fluxograma simplificado da cadeia do cobre.



Lista de referências:

ABC - Anuário Brasileiro do Cobre 2022 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COBRE – ABCOBRE -disponível em : <https://www.abcobre.org.br/anuario-brasileiro-do-cobre/>

Alcântara, E. (2022) – especialista da Fundação Gorceix, para o cobre.

AMB 2011 – 2021: Anuário Mineral Brasileiro em:
<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro>

AMB - Anuário Mineral Brasileiro Principais substâncias Metálicas - 2021- disponível em : <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro>

AEC - Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Minerales 2001 – 2020 .
Disponível em:
<https://www.cochilco.cl/Paginas/Estadisticas/Publicaciones/Anuario.aspx>

Boliden – Interim Report for the fourth quarter and year-end 2021. Disponível em:
<https://www.boliden.com/investor-relations/reports-and-presentations/interim-reports>

Burns, N. ; Gauld, C. ; Alvim, M.D.; Tagami, M.: Salobo Copper-Gold Mine Carajás, Pará State, Brazil . Technical Report – Salobo III Expansion, December 31, 2021. Disponível em :
https://www.s21.q4cdn.com/266470217/files/doc_downloads/2020/03/Salobo-Technical-Report-FINAL.pdf

Ero Copper - Annual Report 2020– disponível em : <https://www.eroopper.com>

Ero Copper - Sustainability Report 2020– disponível em : <https://www.eroopper.com>

ICSG – International Study Group - The World Copper Factbook 2021- Disponível em: <https://www.icsg.org/wp-content/uploads/2021/11/ICSG-Factbook-2021.pdf>

IBGE- Informativo Econômico - [www.http//cbic.org.br/wp-content/uploads/2022/03/informativo-economico-pib-04-marco-2022.pdf](http://cbic.org.br/wp-content/uploads/2022/03/informativo-economico-pib-04-marco-2022.pdf)

IRENA (2022), World Energy Transitions Outlook 2022: 1.5°C Pathway, International Gregoir, L - Metals for Clean Energy - Pathways to solving Europe's raw materials challenge- April 2022.

Lundin Mining - Annual Reporting - Management's Discussion and Analysis For the year ended December 31, 2021. Disponível em : https://lundinmining.com/site/assets/files/8402/lundinmining_-_ye_2021_fs_mda.pdf

Moore, C. M ; Miranda, H.M.; Hampton, A.P.; Ritchie, D.G.I - Technical Report on the Chapada Mine, Goiás State, Brazil - June 30, 2019 . disponível em : https://www.lundinmining.com/site/assets/files/7957/191010_-_chapada_ni_43-101_techncial_report.pdf

Northey S.A and e Haque N - Life cycle based water footprint of selected metal production – Assessing production processes of copper, gold and nickel. CSIRO, (2013) Australia. EP137374
<https://publications.csiro.au/rpr/download?pid=csiro:EP137374&dsid=DS3>

ONU 2022: Demand for copper could increase by 213–341% by 2050, and account for up to 2.4% of global energy demand, em:
https://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/copper_demand_increase_up_to_341pc_2050_470na1_en.pdf

Paranapanema – Relatório de Sustentabilidade 2021. Disponível em : <https://ri.paranapanema.com.br/list.aspx?idCanal=0SuUd4c3B3kQ7yhZbEktQg>

Paranapanema – Guia de Modelagem 3T2021. Disponível em: <https://ri.paranapanema.com.br/list.aspx?idCanal=LidscdDVKINORyK74B87bA>

Rathmann, R (Organizador) - Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de mineração e pelotização - Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, ONU Meio Ambiente, 2017

Revista Minérios - Conterpilla apresenta caminhão elétrico com semelhante ao Trólebus, Março 2020

<https://www.revistaminerios.com.br/caminhao-mineracao-eletrico/>

Revista Mineral Dez, 2021 <https://www.brasilmineral.com.br/noticias/projeto-boa-esperanca-sera-iniciado-em-2022>

Rodriguez, P.C; Viana, B.H.C; Bergmann, P.R; Xavier, F.V.C.; Nader, B.; Ferreira Mendonça, A.F - Updated Mineral Resources an Mineral Reserves Statements of Mineração Caraiba´s Vale do Curuçá Mineral Assets, Curaçá Valley - Form 43-101F1 Technical Report ; jan.,2021. Disponível em : https://www.miningdataonline.com/reports/Curaca_Technical_report_2018.pdf

SGM/MME/PNM2050 – Oficina: Minerais para a Transição Energética- Proposta Inicial de Ações -Teleconferência 03/06/2022

Schlesinger M. E.; King, M.J.; Sole, K.C.; Davenport, W.G. - Extractive Metallurgy of Copper - Copyright _ 2011 Elsevier Ltd. All rights reserved.

USGS – US Geological Survey, 2022, Mineral commodity summaries 2022: U.S. Geological Survey, 202 p., <https://doi.org/10.3133/mcs2022>

U01 2022: United Nations Department of Economic and Social Affairs Comtrade Database. SH(4): 2603 (Copper ores and concentrates), em: <https://comtrade.un.org/data/>

Vale - Relatório Anual 2020 – disponível em : <https://www.vale.com/brasil/pt/investors/information-market/annual-reports/Paginas/default.aspx>

WMP, 2020. World Mineral Production - BRITISH GEOLOGICAL SURVEY-<https://www2.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/worldArchive.html>

PLANO NACIONAL DE MINERAÇÃO 2050

PNM 2050

CADEIA PRODUTIVA 4: LÍTIO

Caderno 3: Cadeias Produtivas dos Minerais para a Transição Energética

CADEIA PRODUTIVA 4: LÍTIO.....	105
3.1. Caracterização das Cadeias Produtivas	106
3.1.4. Cadeia Produtiva do Lítio.....	106
3.1.4.1. Polos produtivos mínero-industriais no Brasil, da Cadeia Produtiva do Lítio	109
3.1.4.2. Parque Produtivo do Lítio no Brasil.....	112
3.1.4.3. Consumo Energético, Emissão de CO ₂ , uso de Água e Geração de Resíduos.....	119
3.1.4.4. Produção do Lítio.....	120
3.1.4.5. Consumo de Lítio.....	123
3.1.4.6. Importações de Lítio.....	124
3.1.4.7. Exportações de Lítio.....	125
3.1.4.8. Porte das Empresas e Geração de Empregos do Lítio	127
3.1.4.9. Porte dos Projetos de Extração de Lítio	128
3.1.4.10. Porte de Investimento nos Projetos de Extração e de Aplicação do Lítio	129
3.1.4.11. Projeções do Lítio até 2050, em 3 Cenários Hipotéticos	131
3.1.4.12. Usos e Aplicações do Lítio	133
3.1.4.13. Padrão Tecnológico da Cadeia do Lítio.....	134
3.1.4.14. Análise Integrada da Cadeia Produtiva do Lítio.....	136
3.1.4.15. Recomendações e Conclusões sobre a Cadeia Produtiva do Lítio	136

3.1. Caracterização das Cadeias Produtivas

3.1.4. Cadeia Produtiva do Lítio

O lítio é um metal macio, branco prateado e pertence ao grupo de metais alcalinos da tabela periódica (família 1A e 2º período). Na natureza, o lítio ocorre apenas em compostos, devido à sua alta reatividade. É o metal mais leve, com uma densidade aproximadamente igual à metade da densidade da água (0,534 gramas por centímetro cúbico). Como os demais metais alcalinos, é monovalente e bastante reativo. Por esse motivo, não é encontrado livre na natureza.

O Chile tem as maiores reservas conhecidas de lítio do mundo, com uma estimativa de 9,2 milhões de toneladas em 2021. A Austrália fica em 2º lugar, com reservas de 5,7 milhões de toneladas (USGS, 2022). O Brasil, embora não tenha reservas de apenas 470 mil toneladas (USGS, 2022), foi o 5º maior produtor de lítio do mundo em 2020.

Prevê-se que em 2025, o volume do mercado global de lítio será o dobro daquele de 2017. Em 2021, em todo o mundo, as baterias foram os bens manufaturados que tiveram o maior consumo de lítio como insumo (74%) e o aumento na demanda por baterias continuará sendo um forte impulsionador do consumo de lítio no futuro próximo, tendo em vista que a tecnologia de baterias de íons de lítio é usada na produção de veículos elétricos.

Além desta, o lítio e seus compostos têm diversas aplicações industriais, incluindo vidros e cerâmicas e ligas com elevada resistência específica utilizadas em componentes de aeronaves e outras estruturas que requerem a combinação de resistência mecânica com baixo peso. A abrangência das aplicações do lítio é muito ampla; de aplicações nos setores militar, metalúrgico, de cerâmicas a lubrificantes e medicamentos. (Kogel, 2006)

Aplicações militares

O lítio metálico e alguns hidretos, como o Li(AlH)_4 são utilizados como aditivos energéticos nos propelentes de foguetes. O hidreto de alumínio pode ser utilizado, também, como combustível sólido e, nas bombas de hidrogênio enquanto auxiliar de detonação de uma bomba atômica.

Cerâmicas e vidrarias

O óxido de lítio é um fundente usado para o processamento do dióxido de silício, reduzindo o ponto de fusão e a viscosidade do material, conduzindo à melhoria de propriedades físicas de cerâmicas como, p.ex. os baixos coeficientes de expansão térmica. O óxido de lítio, também, é um dos materiais para a fabricação de acessórios de cozinha.

Graxas lubrificadas

O 3º maior consumo de lítio está nas graxas. O hidróxido de lítio é uma base forte e, quando aquecido com uma gordura, saponifica-se em um composto de estearato de lítio. Este sabão tem a capacidade de engrossar os óleos e, por isso, é um lubrificante muito útil na indústria, em especial para uso em altas temperaturas.

Indústria Elétrica e Eletrônica

Nos últimos anos do século XX, por causa de seu alto potencial de eletrodo, o lítio veio a se tornar um componente dos eletrodos das baterias. Uma bateria de íons de lítio típica pode gerar aproximadamente 3 volts por célula, comparado com 2,1 volts para a bateria de ácido (chumbo) ou 1,5 volts de células de zinco-carbono. As baterias de íons de lítio, que são recarregáveis e tem uma alta densidade energética, não podem ser confundidas com as pilhas de lítio, que são baterias primárias descartáveis. Outras baterias recarregáveis que utilizam o lítio incluem a bateria de polímero de lítio, bateria Beltway e as baterias de nano fios.

Indústria Nuclear

O lítio é o elemento fonte para a produção de trítio e como absorvedor de nêutrons nas fusões nucleares.

Medicamentos

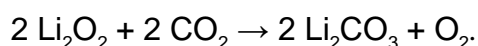
O lítio é utilizado no tratamento do transtorno bipolar. Os sais de lítio também podem auxiliar para casos de diagnósticos relacionados à depressão nervosa. A parte ativa destes sais é o íon do lítio Li^+ .

Metalurgia

Quando utilizado como um fundente para a solda ou para brasagem, o lítio metálico facilita a fusão dos metais durante o processo. Na purificação de ligas a eliminação das impurezas se dá pela formação de óxidos (escória).

Purificação do ar

O cloreto de lítio e o brometo de lítio são higroscópicos e são utilizados como dessecantes nas correntes gasosas. O hidróxido de lítio e o peróxido de lítio são os sais mais utilizados nas áreas fechadas, como nas naves espaciais e nos submarinos para remover o dióxido de carbono e na purificação de ar. O hidróxido de lítio absorve dióxido de carbono do ar transformando em carbonato de lítio. O peróxido de lítio (Li_2O_2) não somente reage com o dióxido de carbono para produzir o carbonato de lítio, mas também produz oxigênio. A reação é descrita abaixo:



Alguns dos compostos mencionados, como também o perclorato de lítio são utilizados na purificação de oxigênio utilizados nos submarinos. Estas podem também incluir pequenas quantidade de boro, magnésio, alumínio, silício, titânio, manganês e o ferro.

Óptica

O cristal de fluoreto de lítio é limpo e translúcido e, por isso, é utilizado em óptica para transmitir raios infravermelhos e ultravioletas. Ele tem um dos menores índices de refração para esses comprimentos de onda e a sua eficiência na transmissão dos raios infravermelhos e ultravioletas é maior se comparado com outras substâncias conhecidas.

Química orgânica e dos polímeros.

Os compostos de organolítio são extensamente utilizados na produção de polímeros e na química fina. Para a síntese de produtos de alto valor agregado, os compostos organolíticos funcionam como uma base forte e como reagentes para a formação de ligações carbônicas. Os compostos de organolítio são preparados a partir do lítio metálico e haletos de alquila. Outros compostos de lítio são utilizados como reagentes para produzir compostos orgânicos, incluindo os hidretos de alumínio e lítio (LiAlH_4) e os hidretos de etil de boro e lítio ($\text{LiBH}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$).

3.1.4.1. Polos produtivos mínero-industriais no Brasil, da Cadeia Produtiva do Lítio

Panorama da indústria do Lítio no Brasil (Santos, 2020)

“A indústria de lítio no Brasil teve início entre as décadas de 1940 e 1950, com a criação da Orquima Indústria Química, cujo objetivo era o beneficiamento de areia monazítica. Nos anos seguintes, teve início a produção de carbonato de lítio a partir do processamento de amblygonita. Em 1958, a partir desse carbonato, iniciou-se a produção de hidróxido de lítio (cerca de 12-15 t/mês), além de outros produtos, como cloreto e fluoreto de lítio (BRAGA; FRANÇA; SANTOS, 2010).

O esforço desenvolvido para fornecimento de metais necessários à vitória dos Aliados durante a Segunda Guerra Mundial levou à lavra de mais de 400 pegmatitos de lítio somente no Nordeste brasileiro. Com o fim da II Guerra em Minas Gerais permaneceu uma atividade mineral com exploração regular de minérios de lítio, respondendo por quase toda a produção nacional.

No campo do desenvolvimento industrial e tecnológico, uma das principais razões pelo insucesso no desenvolvimento da produção de compostos de lítio no Brasil, nas décadas de 1960 e 1980, foi a dificuldade de abastecimento de matéria-prima mineral, pela depreciação das instalações industriais e problemas ambientais encontrados em suas unidades de processamento. Investimentos do Governo Federal brasileiro, na tentativa de desenvolver uma indústria de sais de lítio autônoma, permitiram, em 1967, a criação do sistema CNEN-NUCLEBRÁS-NUCLEMON.

A partir de 1979, a produção recuou, devido à dificuldade de obtenção da matéria-prima amblygonita e falta de capital para investimentos na modernização, além de indefinições políticas. Com o passar dos anos, esses fatores levaram à paralisação total das atividades em meados de 1987. Atualmente, a Agência Nacional de Mineração - ANM, criada em 2017 por meio da Lei Nº 13.575/2017, é responsável pela outorga e fiscalização das concessões minerais no país, exceto hidrocarbonetos e substâncias nucleares. O órgão assumiu as funções exercidas pelo Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, criado em 1934, vinculado ao Ministério de Minas e Energia (DNPM, 2018). O índice apresentado de produção mineral, referente ao segundo semestre de 2017, mostra um aumento na proporção da capacidade instalada ocupada para extração de lítio. Essa expansão proporcionou à CBL um acréscimo de 8.519 t

de espodumênio concentrado, com teor médio de 5,3% de Li_2O . No geral, 5% de concentrados são disponibilizados para fabricantes de lubrificantes e cerâmicas, enquanto que 86% são utilizados na produção de compostos químicos: 65% para hidróxido de lítio mono-hidratado e 28% para carbonato de lítio seco, entre os diversos derivados de lítio existentes.”

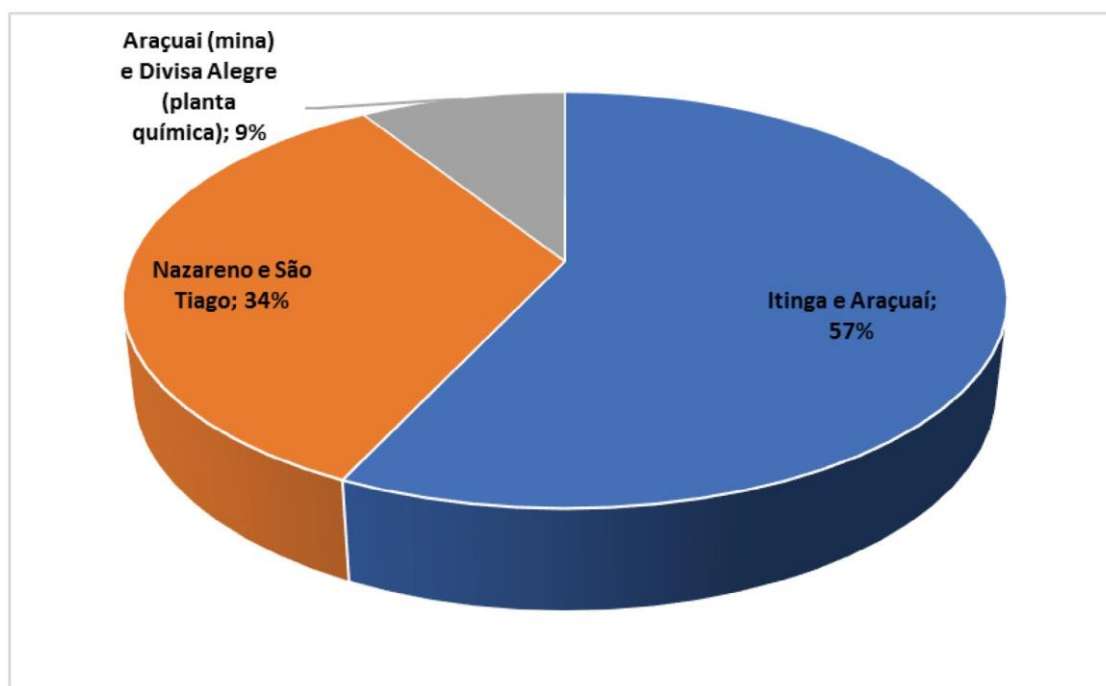
A Tabela 1 lista os polos produtivos no Brasil da cadeia produtiva do lítio, em 2022, com município e estado, e empresas produtoras (Tabela 1 e Figura 1). A produção brasileira de lítio se concentra no estado de Minas Gerais (MG), nos municípios de Itinga, Araçuaí, Nazareno, São Tiago, e Divisa Alegre. As empresas que operam na cadeia produtiva do lítio são a AMG Mineração, a Companhia Brasileira de Lítio (CBL) e a Sigma Mineração com previsão de atingir percentuais de participação de 34%, 9% e 57%, respectivamente, da produção brasileira. A capacidade de produção brasileira de concentrado de lítio (sem considerar produtos como carbonato e hidróxido de lítio) deverá alcançar cerca de 386 mil toneladas, no ano de 2022.

Tabela 1. Polos produtivos de lítio no Brasil em 2022.

Estado	Município	Empresa	Produtos	Capacidade (t)	Capital Nacional (%)	Capital Externo (%)	Percentual da Produção Nacional
MG	Itinga e Araçuaí	Sigma Mineração	Concentrado de Lítio	220.000	-	100%	57%
MG	Nazareno e São Tiago	AMG Mineração	Concentrado de Lítio	130.000	-	-	34%
MG	Araçuaí (mina) e Divisa Alegre (planta química)	CBL	Concentrado de Lítio (Hidróxido de Lítio, Carbonato de Lítio em menores volumes)	36.000	100%	-	9%
TOTAL				386.000			

Fonte: Statista, (2022).

Figura 1. Polos produtivos de lítio no Brasil , localização e proporção da produção, em 2022.



Fonte: Statista, (2022).

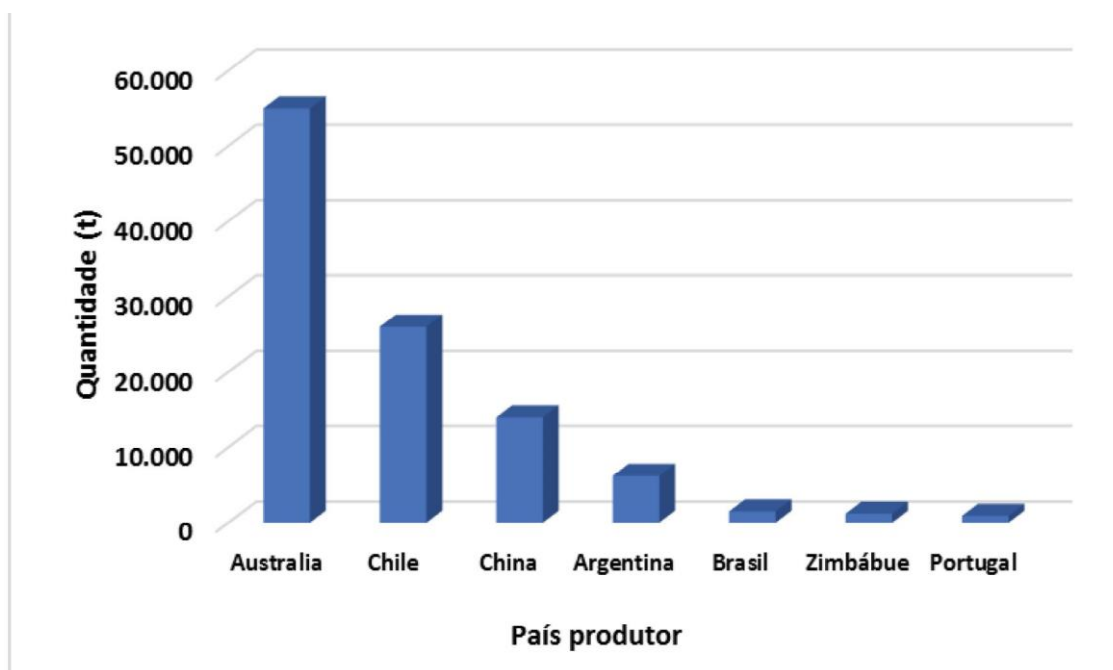
A produção de lítio no Brasil em 2021 o colocou na 5ª posição do ranking (Tabela 2 e Figura 2).

Tabela 2. Ranking dos principais países produtores de óxido de lítio, no ano de 2021, em toneladas de óxido.

Colocação/País	Produção (toneladas)
1° - Austrália	55.000
2° - Chile	26.000
3° - China	14.000
4° - Argentina	6.200
5° - Brasil	1.500
6° - Zimbábue	1.200
7° - Portugal	900

Fonte: Statista, (2022).

Figura 2. Ranking dos principais países produtores de óxido de lítio, no ano de 2021, em toneladas de óxido.



Fonte: Statista, (2022).

O principal produtor de lítio no mundo é a Austrália, com 52,5% da produção em 2021, com 55.000 toneladas de Li_2O . O Chile e a China ficaram em segundo e terceiro lugar, com 26.000 e 14.000 toneladas, respectivamente. A Austrália extrai o lítio principalmente do mineral espodumênio, e possui a maior mina de lítio de rocha dura do mundo.

A produção de lítio no Chile, por outro lado, é derivada de salmouras que são bombeadas do subsolo para lagoas de evaporação no deserto de Atacama. Graças aos seus depósitos de salmoura ricos em lítio, o Chile responde por uma parcela significativa das reservas mundiais. Embora a China esteja entre os principais produtores de lítio, também é o principal consumidor. O país atualmente lidera a produção de baterias de íons de lítio.

3.1.4.2. Parque Produtivo do Lítio no Brasil

Tecnologia mineral nacional

A disponibilidade de jazidas brasileiras e a necessidade de desenvolvimento da tecnologia industrial nacional, relativa aos diferentes produtos do lítio, requerem capacitar a indústria de transformação do mineral como um todo, viabilizando os

setores de interesse estratégico direto através do fortalecimento do mercado. (Santos, 2020).

Na planta química da CBL, o espodumênio concentrado passa pelas etapas de secagem e separação magnética antes de entrar em um forno para ser decriptado, após o que é moído, recebendo ácido sulfúrico para extração química do lítio.

Em um segundo setor, o mineral é purificado e concentrado. Nessa fase, são produzidos o silicato de alumínio (setor de plásticos e tintas) e o sulfato de sódio anidro, entre outros. Para a viabilização do desenvolvimento da tecnologia de extração, considerada estratégica, é imprescindível o apoio do governo mediante o controle de importações, efetuado pela CNEN, de modo a direcionar o produto nacional para o mercado externo. Vale lembrar que, há alguns anos, esse apoio incluiu, por força de regulamento presidencial, um compromisso por parte das empresas, com as condições de exploração da mina e de vida dos trabalhadores, qualidade e preço do produto. A CNEN efetua um controle efetivo sobre a CBL para aferir o desenvolvimento da tecnologia e produção do lítio no país. Relatórios geológicos emitidos pela CNEN mostram que a CBL é um empreendimento estratégico para o setor mineral com resultados qualitativos em termos de evolução de produto e atendimento do mercado nacional. (Santos, 2020).

As reservas brasileiras de pegmatitos litiníferos contendo espodumênio, no Vale do Jequitinhonha/MG, conhecidas há dezenas de anos, sempre foram consideradas um potencial de extraordinário valor a ser aproveitado economicamente pelo país, sendo portadoras de feldspato, minerais de lítio de diversos tipos, entre outros. Tal cenário, entretanto, passou por uma modificação profunda após a implantação do Projeto Lítio, pela CBL, Província Pegmatítica Oriental do Brasil. (Santos, 2020)

Panorama da indústria do lítio em Minas Gerais no período 2021 – 2026

Destaques da imprensa especializada em negócios descrevem um panorama muito animador para o setor da cadeia produtiva do lítio em Minas Gerais. Os recortes a seguir resumem o cenário. (Bouças, 2021; Marchetti, 2022)

“A AMG Mineração fechou contrato de venda antecipada de 200 mil toneladas de concentrado de lítio para os próximos cinco anos, que financiará a expansão

da mina Volta Grande, entre os municípios de Nazareno e São Tiago, na região Central de Minas Gerais. O acordo foi fechado pela subsidiária brasileira do grupo sediado em Amsterdã, a AMG Brasil, baseado na produção de 40 mil toneladas/ano. “A planta de concentrado de lítio existente da AMG Brasil está produzindo dentro de sua capacidade nominal e seus custos de produção estão em linha com projeções anteriores.” (CEO da AMG, Heinz Schimmelbusch, em comunicado à imprensa).

“Este Acordo de Cooperação e a expansão associada representam o compromisso contínuo da AMG Brasil em investir e aumentar sua presença no Estado de Minas Gerais”, completou o CEO da AMG Brasil, Fabiano Costa, no mesmo comunicado.

A AMG Mineração assinou protocolo de intenções com o governo de Minas no final de 2019, anunciando R\$ 838,9 milhões em investimentos. Conforme divulgado à época, o montante contemplaria a implantação de uma unidade de beneficiamento de Espodumênio, Planta Química de Lítio, produção de ligas de Estanho e concentrado de Tântalo e Feldspato nas cidades de Nazareno e São Tiago. Cerca de 220 empregos estão previstos.

Em março de 2021, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) comunicou o financiamento de R\$ 221 milhões para o projeto, enfatizando que a planta reaproveita rejeitos existentes de duas antigas barragens construídas a montante, além de novos rejeitos gerados pela produção de tântalo.

Ainda conforme o BNDES, o projeto deve aumentar em dez vezes a produção nacional de concentrado de lítio, insumo de alto valor agregado e crescente demanda internacional, a partir da utilização em baterias de veículos elétricos. A planta tem capacidade de produção de 90 mil toneladas de concentrado de lítio, material de alta pureza aplicado em dispositivos de armazenagem de energia e que vem se destacando em relação a outros elementos quanto à durabilidade, ao peso e a seu custo relativo. “As instalações devem apresentar perfil de custos competitivos em relação aos fornecedores internacionais, contribuindo para posicionar o País como fornecedor do insumo, cuja expectativa de crescimento do mercado é de 14% ao ano até 2025”, consta no documento da instituição federal de fomento.

Minas Gerais possui importantes projetos relacionados à cadeia do lítio. A Sigma Mineração, por exemplo, tem um projeto de produção e beneficiamento no Vale do Jequitinhonha, por meio do complexo Grotta do Cirilo, que prevê a produção de 220 mil toneladas de concentrado de lítio grau bateria ao ano, a partir das minas localizadas nos municípios de Itinga e Araçuaí e planta em Itinga, apenas na primeira fase. A estimativa é de que a construção da unidade consuma US\$ 74 milhões.

Há também a instalação da primeira fábrica de células de bateria de lítio-óxido de mundo, em Juiz de Fora (Zona da Mata), que recebeu o nome de Oxis Brasil. A iniciativa tem à frente a Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (Codemge) e a empresa britânica Oxis Energy. Com investimentos de aproximadamente R\$ 245 milhões, as operações deverão ter início no ano de 2023.

Um grupo de oito empresas do Vale do Silício vai instalar no aeroporto industrial localizado em Confins, na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), o Colossus Cluster Minas Gerais, voltado para a produção de baterias de lítio, componentes e veículos elétricos, mediante investimentos de US\$ 3,5 bilhões nos próximos anos. As obras de instalação ocorrerão no segundo semestre de 2021 e as operações estão previstas para 2022.

Em parceria com a prefeitura de Nova Lima e CSul Desenvolvimento Urbano, a Bravo Motor Company anuncia a produção do primeiro sistema de veículos elétricos para o transporte público do estado, dentro do maior projeto de desenvolvimento urbano da América Latina.

Com um investimento superior a R\$ 25 bilhões, o empreendimento irá gerar mais de 10 mil empregos diretos e colocará o estado de Minas Gerais no mapa do desenvolvimento da economia sustentável. Para o CEO da Bravo Motor Company, Eduardo Javier Muñoz, “Nossa escolha por investir em Minas Gerais tem muita relação com o posicionamento do Estado como polo de atração de investimentos, inovação e tecnologia. Temos encontrado um ecossistema muito propositivo e de muita ajuda que tem facilitado os processos. O Brasil, pelo tamanho do mercado interno, já era um dos mercados almejados por nossas empresas na América Latina, e Minas se destacou por estes e outros motivos, como a própria cadeia automotiva que abriga”.

O início das obras está previsto para o quarto trimestre de 2021, enquanto o começo da produção deve ocorrer a partir do primeiro trimestre de 2023. A instalação do Parque Industrial Colossus Cluster ocorrerá na região noroeste da cidade de Nova Lima, próximo à BR-040, uma das principais rodovias do país. A área onde a fábrica será implantada faz parte do Masterplan do Projeto CSUL Lagoa dos Ingleses.

Para o prefeito de Nova Lima, João Marcelo Dieguez, o acordo representa um marco na história do município e do estado. “Temos pautado todas as nossas ações no diálogo, na inovação e na integração. Essa parceria contempla tudo isso, considerando que estamos trazendo para nossa cidade uma empresa que possui uma proposta totalmente sustentável, inovadora e que oferece também uma solução para um dos nossos principais desafios, que é a mobilidade urbana”, explica.

Ao fomentar o alinhamento dos conceitos de desenvolvimento urbano humano, inteligente, criativo e sustentável, a CSul comemora a criação do parque industrial na região. “A fabricação de carros elétricos para transporte dentro do projeto CSUL Lagoa dos Ingleses vem para consolidar o nosso conceito de Cidade Inteligente, utilizando a tecnologia para transformar a vida das pessoas, além de fomentar o crescimento econômico, sem abrir mão da sustentabilidade, um dos principais pilares do projeto CSul”, destaca Maury Bastos, presidente da empresa.

O parque prevê a fabricação de veículos e motores elétricos, células e packs de baterias, sistemas de armazenamento, dentre outros equipamentos utilizados no transporte compartilhado. Os veículos elétricos produzidos no Colossus Cluster Nova Lima terão como principal aplicação o transporte compartilhado, podendo ser produzidos diversos modelos, dentre eles, ônibus, vans e taxis para transporte de pessoas e logística de e-commerce. Utilizarão tecnologia de última geração, tais como algoritmos de Inteligência Artificial, proporcionando maior conforto, agilidade e segurança aos usuários.

A infraestrutura contará com o Sistema Bondi que utiliza fontes de energia renováveis, sem causar impactos ao meio ambiente. Trata-se de uma estrutura aérea, de baixo custo, quando comparada a outros sistemas de transporte público, que ocupa pouco espaço e é capaz de gerar energia para seu próprio consumo, além de fornecer o excedente produzido para utilização do município.

Já há a intenção de expansão futura do Sistema Bondi, ligando o centro histórico de Nova Lima à Lagoa dos Ingleses, em uma extensão de 28 km dentro do território municipal.

Sobre o Projeto CSUL

Criada em 2014, a CSUL Desenvolvimento Urbano é uma holding que está implementando o projeto CSUL Lagoa dos Ingleses, um projeto inovador de desenvolvimento urbano planejado, integrado e sustentável, liderando o desenvolvimento econômico no vetor sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

Por meio do desenvolvimento e do fomento econômico, a CSUL promove a diversificação econômica do vetor sul, criando um polo de atração de novos negócios, com reflexos em toda a economia mineira.

Localizado no entorno da Lagoa dos Ingleses, em Nova Lima e com assinatura do renomado urbanista Jaime Lerner, o projeto CSul segue os conceitos do novo urbanismo e irá desenvolver a região com novos bairros planejados, empreendimentos residenciais, comerciais, industriais, culturais e de lazer pautados pela sustentabilidade.

O Masterplan do projeto CSUL Lagoa dos Ingleses está alinhado com o Plano Diretor de Nova Lima, que tem como objetivo definir o crescimento da cidade para os próximos anos, visando ordenar o seu desenvolvimento econômico e social, de modo que integre todas as regiões do município, levando em consideração as características de cada lugar e a preservação do meio ambiente. Também está inserido no âmbito estadual, por meio do Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte (PDDI-RMBH).

O BVMI confirmou que a Bravo Motor Company (ArqBravo Group), concluiu seu protocolo de intenções com o governo de Minas Gerais para implantar uma fábrica de veículos elétricos e packs de baterias na região metropolitana de Belo Horizonte. (Bouças, 2021)

Agora a companhia está em busca de linhas de financiamento para colocar o projeto em prática e também toda a previsão de investimentos no Estado, até o momento projetados em R\$ 25 bilhões.

Em dezembro de 2020, Licio Melo, especialista em vendas industriais e coordenador do Projeto OObi, já havia confirmado com Thiago Toscano, presidente da Agência Mineira de Promoção de Investimentos e Exportações e Eduardo Muñoz CEO da Bravo Motor Company (BMC), a assinatura do acordo do projeto “Cluster Colossus Minas Gerais”.

Segundo Licio, o projeto da gigafábrica será a primeira a estabelecer três clusters no Brasil com capacidade de 35 GWh para cada unidade, e que muitos clientes que utilizam o Projeto OObi já estão prospectando e trabalhando para integrar a cadeia de fornecedores que farão parte do investimento desde o primeiro semestre de 2020.

Nos estudos preliminares o primeiro de três clusters, já tinha definido como investimento o start de US\$ 3.5 Bilhões, com a previsão de criar 7 mil empregos diretos. No total, serão gerados cerca de 21 mil empregos. De acordo Eduardo Muñoz, cerca de 70% a 80% dos recursos deverão ser captados diretamente com investidores estrangeiros. A ArqBravo Group é uma empresa criada em 2008 na Argentina e que desde 2012 está sediada na Califórnia, nos Estados Unidos e está registrada no Brasil como Bravo Motor Company. (Bouças, 2021)

A empresa se apresenta como uma companhia limitada, fundada a partir do crowdfunding de 750 investidores de 20 países. De acordo com Muñoz, esses investidores farão aportes na operação do Brasil. O grupo industrial afirma deter patentes de células de baterias e packs de baterias de lítio para veículos elétricos e painéis solares, além de ter desenvolvido projetos de veículos elétricos. Embora exista há 12 anos, a empresa ainda não gera receita. “A Tesla levou 11 anos para começar a gerar receita. Nós já superamos a fase de maior risco, que é de desenvolver as tecnologias”, comentou Muñoz. De acordo com o executivo, a companhia também buscará aportes de investidores locais para tocar o projeto em Minas. “Precisamos de investidores locais para ter sucesso. Vamos buscar investidores brasileiros interessados no projeto para fazer uma captação de US\$ 50 milhões. Queremos ficar no país no longo prazo, com a colaboração de parceiros locais”, afirmou Muñoz. A empresa assinou um protocolo de cooperação com a Agência Brasileira de Promoções de Exportações e Investimentos (Apex), para apoiar as ações da empresa.

O executivo disse ainda que negocia ainda a obtenção de crédito junto ao BNDES e ao BDMG. Muñoz afirmou ainda que mantém conversas com a AMG Mineração, subsidiária da holandesa Advanced Metallurgical Group e a CBMM para garantir o fornecimento de lítio para a produção das baterias. A empresa também mantém conversas com a Cemig na área de energia solar.

As vendas, de acordo com informações do executivo e o planejamento comercial da nova companhia, terão como destino empresas europeias inicialmente. A estimativa da empresa é que a primeira unidade comece a operar em 2023. A produção estimada para 2024 é de 22.790 unidades de veículos e 43.750 de unidades de packs de baterias.

Ainda de acordo com Licio Melo, em conversa com **Miguel Angel Bravo**, Chairman do grupo, a intenção é que o projeto seja instalado na unidade no **pólo industrial** do aeroporto internacional de Belo Horizonte. De acordo com o executivo, a ideia foi originalmente concebida para a Argentina, aproveitando suas **capacidades industriais** e o potencial do lítio, mas a falta de um marco regulatório e de sinalizações de sucessivos governos fez com que a **empresa migrasse** para a Califórnia, nos Estados Unidos, de onde atualmente executa suas **operações globais**. A companhia já oferece serviços no Brasil com frota de **1,1 mil carros** elétricos no estado do Pará e agora, busca intensificar suas atividades no país acabando de **registrar seu CNPJ**.”

3.1.4.3. Consumo Energético, Emissão de CO₂, uso de Água e Geração de Resíduos

Os Riscos da extração de lítio

Estima-se que haja cerca de 39 milhões de toneladas de lítio no planeta Terra, das quais apenas cerca de um terço está na forma que permite extração. Cerca de 87% deste lítio extraível está em águas salgadas, enquanto a percentagem restante está em depósitos minerais de rocha dura.

Como qualquer outra operação de mineração, a extração do lítio tem impacto no ambiente: danos paisagísticos e poluição devem ser previstos e mitigados, quando não puderem ser evitados.

Os processos extrativos a céu aberto, como é o caso de muitas das propostas apresentam graves risco para o ambiente e para os ecossistemas, de onde se destacam:

- Forte interferência na paisagem natural, com impactos diretos na memória coletiva das populações;
- Interferência nos ecossistemas quer através da destruição direta de habitats, quer através do procedimento/processos de extração, tratamento e transporte do minério;
- Liberação de partículas em grandes quantidades sobre a vegetação envolvente num grande raio de influência, bem como sobre as populações vizinhas das zonas de mineração;
- Impacto sobre os sistemas de aquíferos e linhas de água superficiais, com prejuízo para as culturas e capacidade de suprimento de água para a agricultura;
- Emissões de ruído elevadas com forte perturbação e impacto da matriz sonora da região;
- Sobrecarga de veículos pesados nas estradas nacionais, regionais e aumentando as emissões de poluentes no interior das cidades e vilas, poluição sonora e vibrações;
- Efeito cumulativo dos problemas anteriores, devido à sobre carga de explorações sob uma região.

Devido à indisponibilidade de relatórios de sustentabilidade dos produtores de lítio no Brasil, não são aqui listados dados específicos sobre consumo energético, emissão de CO₂, tecnologias de tratamento de gases, grau de automação, utilização de água e geração de resíduos, da cadeia produtiva brasileira do lítio. Por tratarem-se de informações estratégicas para a competitividade, pode ser este o motivo da não disponibilização pública dos dados.

3.1.4.4. Produção do Lítio

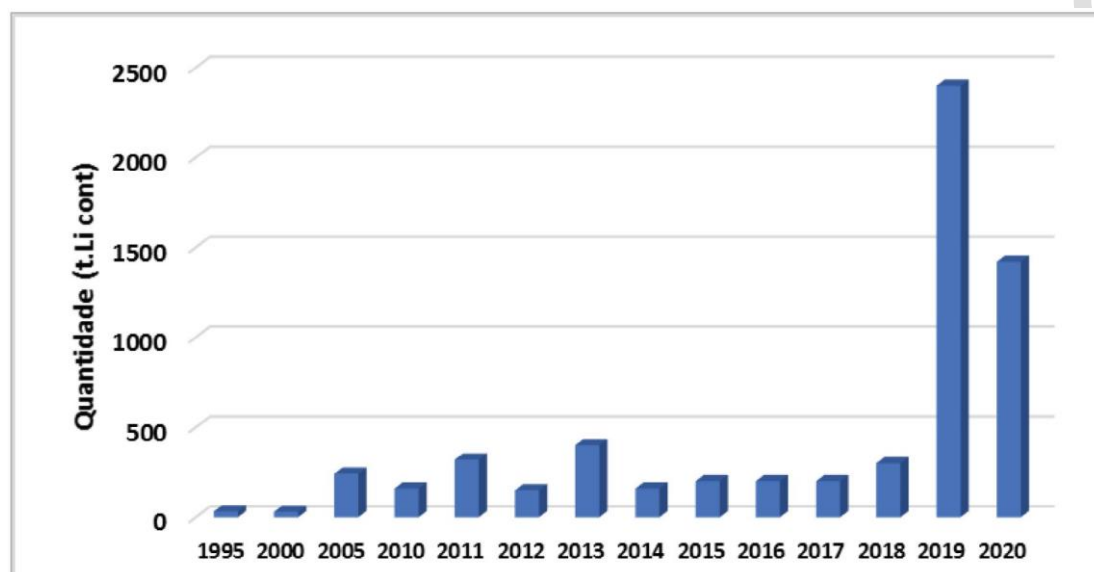
A produção de lítio no Brasil de 1995 até 2020, é mostrada na Tabela 3, no gráfico da Figura 3, com os totais consolidados para o país.

Tabela 3. Produção brasileira de óxido de lítio (em Li contido) de 1995 até 2020.

Estado	Produção (t de Li contido)													
	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
MG	32	30	242	160	320	150	400	160	200	200	200	300	2.400	1.420

Fonte: USGS*, (1996 a 2022). *Não há dados anteriores a 1994.

Figura 3. Produção brasileira de lítio (Li contido), de 1995 até 2020.



Fonte: USGS, (2011-2022).

A partir de 1995, a produção aumenta de 32 toneladas de óxido de lítio contido, para 400 toneladas em 2013, chegando a 1.420 toneladas em 2020.

Com uma ampla variedade de aplicações, que vão desde produtos farmacêuticos, a componentes eletrônicos. O lítio se tornou um recurso crítico, principalmente pelas suas aplicações em dispositivos de armazenamento de energia. O principal uso final desse metal é em baterias de íons de lítio, encontradas em eletrônicos portáteis e veículos elétricos em todo o mundo, assim como em acumuladores de energia integrados a sistemas de geração de energia intermitente, principalmente fotovoltaica e eólica.

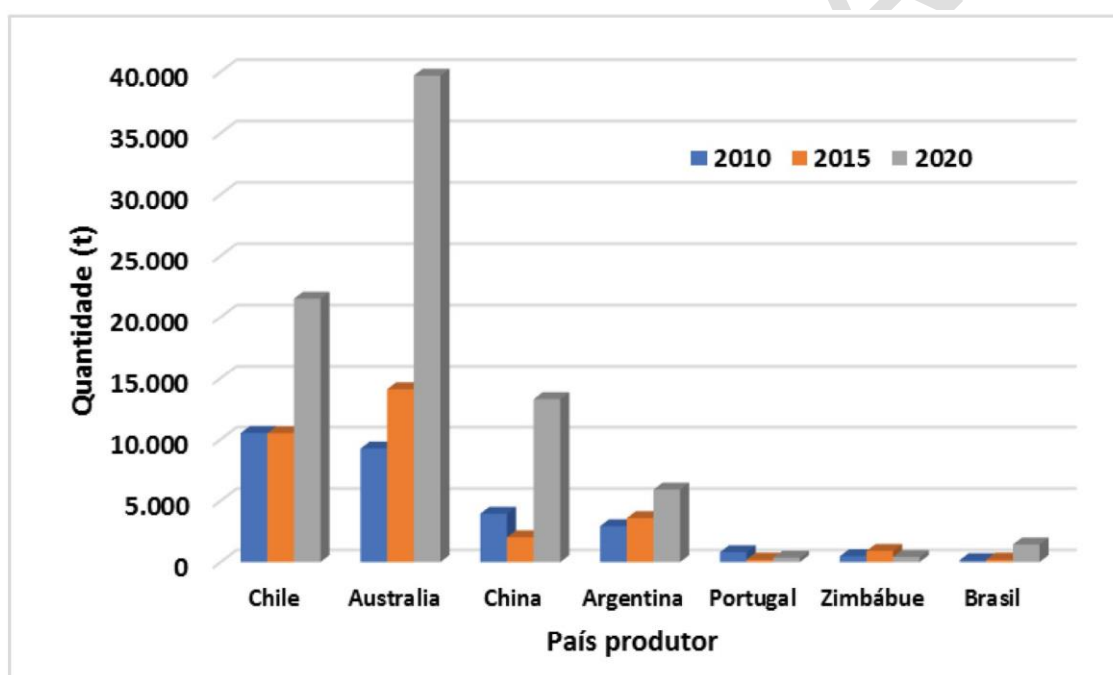
No ano de 2020, o Brasil se coloca na 5ª posição no ranking de maiores produtores de lítio e a Tabela 4 e Figura 4 mostram a evolução neste ranking.

Tabela 4. Ranking dos principais países produtores de lítio, nos anos de 2010, 2015 e 2020, em toneladas de Li contido.

Colocação País 2010	Produção (toneladas)	Colocação País 2015	Produção (toneladas)	Colocação País 2020	Produção (toneladas)
1° Chile	10.510	1° Austrália	14.100	1° Austrália	39.700
2° Austrália	9.260	2° Chile	10.500	2° Chile	21.500
3° China	3.950	3° Argentina	3.600	3° China	13.300
4° Argentina	2.950	4° China	2.000	4° Argentina	5.900
5° Portugal	800	5° Zimbábue	900	5° Brasil	1.420
6° Zimbábue	470	6° Brasil	200	6° Zimbábue	417
7° Brasil	160	7° Portugal	200	7° Portugal	348

Fonte: USGS, (2011-2022).

Figura 4. Principais países produtores de lítio, nos anos de 2010, 2015 e 2020, em toneladas de Li contido.



Fonte: USGS, (2011-2022).

Desde 2010, Chile e Austrália são os dois principais países com extração de lítio no mundo, na primeira ou na segunda posição do ranking global. Destaca-se também a presença da Argentina entre os principais produtores, trocando de posição com a China entre o 3° e 4° posição no ranking global. O Brasil sempre permanece entre os 6 principais países na extração global de lítio.

3.1.4.5. Consumo de Lítio

O consumo de lítio no Brasil, há muitos anos, ocorre primordialmente sob as formas de concentrado mineral e de compostos de lítio. Em relação ao consumo de concentrados minerais, as empresas consumidoras que produzem vidros, cerâmicas especiais e esmaltes para vitrificação (fritas) submetem os concentrados apenas à calcinação e moagem. Os minerais mais utilizados para esse fim são o espodumênio, a lepidolita e a petalita (Santos, 2020).

Segundo Warner (2015), o lítio pode ser comercializado e utilizado sob três formas básicas: como minério/concentrado, como metal ou na forma de composto químico, conforme apresentado na Tabela 3. (Santos, 2020)

Em relação aos produtos com níveis elevados de tecnologia agregada (produtos químicos, ligas leves, etc.), o Brasil não se apresenta como consumidor relevante e, por isso, não ocupa posição destacada no ranking dos principais países consumidores. (Tabela 5 e Figura 5).

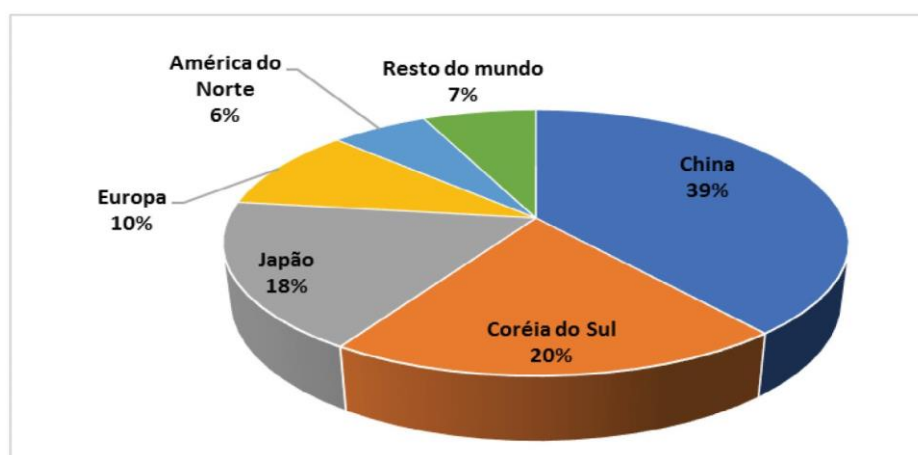
O principal consumidor, em 2019, foi a China, com 39% do consumo global de lítio, seguido por Coréia do Sul com 20%, e Japão com 18%. A Europa e a América do Norte são responsáveis por 10% e 6%, respectivamente, do consumo global, e o Brasil está junto com o restante do mundo, com 7% do consumo global.

Tabela 5. Ranking dos principais países consumidores de lítio em 2019.

País/Região	Percentual do Consumo de Lítio
1° China	39%
2° Coréia do Sul	20%
3° Japão	18%
4° Europa	10%
5° América do Norte	6%
7° Resto do mundo	7%

Fonte: Statista, (2022)

Figura 5. Principais consumidores de lítio em 2019.



Fonte: Statista, (2022)

3.1.4.6. Importações de Lítio

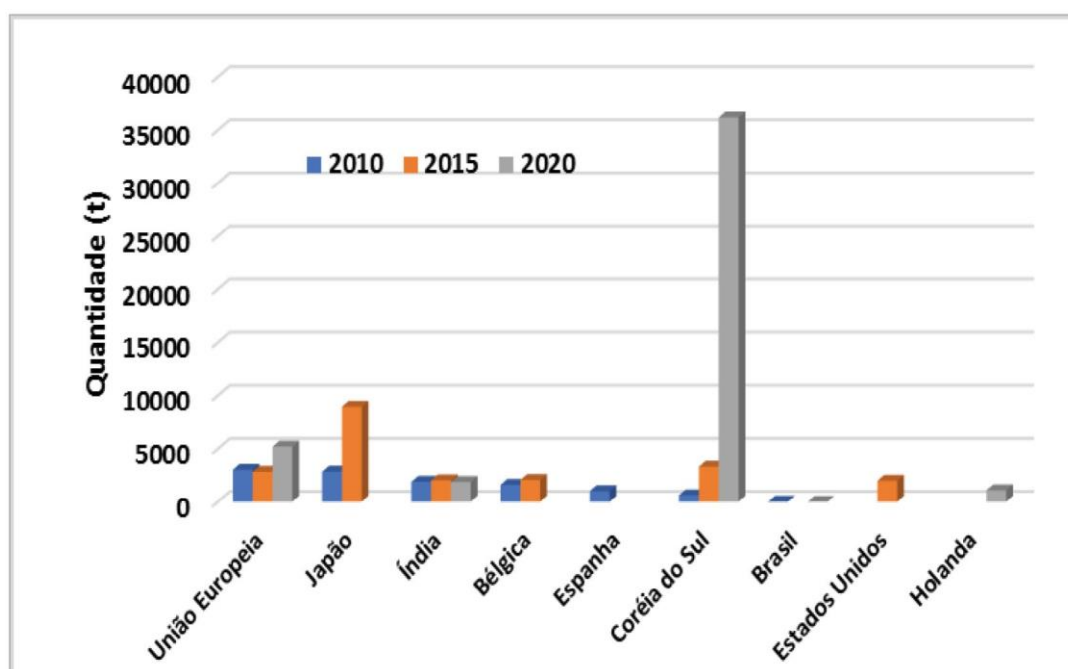
No ano de 2020, o Brasil se colocou na 69ª posição no ranking de países importadores de óxidos e hidróxidos de lítio. A Tabela 6 e a Figura 6 mostram sua evolução no ranking.

Tabela 6. Ranking dos principais países importadores de óxidos e hidróxidos de lítio.

Colocação País 2010	Importações (toneladas)	Colocação País 2015	Importações (toneladas)	Colocação País 2020	Importações (toneladas)
1º União Europeia	2.989,95	1º Japão	8.958,75	1º Coréia do Sul	36.188,80
2º Japão	2.819,57	2º Coréia do Sul	3.282,72	2º União Europeia	5.201,79
3º Índia	1.868,28	3º União Europeia	2.813,22	3º Índia	1.855,96
4º Bélgica	1.582,45	4º Bélgica	2.040,53	4º Holanda	1.075,87
5º Espanha	1.007,03	5º Índia	2.007,83	5º Japão	(Sem informação)
6º Coréia do Sul	599,44	6º EUA	1.963,20	6º EUA	(Sem informação)
50º Brasil	11,30	54º Brasil	(Sem informação)	69º Brasil	0,46

Fonte: World Bank (2022).

Figura 6. Principais países importadores de óxidos e hidróxidos de lítio.



Fonte: WB, (2022).

A Coreia do Sul avançou da 6ª posição no ranking global de importação de óxidos e hidróxidos de lítio, em 2010, para a 1ª posição em 2020, enquanto a União Europeia sempre esteve entre os 3 primeiros. No caso do Brasil, o país está entre os últimos países no ranking. Em relação ao valor das importações de lítio em suas várias formas, a Coreia do Sul lidera a lista com 439 milhões de dólares (2020), seguido por Japão (319 milhões de dólares) e União Europeia (28 milhões de dólares).

3.1.4.7. Exportações de Lítio

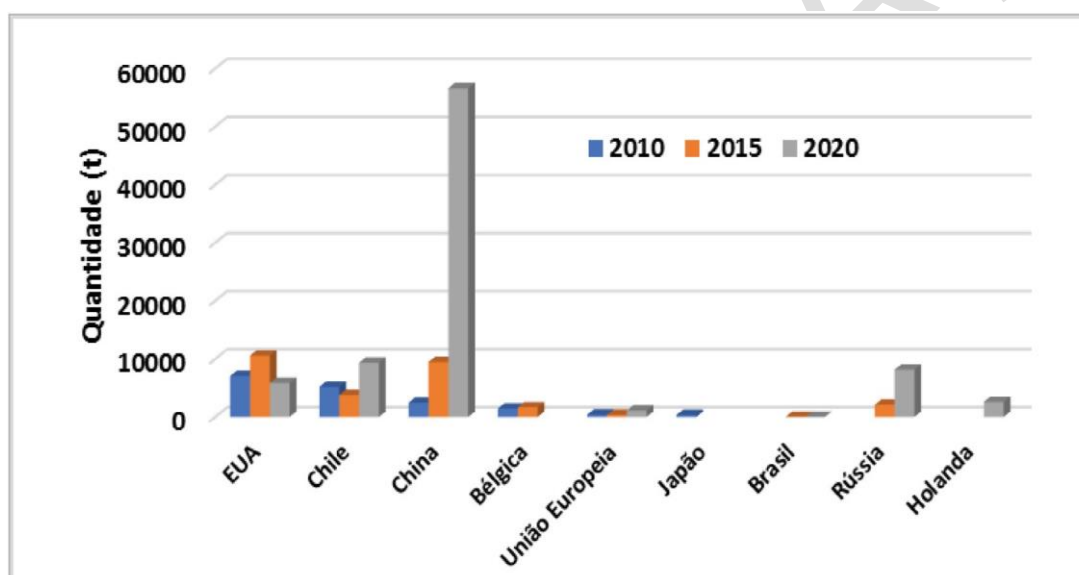
No ano de 2020, o Brasil se colocou na 35ª posição do ranking de países exportadores de óxidos e hidróxidos de lítio.

Tabela 7. Ranking dos principais países exportadores de óxidos e hidróxidos de lítio.

Colocação País 2010	Exportações (toneladas)	Colocação País 2015	Exportações (toneladas)	Colocação País 2020	Exportações (toneladas)
1° EUA	7.057,33	1° EUA	10.552,10	1° China	56.593,00
2° Chile	5.183,55	2° China	9.445,95	2° Chile	9.329,78
3° China	2.454,70	3° Chile	3.778,18	3° Rússia	8.142,09
4° Bélgica	1.438,16	4° Rússia	2.106,06	4° EUA	5.825,86
5° União Europeia	398,563	5° Bélgica	1.634,64	5° Holanda	2.587,25
6° Japão	340,83	6° União Europeia	375,311	6° União Europeia	1.093,18
(sem posição) Brasil	-	33° Brasil	0,25	35° Brasil	0,7

Fonte: World Bank (2022).

Figura 7. Principais países exportadores de óxidos e hidróxidos de lítio.



Fonte: World Bank (2022).

Em 2010, o Brasil não estava na lista dos países exportadores de compostos de lítio, mantendo-se ainda em posição de pouco destaque em 2015 e 2020. Entre 2010 e 2020, a China avançou de 3° para 1° país no ranking de exportadores de óxidos e hidróxidos de lítio. Em relação ao valor comercial de produtos de lítio exportados por país, a China lidera com 543 milhões de dólares, seguido por Chile (69 milhões de dólares) e Rússia (68 milhões de dólares).

3.1.4.8. Porte das Empresas e Geração de Empregos do Lítio

A Tabela 8 mostra um panorama das empresas produtoras de lítio no Brasil, conforme seu porte em termos de produção, e listando ainda os estados da federação onde estão instaladas suas operações e os números de empregos diretos e indiretos gerados. Até 2022, há apenas empresas de extração, beneficiamento e, em menor escala, de refino de compostos de lítio.

Tabela 8. Panorama das empresas produtoras de lítio no Brasil, por porte de produção (kta – milhares de toneladas/ano)

Empresas de Grande Porte de Produção						
	Empresa	Produção	Estado	Empregos diretos	Empregos indiretos	Ref
2020	AMG Mineração S.A.	64,6 kta (8,5 kta.LCE)	MG	569*	758***	Brasil Mineral, 2021
2022	Companhia Brasileira de Lítio (CBL)	36,0 kta (4,9 kta.LCE) de capacidade	MG	320**	426***	CBL, 2022
2017	Companhia Brasileira de Lítio (CBL)	10,5 kta (1,4 kta.LCE)	MG	320**	426***	ANM, 2018
2009	Companhia Brasileira de Lítio (CBL)	14,2 kta (1,9 kta.LCE)	MG	184	245	DNPM, 2010
Empresas de Pequeno Porte de Produção						
	Empresa	Produção	Estado	Empregos diretos	Empregos indiretos	Ref
2009	Arqueana de Minérios e Metais Ltda.	0,9 kta (0,1 kta.LCE)	MG			DNPM, 2010

* produz outros produtos, além do concentrado de lítio

** <https://cblitio.com.br/produto-estrategico/>

***estimado

LCE = lithium carbonate equivalent

Fonte: DNPM, (2010); ANM, (2018); CBL, (2022).

A Companhia Brasileira de Lítio (CBL) era, em 2017, a única produtora exclusivamente de lítio no Brasil, sendo uma empresa de pequeno porte, em termos de capacidade de produção. Atualmente, a AMG também produz concentrados de lítio no Brasil, com maior escala de produção.

Estima-se que, da soma de empregos das duas empresas (AMG Mineração S.A. e Companhia Brasileira de Lítio), o setor empregue cerca de 890 pessoas e gere cerca de 1180 empregos indiretos. Ambas as empresas produtoras têm minas no Estado de Minas Gerais, concentrando, portanto, nesse estado, toda a geração de empregos.

3.1.4.9. Porte dos Projetos de Extração de Lítio

A Tabela 9 mostra um panorama dos projetos em andamento e/ou previstos para a produção de lítio no Brasil, com o ano de início, conforme seu porte em termos de produção. Listando ainda os estados da federação onde estão instaladas suas operações e os números de empregos diretos e indiretos previstos.

Os projetos da Sigma Mineração são de médio porte e representam 92% da capacidade nova projetada de produção de lítio nos próximos anos. O projeto da AMG é uma ampliação, de porte pequeno, mas significativo considerando as atuais produções no país.

Os projetos previstos devem gerar empregos que duplicarão a mão-de-obra dedicada à mineração de lítio no Brasil. A geração de empregos pode ser considerada limitada, entretanto, analisando dentro do contexto local ou até mesmo regional, as gerações de emprego e sua manutenção ao longo da vida útil dos empreendimentos têm um papel importante na economia.

Os projetos se localizam no estado de Minas Gerais, o qual se beneficiará com a geração de empregos advinda dos projetos, bem como com as demandas indiretas do projeto e da operação (suprimentos, logística, serviços etc.).



Tabela 9. Panorama dos projetos em andamento e/ou previstos para a produção de lítio no Brasil, por porte de produção, no ano de 2022.

Projetos de Grande Porte de Produção						
	Empresa e Ano de início do projeto	Produção Prevista	Estado	Empregos diretos previstos	Empregos indiretos previstos	Ref
	Sigma, 2022	220 kta (28,8 kta.LCE)	MG	273	364	Sigma, 2021 e 2022
	Sigma, 2023	220 kta (28,8 kta.LCE)	MG			
	Total	440 kta (57,7 kta.LCE)	Brasil			
Projetos de Médio Porte de Produção						
	Empresa e Ano de início do projeto	Produção Prevista	Estado	Empregos diretos previstos	Empregos indiretos previstos	Ref
	AMG, 2023 (ampliação)	40 kta adicionais (5,2 kta.LCE)	MG			AMG, 2022
	Total	40 kta (5,2 kta.LCE)	Brasil			
Total dos Projetos por Porte de Produção						
	Porte dos Projetos e Ano de plena operação de todos	Produção Prevista	Estado	Empregos diretos previstos	Empregos indiretos previstos	Ref
	Grande	440 kta (57,7 kta.LCE)	MG	273	364	
	Médio	40 kta (5,2 kta.LCE)	MG			
	Total	480 kta (62,9 kta.LCE)	Brasil	273+	364+	

Fonte: Sigma, (2021 e 2022); AMG, (2022)

3.1.4.10. Porte de Investimento nos Projetos de Extração e de Aplicação do Lítio

A Tabela 10 e a Figura 8, abaixo, mostram um panorama dos investimentos dos projetos em andamento e/ou previstos envolvendo lítio no Brasil.

Tabela 10. Panorama dos projetos em andamento e/ou previstos para a produção de Lítio no Brasil, no ano de 2022.

Panorama de investimento em exploração de Lítio	Em milhões de reais
Oxis Brasil* (Codemge/Oxis Energy)	245
Grota do Cirilo (Sigma Mineração)	678
Expansão da planta de Mibra** (AMG Mineração)	838,9
Colossus Cluster Minas Gerais***	19.560

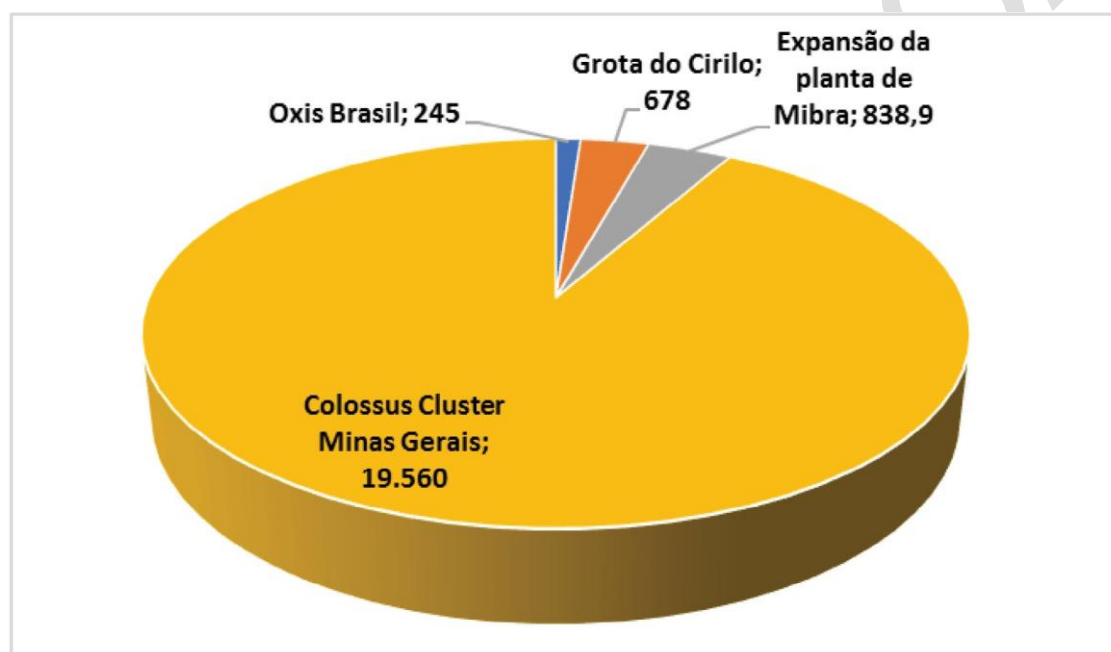
* planta para produção de células de baterias de Li-S

** Dezembro/2019

*** Projeto patrocinado por oito empresas do Vale do Silício (EUA), para produção de baterias de lítio, veículos elétricos e componentes.

Fonte: Statista, (2022).

Figura 8. Panorama dos investimentos em projetos em andamento e/ou previstos para a produção de Lítio no Brasil, no ano de 2022. (R\$ milhões)



Fonte: Statista, (2022).

Em fevereiro de 2021, a Sigma Mineração, subsidiária brasileira da canadense Sigma Lithium Resources, havia garantido investimentos de quase 700 milhões de reais para o projeto Grota do Cirilo, voltado para a produção de concentrado de lítio para exportação. Enquanto isso, cerca de R\$ 245 milhões foram investidos na primeira fábrica brasileira de produção de células de baterias de lítio-enxofre. Além disso, em dezembro de 2019, a AMG Mineração, subsidiária brasileira do Dutch Advanced Metallurgical Group (AMG), anunciou um investimento de aproximadamente R\$ 840 milhões para expansão da capacidade de processamento de lítio, em sua planta de Mibra.

3.1.4.11. Projeções do Lítio até 2050, em 3 Cenários Hipotéticos

As tabelas 11, 12 e 13 apresentam a projeções para a produção de lítio até 2050, em cenários conservador, intermediário e otimista, respectivamente, considerando os dados de 2020, o aumento da produção da CBL e a produção da Sigma Mineração, esta a partir de 2023 e 2024. As premissas para cada projeção estão descritas nas notas, de cada tabela.

Tabela 11. Projeções da produção de lítio em cenário conservador, até 2050, considerando alta demanda para a produção de baterias elétricas, principalmente no setor automotivo.

	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Reservas Medidas Brasil (kt.LCE) (1)	1002	794	488	183	0	0	0	0
Produção Brasil (kt.LCE) (2)	13,5	76,3	76,3	76,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Consumo Brasil (kt.LCE) (3)	1,4	1,5	1,9	2,7	4,0	4,9	4,9	4,9
Produção Mundo (Mt.LCE) (4)	0,7	1,2	2,1	3,1	3,4	3,4	3,4	3,4

¹ Considerando as reservas das empresas já em operação, juntamente com as declaradas pela Sigma Mineração e mantidas fixas, para evidenciar a necessidade de exploração de novos depósitos.

² Considerando as produções das empresas já em operação, juntamente com as dos projetos já divulgados.

³ Considerando manutenção do consumo atual até 2024, com aumento de 5% ao ano, para atender as primeiras fábricas de baterias de lítio brasileiras, até 2030, aumento de 10% ao ano com aumento de produção de baterias a partir de 2030, quando grande parte das montadoras se dedicará exclusivamente a carros elétricos, se estabilizando a partir de 2040, quando a reciclagem deve começar a conter a necessidade de nova geração de novas matérias primas.

⁴ Considerando que até 2030 a produção consiga acompanhar as previsões de demanda, com crescimento previsto da ordem de 15% ao ano no período. Considerando um crescimento da produção da ordem de 10% ao ano de 2030 a 2035, com início dos processos de reciclagem de baterias, a nível mundial. Considerando a estabilização da produção a partir de 2035, com processo de reciclagem de baterias já em estado estacionário. Considerando ainda o crescimento da demanda em quatro vezes, de 2020 até 2030, conforme previsão da Roskill (2021) e tendo o consumo de novo lítio limitado ao da capacidade de produção, a partir de 2030.

Tabela 12. Projeções da produção de lítio em cenário intermediário, até 2050, considerando alta demanda para a produção de baterias elétricas, principalmente no setor automotivo.

	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Reservas Medidas Brasil (kt.LCE) (1)	1002	1044	985	899	764	564	305	4
Produção Brasil (kt.LCE) (2)	13,5	76,3	76,3	82,6	89,4	93,0	93,0	4,0
Consumo Brasil (kt.LCE) (3)	1,4	1,5	1,9	2,7	4,0	4,9	4,9	4,9
Produção Mundo (Mt.LCE) (4)	0,7	1,2	2,1	3,1	3,4	3,4	3,4	3,4

¹ Considerando as reservas das empresas já em operação, juntamente com as declaradas pela Sigma Mineração e com aumento de 6% ao ano, para permitir operações de produção até 2050.

² Considerando as produções das empresas já em operação, juntamente com as dos projetos já divulgados, até 2030, seguido de aumento da produção de 2% ao ano até 2040, com abertura de novos projetos, estabilizando-se a partir de 2040 e cessando operações em 2050, por escassez de reservas.

³ Considerando manutenção do consumo atual até 2024, com aumento de 5% ao ano, para atender as primeiras fábricas de baterias de lítio brasileiras, até 2030, aumento de 10% ao ano com aumento de produção de baterias a partir de 2030, quando grande parte das montadoras se dedicará exclusivamente a carros elétricos, se estabilizando a partir de 2040, quando a reciclagem deve começar a conter a necessidade de nova geração de novas matérias primas.

⁴ Considerando que até 2030 a produção consiga acompanhar as previsões de demanda, com crescimento previsto da ordem de 15% ao ano no período. Considerando um crescimento da produção da ordem de 10% ao ano de 2030 a 2035, com início dos processos de reciclagem de baterias, a nível mundial. Considerando a estabilização da produção a partir de 2035, com processo de reciclagem de baterias já em estado estacionário. Considerando ainda o crescimento da demanda em quatro vezes, de 2020 até 2030, conforme previsão da Roskill (2021) e tendo o consumo de novo lítio limitado ao da capacidade de produção, a partir de 2030.

Tabela 13. Projeções da produção de lítio em cenário otimista, até 2050, considerando alta demanda para a produção de baterias elétricas, principalmente no setor automotivo.

	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Reservas Medidas Brasil (kt.LCE) (1)	1002	1138	1205	1280	1338	1370	1401	1445
Produção Brasil (kt.LCE) (2)	13,5	76,3	76,3	85,9	96,7	102,5	102,5	102,5
Consumo Brasil (kt.LCE) (3)	1,4	1,5	1,9	2,7	4,0	4,9	4,9	4,9
Produção Mundo (Mt.LCE) (4)	0,7	1,2	2,1	3,1	3,4	3,4	3,4	3,4

¹ Considerando as reservas das empresas já em operação, juntamente com as declaradas pela Sigma Mineração e com aumento de 8% ao ano, para permitir operações de produção após 2050.

² Considerando as produções das empresas já em operação, juntamente com as dos projetos já divulgados, até 2030, seguido de aumento da produção de 3% ao ano até 2040, com abertura de novos projetos, estabilizando-se a partir de 2040.

³ Considerando manutenção do consumo atual até 2024, com aumento de 5% ao ano, para atender as primeiras fábricas de baterias de lítio brasileiras, até 2030, aumento de 10% ao ano com aumento de produção de baterias a partir de 2030, quando grande parte das montadoras se dedicará exclusivamente a carros elétricos, se estabilizando a partir de 2040, quando a reciclagem deve começar a conter a necessidade de nova geração de novas matérias primas.

⁴ Considerando que até 2030 a produção consiga acompanhar as previsões de demanda, com crescimento previsto da ordem de 15% ao ano no período. Considerando um crescimento da produção da ordem

de 10% ao ano de 2030 a 2035, com início dos processos de reciclagem de baterias, a nível mundial. Considerando a estabilização da produção a partir de 2035, com processo de reciclagem de baterias já em estado estacionário. Considerando ainda o crescimento da demanda em quatro vezes, de 2020 até 2030, conforme previsão da Roskill (2021) e tendo o consumo de novo lítio limitado ao da capacidade de produção, a partir de 2030.

3.1.4.12. Usos e Aplicações do Lítio

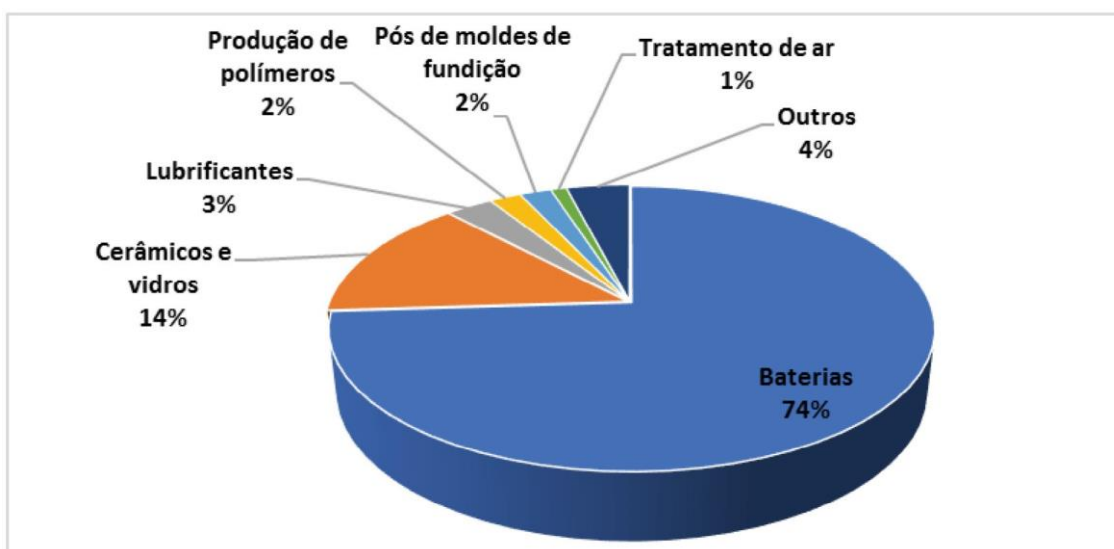
A Tabela 14 e a figura 9 mostram as principais aplicações dos produtos da cadeia do lítio e seus percentuais relativos de uso, enquanto a Figura 9 mostra um resumo das contribuições de cada aplicação para o total do uso do lítio. Em 2021, as baterias foram de longe o produto final que mais consumiu o insumo lítio em todo o mundo, representando 74% do consumo, enquanto o uso em cerâmica e vidro representou outros 14%. Os aumentos na demanda por baterias continuarão sendo um forte impulsionador do consumo de lítio no futuro próximo, já que a tecnologia de baterias de íons de lítio é amplamente usada na produção de veículos elétricos e dispositivos móveis de maneira geral.

Tabela 14. Aplicações e percentuais de uso dos produtos da cadeia produtiva do lítio.

Aplicação	Uso (%)
Baterias	74
Cerâmicos e vidros	14
Lubrificantes	3
Produção de polímeros	2
Pós de moldes de fundição	2
Tratamento de ar	1
Outros	4

Fonte: Statista, (2022).

Figura 9. Aplicações e percentuais de uso dos produtos da cadeia produtiva do lítio.



Fonte: Statista, (2022).

O hidróxido de lítio (LiOH) representou cerca de 27% da demanda global de lítio em 2018, e o carbonato de lítio representou 73%. Em 2025, espera-se que o hidróxido de lítio seja o mais demandado, atingindo 60% do mercado. Em 2018, a demanda por lítio foi distribuída quase equitativamente entre setores industriais diversos e o segmento de baterias, mas a projeção para 2030 sugere que aplicações em baterias serão responsáveis por cerca de 93% da demanda global.

3.1.4.13. Padrão Tecnológico da Cadeia do Lítio

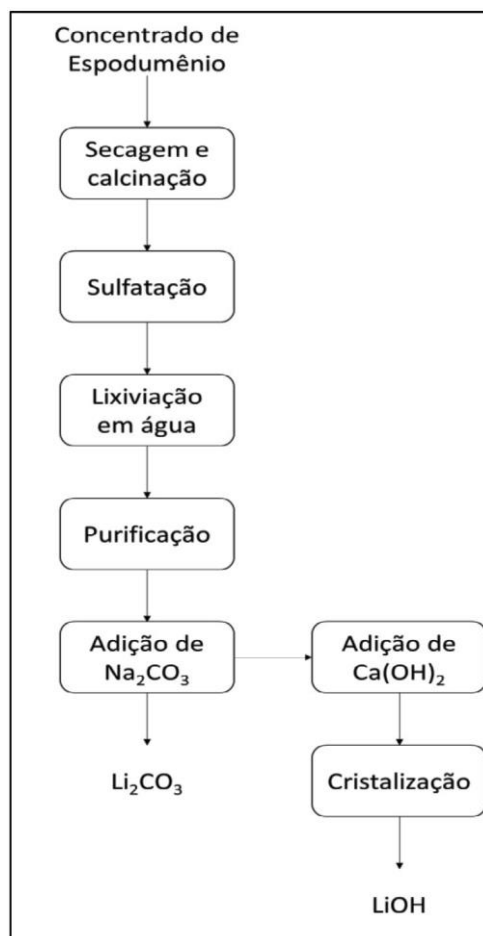
As principais tecnologias utilizadas no Brasil na Cadeia do Lítio são apresentadas na Tabela 15. A Figura 10 apresenta um fluxograma simplificado da rota tecnológica predominante no Brasil, para a Cadeia do Lítio.

Tabela 15. Principais tecnologias utilizadas no Brasil na Cadeia do Lítio. (CBL, 2022)

Produto	Tecnologia Produtiva no Brasil	Benchmark Tecnológico Produtivo
Hidróxido de Lítio	Hidrometalurgia	CBL
Carbonato de Lítio	Hidrometalurgia	CBL

Fonte: (CBL, 2022)

Figura 10. Fluxograma da rota tecnológica predominante no Brasil, na cadeia do lítio.



Fonte: (CBL, 2022)

Para obtenção de carbonato de lítio (Li₂CO₃) e hidróxido de lítio (LiOH), o concentrado de espodumênio é calcinado e então misturado com ácido sulfúrico concentrado (sulfatação). O material obtido segue para a lixiviação em água, para obtenção de solução rica em sulfato de lítio (Li₂SO₄), sendo o resíduo sólido rico em silicato de alumínio. As etapas de purificação são realizadas para então precipitar o lítio como carbonato.

Parte do Li₂CO₃ é usado como matéria-prima para obtenção do LiOH, que consiste na mistura do carbonato com hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂). Após filtração, a solução é evaporada e obtém-se o LiOH.

3.1.4.14. Análise Integrada da Cadeia Produtiva do Lítio

Não houve aporte de informação por parte de empresas produtoras de lítio para que fosse possível a elaboração de um fluxograma simplificado da cadeia do lítio, que tivesse detalhes de consumos e participações nos custos de cada etapa de produção.

3.1.4.15. Recomendações e Conclusões sobre a Cadeia Produtiva do Lítio

- Melhoria das condições de competitividade das cadeias de transformação mineral
 1. Divulgação de dados das tecnologias usadas na cadeia produtiva do Lítio;

Investimento para produção de derivados com alto valor agregado da cadeia do Lítio: lítio metálico, hidróxido de lítio, cloreto e brometo de lítio, cristais de fluoreto de lítio, hidretos de alumínio e lítio (LiAlH_4) e hidretos de etil de boro e lítio ($\text{LiBH}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$), p.ex.;

Investimentos em tecnologias e treinamento operacional/científico;
Aperfeiçoamento da infraestrutura de transporte;

- Capacidades tecno-produtivas locais/regionais
 1. Investimentos em novas tecnologias da cadeia produtiva, com a finalidade de aumentar o aproveitamento da matéria prima, redução de custo de produção, aumento de produtividade, diminuição de emissão de poluentes e redução do consumo de água;
 2. Aumento na diversificação de produtos intermediários e finais para atender diferentes setores como como fármacos, metalurgia e baterias;
 3. Investimento em capacitação técnica;
 4. Ampliação de pesquisa geológica com a finalidade de descobrir novos depósitos;
 5. Investimento em inovação para o aproveitamento, com viabilidade econômica, de diferentes tipos minérios que contenham lítio;

- Integração competitiva aos fluxos internacionais de comércio, de investimentos e de transferência de tecnologias
 1. Divulgação de dados de importação e exportação de lítio absoluto, e não apenas dos compostos;
 2. Informações sobre uso de lítio no Brasil, por tipo de produto;
 3. Conhecer as aplicações finais dos produtos de lítio exportados visando verticalizar a cadeia produtiva nacional;
- Desenvolvimento de mercados
 1. Desenvolvimento de mercados de baterias para eletroeletrônicos e carros elétricos, além de outros já destacados;
 2. Promover com ações estimuladoras o desenvolvimento de empresas fabricantes de baterias de íons de lítio;
 3. Estimular estudos que impliquem em inovações tecnológicas para descobertas de novas aplicações utilizando o lítio como insumo.
 4. Estimular produtores existentes – projetos em andamento no Brasil – para a promoverem expansões visando à antecipação de cenários competitivos planejados.
 5. Estimular o desenvolvimento de polos regionais de exploração e produção de lítio e seus produtos de alto valor agregado.
- Demanda de investimentos e mecanismos de captação de recursos financeiros
 1. Otimizar os mecanismos de incentivo existentes visando ao desenvolvimento de processos fabris para a obtenção de produtos ou subprodutos que utilizam o lítio como insumo.

Investimento para mercados futuros de Lítio, como baterias, e fármacos, lítio metálico, hidróxido de lítio, cloreto e brometo de lítio, cristais de fluoreto de lítio, hidretos de alumínio e lítio (LiAlH_4) e hidretos de etil de boro e lítio ($\text{LiBH}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$);

- Demanda de recursos humanos e intensificação de treinamento e capacitação
 1. Profissionalização para atender a demanda de novos mercados;
 2. Treinamentos para colaboradores atuais visando à adequação qualificada para o desenvolvimento de novas tecnologias;
 3. Dar ênfase à “Metalurgia do Lítio” nos cursos técnicos e universitários afins.

4. Demandar às agências de fomento à pesquisa incentivos para o “desenvolvimento da Metalurgia do Lítio” por intermédio de Editais indutores e criação de um INCT-Lítio (Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia).
 5. Estímulo, por intermédio das Associações correlatas, à promoção de eventos técnico-científicos focados no tema “Lítio”.
- Desenvolvimento tecnológico e perspectivas de investimentos em inovação tecnológica
 1. Divulgação de dados do atual plano de investimento;
 2. Criar mecanismos de promoção do desenvolvimento de rotas tecnológicas para produtos de alto valor agregado p.ex., fabricação de ligas leves para os setores automotivo e aeroespacial;
 - Aspectos regulatórios
 1. Divulgação de dados do atual cenário da produção de lítio
 2. Regulamentação da extração e produção de produtos de lítio
 3. Regulamentação específica para cadeia produtiva de lítio
 4. Acelerar processos de aprovação de atividade extrativa – mecanismos de *fast track*;
 5. Criar regime específico para os minerais da transição energética no âmbito das políticas nacionais.
 6. Promover a simplificação dos processos de outorga de direitos/ títulos minerários e de processos de licenciamento ambiental.
 - Infraestrutura e logística de transporte
 1. Melhoria na infraestrutura para escoamento de produtos da extração de lítio;
 2. Desenvolvimento de novos meios de transporte para distribuição de produto: ferroviário, hidroviário, ...;
 - Economia circular
 1. Divulgação de dados do atual cenário;
 2. Uso de fontes secundárias para produção de lítio, como p. ex., baterias obsoletas;
 3. Estímulo às ações de reciclagem e logística reversa de materiais contendo lítio para reinserção dos metais e materiais na cadeia

produtiva.

4. Estímulo aos programas municipais de “coleta seletiva de resíduos” visando à ampliação da oferta de materiais recicláveis específicos.
- Eficiência energética
 1. Implementação do uso de outras fontes de energia nos processos das empresas da cadeia produtiva do lítio;
 - Sustentabilidade socioeconômica-ambiental, incluindo geração de resíduos e sua destinação.
 1. Informações sobre o atual destino dos resíduos e rejeitos;
 2. Reutilização dos resíduos como fonte secundária para outros materiais;
 3. Produzir e divulgar informações sobre a composição dos resíduos e rejeitos da cadeia produtiva do lítio;
 4. Estímulo às ações de reciclagem e logística reversa de materiais contendo lítio para reinserção na cadeia produtiva.
 5. Estímulo aos programas municipais de “coleta seletiva de resíduos” visando à ampliação da oferta de materiais recicláveis específicos.

Observação:

As “Recomendações e Conclusões sobre a Cadeia Produtiva do Lítio” constantes desta sinopse foram elaboradas/propostas antes do Decreto nº. 11.120 de 05/07/22 que estabelece a permissão de operações de comércio exterior de minerais e minérios de lítio e derivados. Diante do referido Decreto, ficam favorecidos o livre exercício da atividade de industrialização, importação e exportação desses minerais e seus derivados, incluindo os produtos de ponta da cadeia. Ainda é possível inferir que este Decreto permite a inserção do Brasil, de forma competitiva, na cadeia global de lítio, abrindo espaços para atração de investimentos para pesquisa, produção mineral e avanço da capacidade produtiva em etapas de processamento e industrialização.

Lista de referências:

AMB 2022: Anuário Mineral Brasileiro em [https://app.anm.gov.br/Dados Abertos/AMB/Producao_Beneficiada.csv](https://app.anm.gov.br/Dados%20Abertos/AMB/Producao_Beneficiada.csv)

AMG, 2022: AMG Lithium Investor Day Presentation - https://ig9we1q348z124x3t10meupc-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2022-01-11_AMG-Lithium-Investor-Day-Presentation-Final.pdf

Bianchetti, 2022: Mara Bianchetti em <https://diariodocomercio.com.br/economia/litio-pode-alavancar-https://bvmi.com.br/projeto-colussus-cluster-da-bravo-motors-planeja-investimento-de-r-25-bilhoes-em-mg/a-economia-mineira/> - Acesso em 25/08/22

Bouças, 2021: Cibelle Bouças em <https://bvmi.com.br/projeto-colussus-cluster-da-bravo-motors-planeja-investimento-de-r-25-bilhoes-em-mg/> - Acesso em 25/08/2022

CBL, 2022: em <https://cblitio.com.br/mineracao/>

Comexstat 2022: Exportação e Importação Geral SH (6): 283691 em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>

DNPM, 2002-2010 - Anuário Mineral Brasileiro

DNPM/ANM 2011-2018 - Sumário Mineral Brasileiro

Kogel, 2006: Kogel, Jessica Elzea (2006). «Lithium». Industrial minerals & rocks: commodities, markets, and uses. Littleton, Colo.: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. p. 599. ISBN 978-0-87335-233-8

Mulloth, 2005: Mulloth, L.M. and Finn, J.E. (2005). «Air Quality Systems for Related Enclosed Spaces: Spacecraft Air». The Handbook of Environmental Chemistry. 4H. [S.l.: s.n.] pp. 383–404. doi:10.1007/b107253

Roskill, 2021: In Sigma, 2021

Santos, 2020: Valorização da cadeia produtiva do lítio: alternativas sustentáveis para extração do lítio do espodumênio. Leonardo Leandro dos Santos et al. – EDUFRN, Natal, 2020. ISBN: 978-65-5569-035-4

Sigma, 2021: Grota do Cirilo Lithium Project - <https://www.sigma-lithiumresources.com/wp-content/uploads/2021/07/21501-REP-PM-001-15072021-Final-Version.pdf>

Sigma, 2022: Corporate Presentation - <https://ir.sigmalithiumresources.com/static-files/ded958c9-8d84-417b-a6b1-b1bd7f0ad7b0>

Statista, 2022: <https://www.statista.com/statistics/> sob as palavras chave “lithium”, “Brazil”, “World”. Acesso em 16 de março de 2022.

USGS 1996-2022: Mineral Commodities Summaries 1996-2022, Lithium, <https://pubs.er.usgs.gov/publication/mcs2022> - Acesso em 19/02/2022

USGS, 2017: Critical Mineral Resources of the United States—Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply – Lithium

World Bank, 2022: <https://wits.worldbank.org/> Acesso em 22 de março de 2022.

PLANO NACIONAL DE MINERAÇÃO 2050

PNM 2050

CADEIAS PRODUTIVAS 5: TERRAS RARAS**Caderno 3: Cadeias Produtivas dos Minerais
para a Transição Energética**

CADEIAS PRODUTIVAS 5: TERRAS RARAS	142
3.1. Caracterização das Cadeias Produtivas	143
3.1.5. Cadeia Produtiva das Terras Raras	143
3.1.5.1. Polos produtivos minero-industriais no Brasil, da Cadeia Produtiva das Terras Raras. 143	
3.1.5.2. Consumo Energético, de Água e Emissão de CO ₂ , da Cadeia Produtiva das Terras Raras 143	
3.1.5.3. Geração de Resíduos da Cadeia Produtiva das Terras Raras.....	144
3.1.5.4. Geração de Resíduos Sólidos da Cadeia Produtiva das Terras Raras	145
3.1.5.5. Produção das Terras Raras	147
3.1.5.6. Consumo e Importação das Terras Raras.....	149
3.1.5.7. Exportações das Terras Raras	151
3.1.5.8. Porte dos Projetos em Andamento e/ou Previstos e Geração de Empregos na Cadeia Produtiva de Terras Raras	151
3.1.5.9. Projeções até 2050 das Terras Raras, em 3 Cenários Hipotéticos	153
3.1.5.10. Usos e Aplicações das Terras Raras	158
3.1.5.11. Padrão Tecnológico da Cadeia dos Ímãs de Terras Raras	159

3.1. Caracterização das Cadeias Produtivas

3.1.5. Cadeia Produtiva das Terras Raras

Os Elementos Terra-Rara (ETR's) compreendem um total de 17 elementos químicos que são fundamentais na produção de super-ímãs, baterias, iluminação, refrigeração, entre outros componentes com impacto no setor energético. Apesar de viabilizarem centenas de aplicações, as previsões de demanda indicam que a necessidade de ETR's crescerá, principalmente, devido à sua utilização em super-ímãs para aplicações em turbinas eólicas e sistemas de propulsão para veículos elétricos. Atualmente a China lidera o mercado global de ETR's e de ímãs. O Brasil, como possuidor da segunda maior reserva de ETR's do mundo, vem investindo no domínio tecnológico das diversas etapas da cadeia produtiva dos super-ímãs, com potencial para se tornar um grande *"player"* global.

3.1.5.1. Polos produtivos minero-industriais no Brasil, da Cadeia Produtiva das Terras Raras.

O Brasil, embora detenha a segunda maior reserva mundial desses elementos, não possui, na atualidade, um polo produtivo minero-industrial da cadeia produtiva de terras raras consolidado. No entanto, o Brasil já foi um produtor de terras raras no passado, iniciando com a Orquima, que se transformou em Nuclemon e, posteriormente, foi incorporada pela INB. Na década de 90, a China mudou sua política de preços, oferecendo terras raras no mercado a preços muito menores que os demais países, levando à falência empreendimentos em vários países. No Brasil a produção pela INB foi suspensa, até ser de vez interrompida em 2002, seguindo apenas com pequenos volumes exportados dos estoques anteriormente minerados. Iniciativas empresariais avaliam a possibilidade de o Brasil retomar, em breve, parte da produção de terras raras.

3.1.5.2. Consumo Energético, de Água e Emissão de CO₂, da Cadeia Produtiva das Terras Raras

Levando em consideração que o Brasil não tem atividades em escala produtiva industrial, os dados sobre o consumo energético e de emissões são escassos, limitando-se a informações extraídas de projetos de bancada (laboratórios,

protótipos). Adicionalmente, há que se considerar que tais informações são totalmente dependentes da fonte mineral, que é a responsável pela escolha do processo adequado às características da matéria prima.

A título de exemplo:

Os estudos de bancada, no processamento de 6 kg de monazita, proveniente da reserva de Araxá, até os óxidos individuais apresentou os seguintes resultados:

- Consumo Energético de 273,24 kWh
- Consumo de Água de 167,28 litros de água
- Emissões de 6,03 E+2 kg CO₂eq

Outras equipes de pesquisa estão analisando os dados de laboratório das demais etapas produtivas até alcançar alguns produtos de ETR, como os ímãs permanentes.

3.1.5.3. Geração de Resíduos da Cadeia Produtiva das Terras Raras

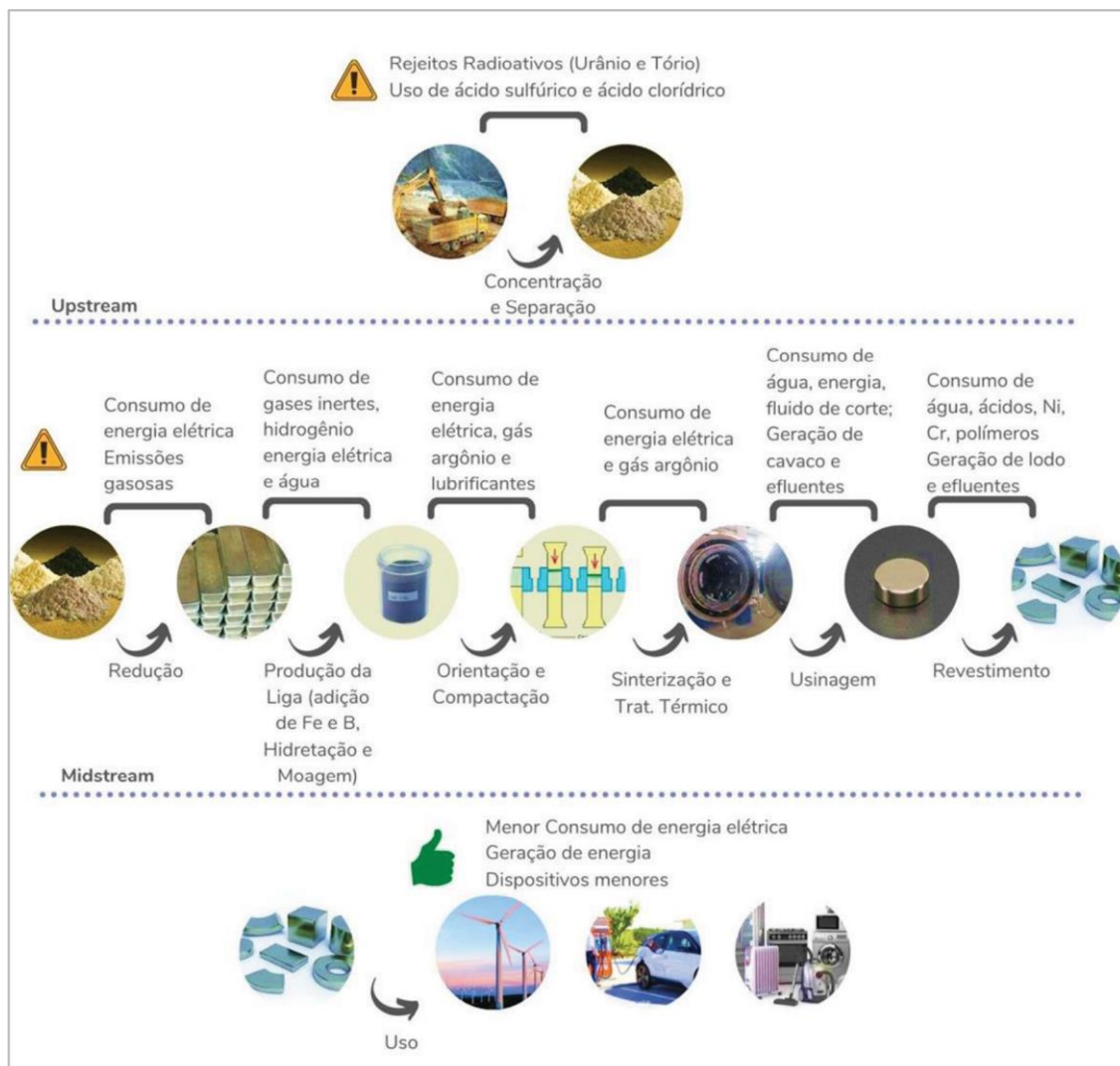
Os resíduos radioativos, como tório e urânio, quando não aproveitados economicamente são custosos para a manutenção das operações de aproveitamentos das terras raras (OPEX elevado).

Os minerais contendo terras raras são processados a partir de minérios e minerais que contém urânio e tório. O processamento das terras raras envolve a separação e remoção destes elementos resultando em resíduos TENORM. (USEPA, 2022a)

Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material (TENORM) é definido como sendo “material radioativo de ocorrência natural que foi concentrado e exposto no ambiente como resultado das atividades de extração e processamento”. (USEPA, 2022b)

O diagrama apresentado na Figura 1 ilustra as principais etapas do processo produtivo a partir do qual é possível inferir a produção de resíduos líquidos, gasosos e sólidos sem, no entanto, quantificá-los.

Figura 1. Principais etapas típicas do processo produtivo da cadeia das terras raras.



Fonte: Bonfante, 2021.

3.1.5.4. Geração de Resíduos Sólidos da Cadeia Produtiva das Terras Raras

A geração de resíduos sólidos no Brasil, da cadeia produtiva das terras raras, bem como uma pré-qualificação e potencial de aproveitamento dos resíduos gerados em outras cadeias produtivas, juntamente com o grau de reciclagem e o panorama de utilização de sucatas e de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, não tem significância face ao estágio tecnológico ainda limitado às pesquisas em laboratórios.

Existem diferentes métodos para reciclagem, cada um com vantagens e desvantagens. O método hidrometalúrgico: é aplicável a todos os tipos de ímãs e a

ligas oxidadas e não-oxidadas. As vantagens são que as etapas de processamento são conhecidas, por serem semelhantes às utilizadas na extração das terras raras de minerais. Como desvantagens estão o consumo de grande quantidade de reagentes e a geração de grande volume de água de descarte. O método pirometalúrgico não gera água de descarte e usa menos etapas de processamento de separação. Além disso, é aplicável a todos os tipos de ímãs, exceto os ímãs oxidados. Faz-se fusão do material e extração do metal em estado líquido. Como desvantagem, consome muita energia, além das escórias eletro condutoras gerarem grande quantidade de resíduos sólidos. O terceiro método é o por extração em fase gasosa que também não gera água residual, geralmente aplicável a todos os tipos de ímãs, a ligas oxidadas e não oxidadas. A desvantagem é devida ao consumo de grandes quantidades de cloro. Em lâmpadas fluorescentes, a reciclagem é considerada simples, os fósforos de lâmpadas fluorescentes são fontes das ETR's pesados (Y e Tb) e Eu. A presença de ETR nas lâmpadas fluorescentes possui potencial e valorização para reciclagem evitando extração de recursos naturais não-renováveis. O maior problema é a remoção completa de mercúrio. No Brasil, a destinação do pó de fósforo obtido para reciclagem de lâmpadas fluorescentes vai para fábricas de cerâmica e indústrias de tintas e pigmentos. É possível recuperar ETR de revestimentos de monitores de computadores de tubos de imagem de televisores coloridos.

Destino final do lixo eletrônico e a logística reversa

Os equipamentos manufaturados eletroeletrônicos são divididos em quatro categorias dentre elas os da linha verde são: desktops, notebooks, impressoras e aparelhos celulares. Eles possuem uma vida útil curta (tipicamente 2 a 5 anos), são equipamentos de pequeno porte (entre 100 g e 30 kg), possuem grande diversidade de componentes e são compostos, principalmente, por plásticos e metais. O PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente), publicado em 2009, estima que 40 milhões de toneladas de lixo eletrônico sejam geradas no mundo por ano, e se for considerado somente o descarte celulares e impressoras, quase 20 mil toneladas anuais são descartadas no Brasil. O estudo também mostrou que proporcionalmente é o país que mais produz resíduos eletroeletrônicos no mundo. O descarte na natureza deve ser realizado de forma adequada, direcionando este lixo para empresas e cooperativas de reciclagem, ou mesmo para os próprios fabricantes do material, o que é regulamentado no Brasil. Em 2010, foi sancionada a lei 12.305/2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Dentre seus desdobramentos, um dos mais importantes é o sistema de logística reversa, que promove a devolução dos

resíduos aos próprios fabricantes para que estes façam reuso dos materiais ou descartem o mesmo de maneira adequada.

O descarte inadequado do lixo eletrônico pode se tornar uma fonte de contaminação de metais pesados como chumbo, mercúrio e cádmio ao solo, à água e à saúde humana pois o contato com esses materiais ocorre em lixões ou em locais para seu reprocessamento em estruturas precárias a exemplo disso em países como Ghana, Nigéria, Índia, China, Uganda e Paquistão que importam eletroeletrônicos obsoletos. A logística reversa é uma área da logística empresarial que permite o retorno dos bens de pós-venda e de pós-consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, agrega valores: econômico, ecológico, legal, logístico e imagem corporativa positiva. Componentes em condição de uso são destinados à remanufatura e os materiais com condições de revalorização são enviados para a reciclagem industrial. O ciclo aberto caracteriza-se pelo retorno dos materiais extraídos a diferentes produtos daquele original. Já no ciclo fechado os materiais extraídos são substituídos em produto similar ao de origem.

3.1.5.5. Produção das Terras Raras

O concentrado de monazita foi o produto de terras raras comercializado, exclusivamente, pela INB (Indústrias Nucleares do Brasil), e a produção a cada ano, no período 1970 até 2021, é apresentada na Tabela 1, com valores pouco significativos, em termos industriais.

Tabela 1. Produção brasileira de concentrado de monazita desde 1970 até o ano de 2021.

Ano	Produção (kt)															
	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
TO-TAL	-	1,5	2,5	3,9	2,6	0,8	0,2	0,8	0,2	0,8	1,1	1,7	1	0,7	0,6	0,5

Fontes: British Geological Survey (SGM, 2022), World Mineral Statistics 1970-1990 (BGS, 2011), U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries 1995-2021 (USGS, 1995-2021).

A produção nacional de terras raras esteve sempre associada à produção e exploração da monazita, mineral portador de ETR contendo, aproximadamente, 87% de óxidos de terras raras, que foi parcialmente processada, separada e transformada em produtos até 1990, começando pela Orquima, na década de 1940, em seguida com a NUCLEMON e, posteriormente, com a INB. Cabe assinalar que em meados da década de 1950, a ORQUIMA se consagrou como o primeiro fornecedor mundial de európio, para a fabricação de TVs a cores.

Entre 1990 e 2002 a produção foi, parcialmente, interrompida para reavaliação econômica dos processos e avaliação de investimentos. A partir de 2002 o processamento da monazita foi totalmente interrompido e o Brasil. Desde então, vem exportando pequenas quantidades anuais provenientes de material estocado e concentrado da INB, localizado em São Francisco do Itabapoana.

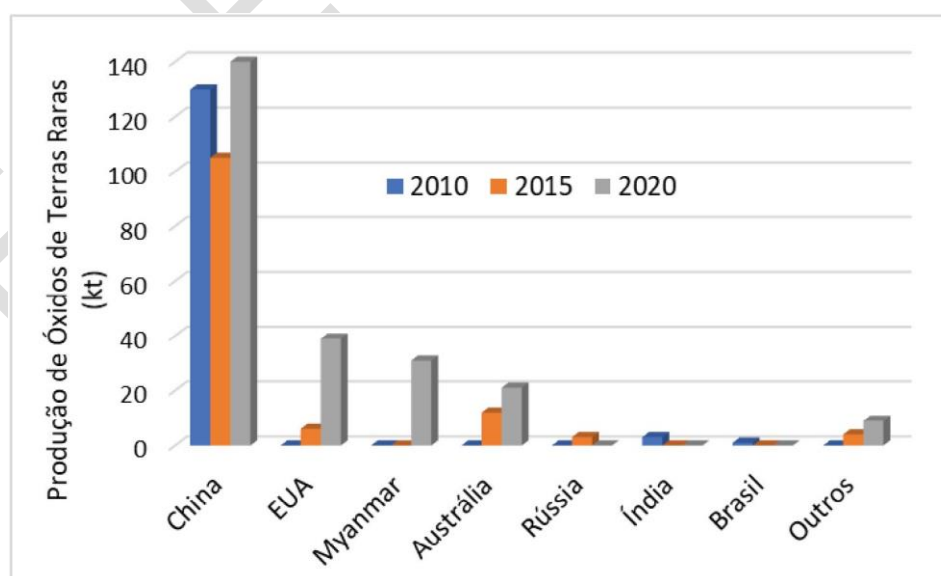
A produção de terras raras colocou o Brasil, no ano de 2020, na nona posição no ranking mundial de produtores. A Tabela 2 e a Figura 2 apresentam a evolução no ranking mundial, juntamente com os países com as maiores produções. É importante ressaltar que, diferentemente, dos grandes produtores mundiais, o Brasil, atualmente, não processa a monazita, separando os óxidos de terras raras individuais, comercializando, portanto, apenas a monazita concentrada.

Tabela 2. Ranking dos principais produtores mundiais de terras-raras. (USGS) – não inclui produções informais.

Colocação País 2010	Produção (kt.OxTR)	Colocação País 2015	Produção (kt.OxTR)	Colocação País 2020	Produção (kt.OxTR)
China	130	China	105	China	140
Índia	3	Austrália	12	Estados Unidos	39
Brasil	1	Estados Unidos	6	Myanmar (Burma)	31
Outros		Rússia	3	Austrália	21
		Outros	4	Outros	9
Total	133	Total	130	Total	240

Fonte: (USGS, 1995-2021)

Figura 2. Principais países produtores mundiais de terras-raras até 2020.



Fonte: USGS, (2010-2022); (WMS, 1970-1990).

Desde sua entrada no mercado mundial de ETR em meados de 1990, a China mantém a liderança isolada de produção de óxidos de terras raras. No entanto, é possível observar a participação crescente de outros países, com destaque para a retomada da produção nos EUA, que foi significativa até os anos 1990 e, praticamente, desapareceu em 2010. Outras iniciativas merecem destaque como a significativa participação de Myanmar e da Austrália. Com a ausência de atividades de produção de ETR em escala industrial, o Brasil, progressivamente, perde espaço na produção mundial, ainda que possua oficialmente a segunda maior reserva mineral desses elementos. Todavia, o Brasil possui diversos projetos de exploração mineral em andamento que podem, nos próximos anos, ampliar a produção e permitir que o país se coloque como o terceiro maior produtor mundial de ETR, atrás apenas de China e EUA.

3.1.5.6. Consumo e Importação das Terras Raras

No Brasil o consumo de terras raras, considerando que não há produção nacional, é suprido a 100% por produção importada e, atualmente, está associado a três principais produtos: óxido de cério para indústria de polimento, óxido de lantânio para o craqueamento catalítico do petróleo e ímãs de terras raras, que contém neodímio, praseodímio e disprósio.

- Consumo e Importações de Óxido de Lantânio:

Os volumes anualmente produzidos e utilizados mundialmente no mercado de craqueamento catalítico do petróleo não são comercialmente divulgados e são de difícil levantamento. De acordo com relatório Roskill de 2011, o consumo mundial de óxido de lantânio para essa aplicação foi de, aproximadamente, 12.500 toneladas. De acordo com o relatório “Global oil refinery capacity 1970-2020 - N. Sönnichsen, Jul 2021” o crescimento na capacidade mundial de refinamento de petróleo aumentou em 8% entre 2010 e 2020. Pode-se, portanto, inferir um consumo de óxido de lantânio para esse fim de aproximadamente 13.500 toneladas em 2020.

O Brasil possui indústrias que fabricam os catalisadores utilizados no refino do petróleo, além de fornecer para toda América do Sul. O consumo brasileiro de óxido de lantânio para esse fim é de, aproximadamente, 900 toneladas por ano, o que coloca o Brasil como detentor de 7% do mercado mundial estimado.

- Consumo e Importações de Óxido de Cério:

O óxido de cério é utilizado em aplicações diversas, principalmente na indústria de polimento de vidros e na fabricação de catalisadores. O Brasil apresentou um pequeno consumo de óxido de cério na indústria de polimento (cerca de 100 toneladas) em 2012. O mercado mundial desse produto foi estimado, em 2010, em cerca de 16.000 toneladas e, em 2020, em aproximadamente 18.000 toneladas.

- Importações de Ímãs Nd-Fe-B

O Brasil importa e consome quantidades significativas de ímãs à base de Nd-Fe-B, para utilização, principalmente, em motores elétricos de alto rendimento e geradores eólicos. Os ímãs Nd-Fe-B podem conter, além do neodímio, quantidades menores de praseodímio e disprósio, que perfazem, aproximadamente, 30% do peso total do ímã. Como não possui atividade produtiva comercial, 100% do consumo é importado de países como China, Japão e Alemanha. Com o crescimento da implantação de usinas eólicas e o crescimento da produção de veículos elétricos e híbridos, essa demanda deve crescer, significativamente, nas próximas décadas.

O consumo brasileiro de ETR e seus produtos ainda é baixo, considerando os volumes de consumo mundiais, em especial por conta do baixo número de indústrias que fazem uso e aplicam tais elementos em suas cadeias produtivas. A China, como principal produtor mundial também é o principal consumidor, fruto de suas políticas de atração de cadeias produtivas, premiadas por um baixo custo local de insumos e de acesso às terras raras.

No entanto, devido às iniciativas locais de aproveitamento econômico das reservas brasileiras desses elementos, a segunda maior do mundo, a disponibilidade local, atrelada às políticas públicas de incentivo, pode mudar esse cenário. Considerando o crescimento considerável previsto na demanda por ímãs de terras raras, em especial devido à mobilidade elétrica e geração de energia eólica, o Brasil tem grande oportunidade de estabelecer localmente suas cadeias produtivas e se consolidar não como exportador de ETR, mas como exportador de produtos com ETR de maior valor agregado, a exemplo da China, que é o maior produtor e consumidor mundial de ETR.

3.1.5.7. Exportações das Terras Raras

O Brasil não exportou produtos à base de ETR nas últimas décadas, limitando-se aos volumes de concentrado de monazita da INB, relatadas na Tabela 1.

3.1.5.8. Porte dos Projetos em Andamento e/ou Previstos e Geração de Empregos na Cadeia Produtiva de Terras Raras

A Tabela 3 apresenta um panorama dos projetos em andamento e/ou previstos para a produção de terras raras no Brasil, incluindo a exploração de reservas minerais e processamento mineral, metalurgia dos ETR e principais produtos consumidores, com o ano previsto de início, conforme seu porte, em termos de produção, e listando ainda os estados da federação, onde estão instaladas as operações bem como os números de empregos diretos e indiretos previstos.

Tabela 3. Panorama dos projetos em andamento e/ou previstos para a produção de Terras Raras e Produtos à base de Terras Raras no Brasil, por etapa da cadeia produtiva, no ano de 2022.

Iniciativas de Produção de Concentrados de ETR					
Empresa	Produção (kta)	Produtos	Estado	Empregos diretos	Empregos indiretos
Mineração Serra Verde (MSV)	7	concentrado ETR rico em ETR pesadas	Goiás	300	600
CBMM	3 (*)	concentrado ETR rico em ETR leves	Minas Gerais	não divulgado	não divulgado
Mineradora Tabuleiro	não divulgado	concentrado ETR	Bahia	não divulgado	não divulgado
Canadá Rare Earth Corporation (CREC)	10 estimados	concentrado de ETR	Rondônia	300	4500
Iniciativas de Produção de Óxidos de ETR					
Empresa	Produção	Produtos	Estado	Empregos diretos	Empregos indiretos
CBMM	0,02 (*)	óxido de Ce, La, Nd+Pr, conc. ETR pesadas	Minas Gerais	não divulgado	não divulgado
Iniciativas de Produção de Metais e Ímãs de ETR					
Empresa	Produção	Produtos	Estado	Empregos diretos	Empregos indiretos
LAB-FAB ITR (Codemge)	0,01	Ímãs Nd-Fe-B	Minas Gerais	50	300
Total das Empresas por Porte de Produção (<100kta e > 10kta)					
Porte	Produção	Produtos	Brasil	Empregos diretos	Empregos indiretos
Pequeno	20 ~ 30	Oxidos, concentrados, ímãs		> 2.000	> 10.000
Total	20 ~ 30		Brasil	> 2.000	> 10.000

(*) Unidade Piloto (**) Potenciais estimados.

Atualmente, todos os empreendimentos no Brasil relacionados à produção de ETRs se encontram na fase de projetos, distribuídos nas etapas de processamento mineral, metalurgia e produtos à base de ETR. Todos eles se caracterizam como baixo porte de produção (< 10 kta). No entanto, para esse segmento mineral, com mercado mundial total de, aproximadamente, 280 kta, a efetivação desses projetos indica significativo *marketshare* (aproximadamente 10% do mercado global). Ainda assim, alguns empreendimentos como o projeto da CBMM são considerados como unidades-piloto com grande potencial de expansão. Tendo em vista, que a concentração de monazita no minério é equivalente ao teor de piroclore, fonte do nióbio, principal produto da CBMM, esse projeto, apresenta potencial de produção de até 150 kta de concentrado de ETR ou óxidos individuais de ETR (aproximadamente 50% do mercado global).

A distribuição dos projetos nos estados brasileiros de MG, GO, BA e RO está associada à presença das reservas de terras raras com viabilidade econômica de extração mineral. As reservas de ETR são conhecidas, mundialmente, por apresentarem composição de elementos de interesse com baixos teores em sua grande maioria (inferiores a 10%), o que resulta na escassez de reservas comercialmente viáveis. Os projetos nacionais de exploração de ETR listados estão associados às únicas reservas brasileiras conhecidas até o momento com potencial de viabilidade técnica, econômica e ambiental.

Por se tratar de projetos em seus estágios iniciais de implementação, algumas empresas ainda não possuem números publicamente divulgados de geração de empregos. Considerando apenas os projetos que divulgaram seus números, tem-se potencial de geração de ao menos 2000 empregos diretos e 10.000 empregos indiretos, todos em empreendimentos de pequeno porte (<10 kta). Todavia, a disponibilidade nacional de ETR e seus produtos (como ímãs de terras raras) tem potencial para atração de grandes empresas consumidoras desses produtos; essas com grande empregabilidade, como a indústria automobilística de veículos elétricos e híbridos e de geração de energias renováveis.

Considerando o caráter muito localizado dos projetos indicados, devido à ocorrência natural das reservas nacionais comercialmente exploráveis de ETR, a distribuição dos empregos acompanha o mesmo perfil, concentrado apenas nos estados de MG, GO, BA e RO. Considerando a efetivação dos projetos, e a disponibilidade de ETR brasileiras e seus produtos, diversas indústrias consumidoras podem vir a se instalar em centros econômicos e populacionais

mais importantes, tal como a indústria automotiva de veículos elétricos e híbridos, melhorando a distribuição e número de empregos pelo Brasil.

3.1.5.9. Projeções até 2050 das Terras Raras, em 3 Cenários Hipotéticos

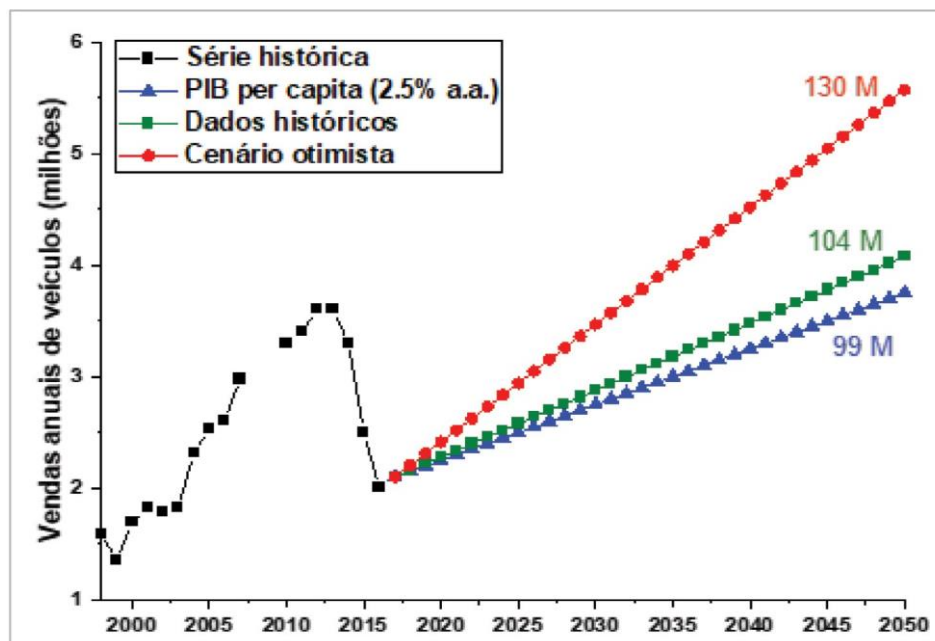
A equipe deste estudo projeta que o mercado mundial de neodímio atinja entre 2,3 e 3 mil toneladas anuais no ano de 2050, no cenário mais otimista, e entre 1,4 e 1,9 mil toneladas anuais, no cenário mais pessimista. As hipóteses utilizadas são descritas abaixo.

Para propor cenários dessa evolução, foram considerados apenas dois mercados consumidores, o de turbinas eólicas e o de carros elétricos. No caso dos veículos elétricos, assumiu-se a utilização de 1kg de ímã por 100 kW de potência elétrica. Assumiu-se, ainda, que os veículos híbridos têm, em média, potência elétrica de 100 kW, e que os veículos elétricos a bateria têm, em média, 200 kW de potência, características que foram assumidas constantes até 2050.

No caso dos carros elétricos, foram utilizados dois cenários de adoção, baseados nas projeções feitas pela EPE no documento Plano Nacional de Energia 2050, publicado em 2020. Aquelas projeções propõem duas perspectivas: Hibridização Progressiva (cenário mais inercial) e Maior Eletromobilidade (cenário otimista), para a eletrificação dos veículos leves, considerando, naquele documento, a evolução da composição porcentual anual de carros a combustão interna, híbridos e elétricos.

Para estimar a evolução do número anual de veículos leves foram adotadas 3 estimativas de crescimento, como se observa na Figura 3.

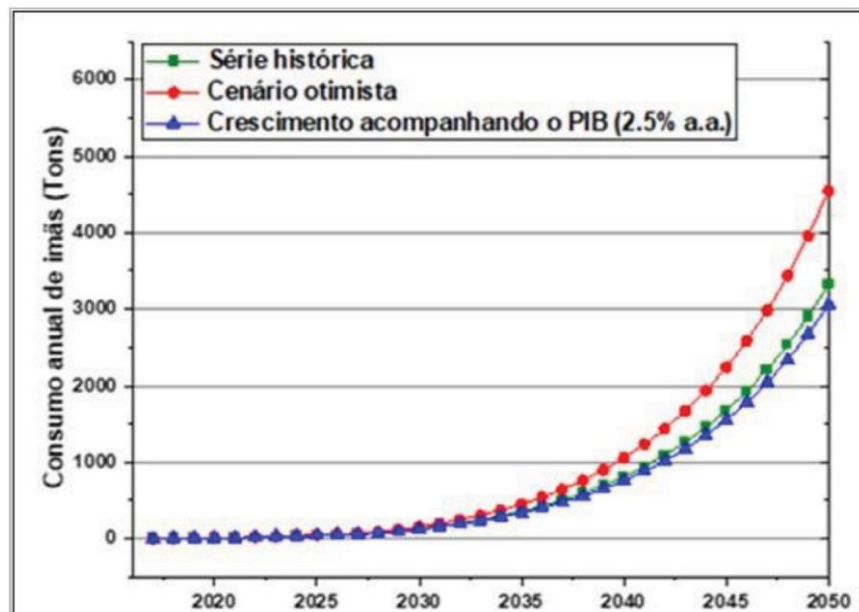
Figura 3 Previsão das vendas anuais de veículos leves (mercado mundial), adotando 3 cenários diferentes: Cenário otimista (curva vermelha), crescimento baseado nos dados históricos (curva verde) e crescimento acompanhando o crescimento do PIB per capita (curva azul).



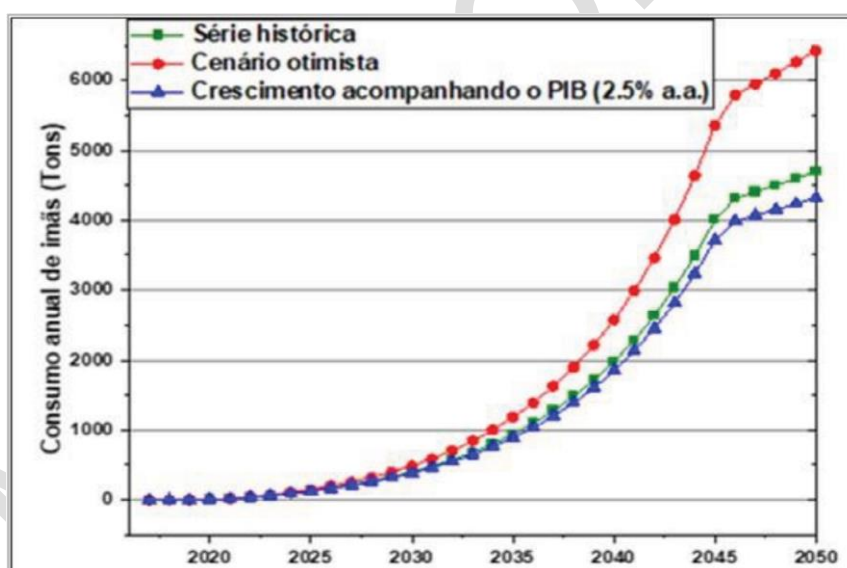
O primeiro cenário é mais otimista e extrapola previsão da ANFAVEA para 2035, supondo crescimento linear do número de veículos, chegando a 130 milhões de veículos por ano, em 2050; a segunda extrapola, linearmente, a evolução real do número de carros entre 2000 e 2020, atingindo 104 milhões de novos veículos; a terceira supõe que o crescimento do número de veículos acompanhará a mesma taxa de crescimento do PIB per capita (2,5% aa) admitido pelo PNE, chegando a 99 milhões de veículos produzidos até 2050. A diferença entre o segundo e o terceiro cenário é que o segundo supõe uma taxa de crescimento anual decrescente, associada ao crescimento linear do número de veículos.

Com base nessas hipóteses, é possível estimar 6 cenários para o consumo anual de ímãs de terras raras em veículos elétricos leves, considerando as perspectivas de Híbridização Progressiva (Figura 4a) e de Maior Eletromobilidade (Figura 4b).

Figura 4 - Consumo anual de ímãs de terras raras com base na demanda mundial de motores elétricos para veículos leves; (a) Híbridação Progressiva e (b) Maior Eletromobilidade.



(a)



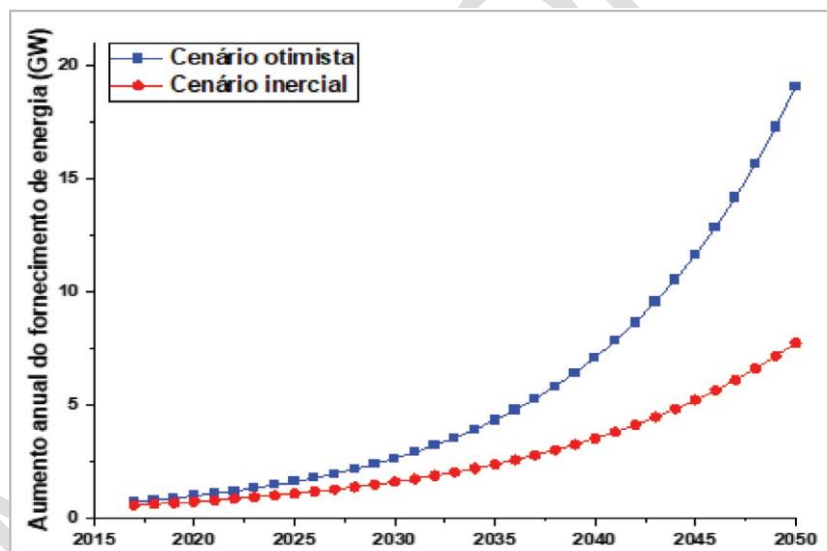
(b)

No caso do cenário Maior Eletromobilidade é possível observar que há uma inflexão no gráfico a partir de 2046. Esse efeito ocorre, pois é nesse ano em que todos os veículos a combustão serão substituídos por veículos eletrificados, sejam eles híbridos ou elétricos; consequentemente, a taxa de crescimento já bem positiva do uso de ímãs sofre diminuição.

Não foi considerada a possível eletrificação dos veículos pesados, por ausência, no momento, de dados técnicos que suportem as premissas. Sendo o consumo atual de diesel maior que o de gasolina, o potencial é significativo.

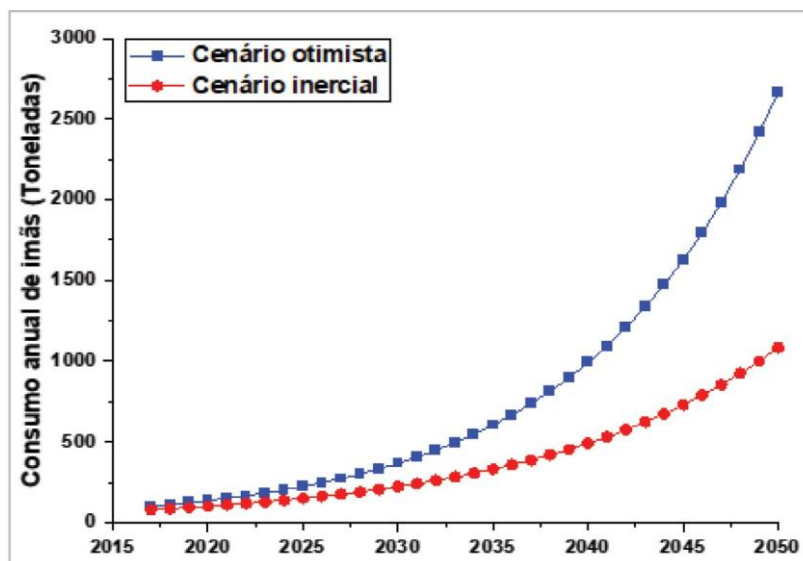
No caso das turbinas eólicas, a projeção do PNE 2050 permite construir dois cenários, e calcular a potência total vendida a cada ano, como mostra a Figura 5. Os cenários, tanto o otimista quanto o inercial, assumem um crescimento de 10,4% aa e de 8,2% aa, respectivamente, atingindo, em 2050, parques instalados de 202 GW e de 102 GW, partindo dos 7 GW de 2017.

Figura 5 - Previsão do aumento anual de fornecimento de energia elétrica a partir da matriz eólica mundial.



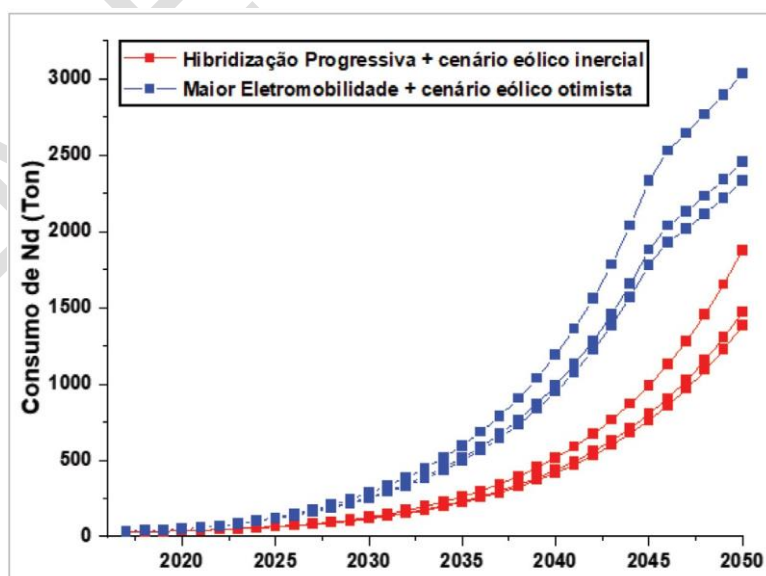
Admitiu-se que apenas 20% das turbinas usarão ímãs de terras raras, nos próximos 30 anos. É importante enfatizar que esse número pode ser maior, caso o aumento da produção anual de energia usando matrizes eólicas sejam de *offshores*. Considerando que cada turbina a ímã permanente consome 0,7 toneladas de ímãs por MW, foi possível estimar a evolução do consumo anual dos ímãs nos dois cenários, como pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 - Consumo anual de ímãs de terras raras com base na demanda mundial de aerogeradores, para os dois cenários.



Por fim, considerando que os ímãs de terras raras utilizam 33% de neodímio na sua composição química, calculou-se a evolução do consumo anual de neodímio metálico até 2050. A Figura 7 sintetiza os resultados apresentados anteriormente em dois cenários: otimista e inercial. No cenário otimista, a demanda de neodímio dos 3 cenários apresentados na condição “maior hibridização” foi somado com o cenário de geração eólica otimista. Já no cenário inercial, a necessidade de neodímio nos cenários “hibridização progressiva” é somada com o cenário eólico inercial. Em ambos os casos, a faixa corresponde à amplitude gerada pelos três cenários possíveis associados com a eletrificação dos carros elétricos.

Figura 7 - Previsão do consumo mundial anual de neodímio, para seis cenários.



3.1.5.10. Usos e Aplicações das Terras Raras

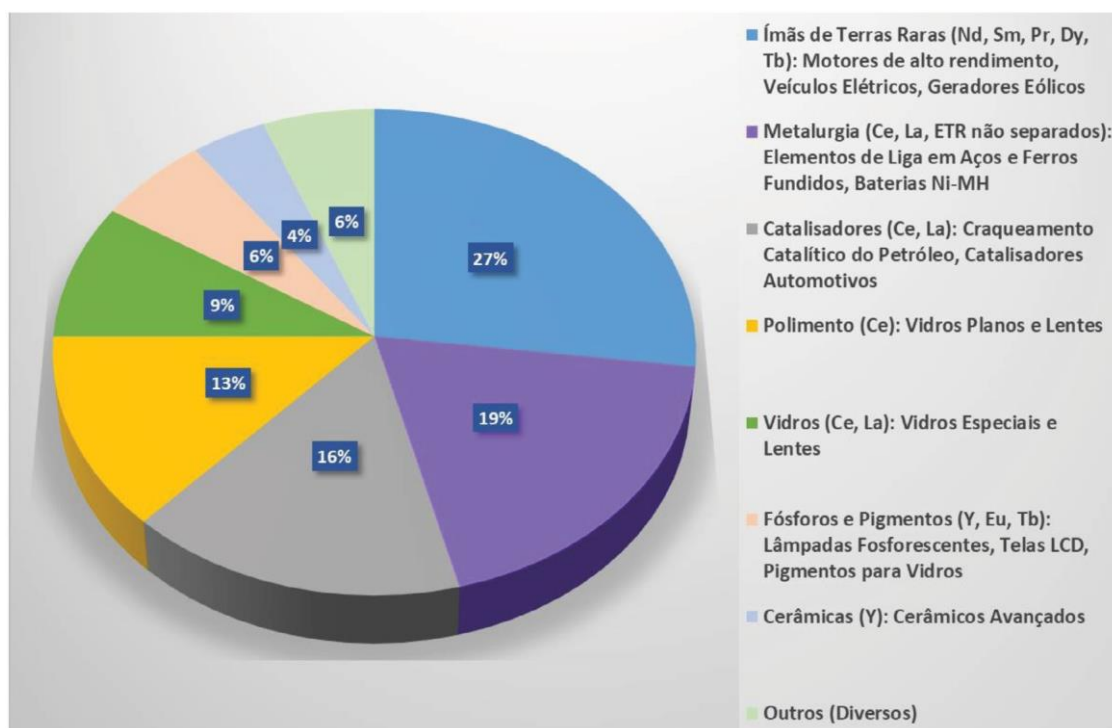
A Tabela 4 apresenta as principais aplicações dos produtos da cadeia das Terras Raras e seus percentuais relativos de uso, enquanto a Figura 8 mostra um resumo das contribuições de cada aplicação para o total do uso das terras raras. Vale ressaltar que, tratando-se de um grupo de 17 elementos químicos, a divisão é complexa, onde um elemento pode atuar em mais de uma aplicação.

Tabela 4. Aplicações e percentuais de uso dos produtos da cadeia das terras raras.

Produto	Principais ETR	Aplicação	Uso (%)
Ímãs de Terras Raras	Nd, Sm, Pr, Dy, Tb	Motores de alto rendimento, Veículos Elétricos, Geradores Eólicos	27%
Metalurgia	Ce, La, ETR não separados	Elementos de Liga em Aços e Ferros Fundidos, Baterias Ni-MH	19%
Catalisadores	Ce, La	Craqueamento Catalítico do Petróleo, Catalisadores Automotivos	16%
Polimento	Ce	Vidros Planos e Lentes	13%
Vidros	Ce, La	Vidros Especiais e Lentes	9%
Fósforos e Pigmentos	Y, Eu, Tb	Lâmpadas Fosforescentes, Telas LCD, Pigmentos para Vidros	6%
Cerâmicas	Y	Cerâmicos Avançados	4%
Outros	Diversos		6%

Fonte: Roskill Rare Earths and Yttrium, 14th Edition. (Roskill, 2011)

Figura 8. Resumo das contribuições de cada aplicação para o total do uso das terras raras.



Fonte: Roskill Rare Earths and Yttrium, 14th Edition. (Roskill, 2011)

O mercado de aplicações dos ETR é extremamente diversificado, uma vez que se trata de um grupo de 17 elementos químicos. Em diversos casos, como em pigmentos e fósforos, o volume total de ETR é pequeno, mas o valor agregado dos produtos é alto. Em outros casos, ETR de menor valor como Ce e La são usadas em grandes quantidades e viabilizam tecnologias como o refino do petróleo. Contudo, é nos ímãs de terras raras que a combinação de elevados volumes de uso e alto valor dos ETR usados ganha maior destaque. Nesse segmento, ao menos quatro elementos são empregados (Nd, Pr, Sm e Dy) e viabilizam setores econômicos de grande importância como a geração de energias limpas e a mobilidade elétrica, através de veículos elétricos e híbridos. É nesse segmento onde o maior crescimento de mercado é esperado.

3.1.5.11. Padrão Tecnológico da Cadeia dos Ímãs de Terras Raras

Como o Brasil não apresenta empreendimentos comerciais em operação relacionados aos ETR, serão discutidos os aspectos produtivos de maior relevância internacional, os quais estão sendo considerados nos projetos em desenvolvimento relacionados aos ETR, em especial à cadeia produtiva dos ímãs de terras raras. Até a fase de separação, o processo abrange todos os ETR

e, a partir dos óxidos separados, cada aplicação segue seu processo produtivo específico. No caso dos ímãs de terras raras, o fluxograma geral do processo, desde a mina até o ímã está indicado na Figura 9.

Figura 9. Fluxograma geral do processo de fabricação de ímãs.



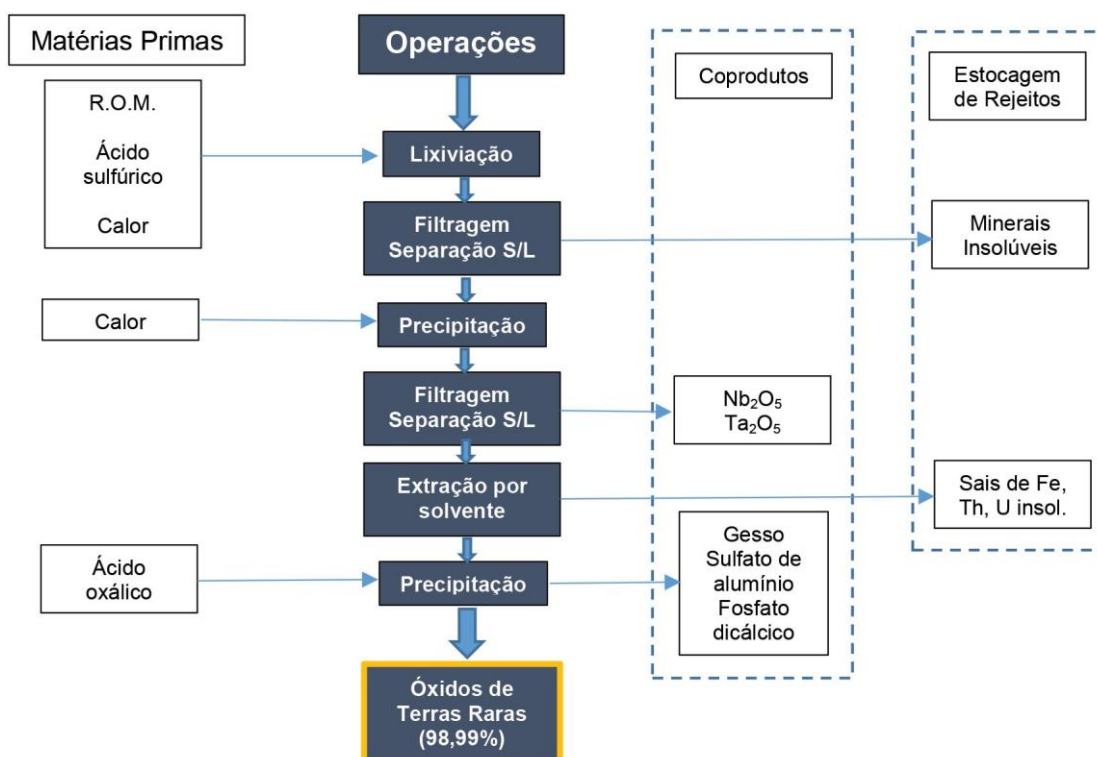
Fonte: CERTI, 2011.

- Processamento Mineral

O Processamento Mineral envolve o conjunto de técnicas que buscam concentrar o minério e purificá-lo para um misto de óxidos de terras raras (OTR), adequados para a próxima etapa, de separação dos óxidos individuais. É um processo intensamente dependente do tipo de mineral portador de ETR (monazita, bastnaesita, argilas iônicas, etc.) e a mineralogia presente (como o mineral portador está associado aos demais minerais presentes). No passado, o Brasil desenvolveu processos de concentração para o aproveitamento de diversas reservas minerais de ETR, que hoje se encontram exauridas ou economicamente inviáveis.

Os novos projetos estão concentrados em empreendimentos privados, como na CBMM (Araxá/MG) e MSV (Minaçu/GO). As empresas trabalham em desenvolvimento interno de processos, com tecnologias de ponta, para atuar, simultaneamente, em menor custo de produção e menor geração de resíduos e contaminantes sólidos e/ou atmosféricos. O fluxograma simplificado, apresentado na Figura 10, é uma das principais rotas utilizadas no minério de Araxá:

Figura 10. Rotas utilizadas no minério da CBMM, em Araxá.



Fonte: Adaptado de Gupta, 2005.

De modo a aumentar o rendimento do processo e reduzir os custos, as principais técnicas em desenvolvimento estão na evolução dos métodos físicos de concentração, de modo a reduzir o uso de ácidos, água e outros consumíveis.

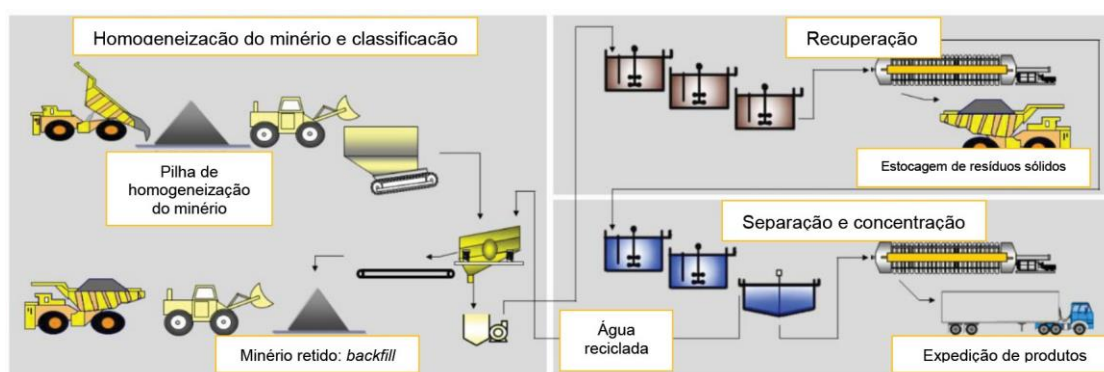
Os principais impactos estão associados aos rejeitos produzidos, em grande volume, dada a baixa concentração inicial dos ETR, o elevado consumo energético nos processos de concentração física e a usual geração de subprodutos radioativos (sais de Th e U), que requerem manuseio e armazenamento adequados.

Nas reservas do tipo argilas iônicas, as técnicas de processamento a céu aberto utilizadas na China são conhecidas pelo seu considerável impacto ambiental, mas é um modo mais econômico de processamento de minerais com concentração muito baixa de ETR, em especial por atividades ilegais de mineração. É um processo que, quando realizado de maneira não confinada, pode levar à contaminação do solo por ácidos e subprodutos tóxicos.

Atualmente, a mineração ilegal na China vem sendo suprimida e as empresas estão sendo fiscalizadas pelo governo para aplicar técnicas de produção

ambientalmente responsáveis. No Brasil, a empresa mais avançada em projetos de exploração de argilas iônicas (MSV) informa que substituiu o processo em aberto (*heap leaching*) por um processo confinado de alta tecnologia (*agitated leaching + continuous filtration through pressure filters processes - ALF*), de acordo com o fluxograma da Figura 11.

Figura 11. Fluxograma do processo ALF, de tratamento das argilas iônicas.

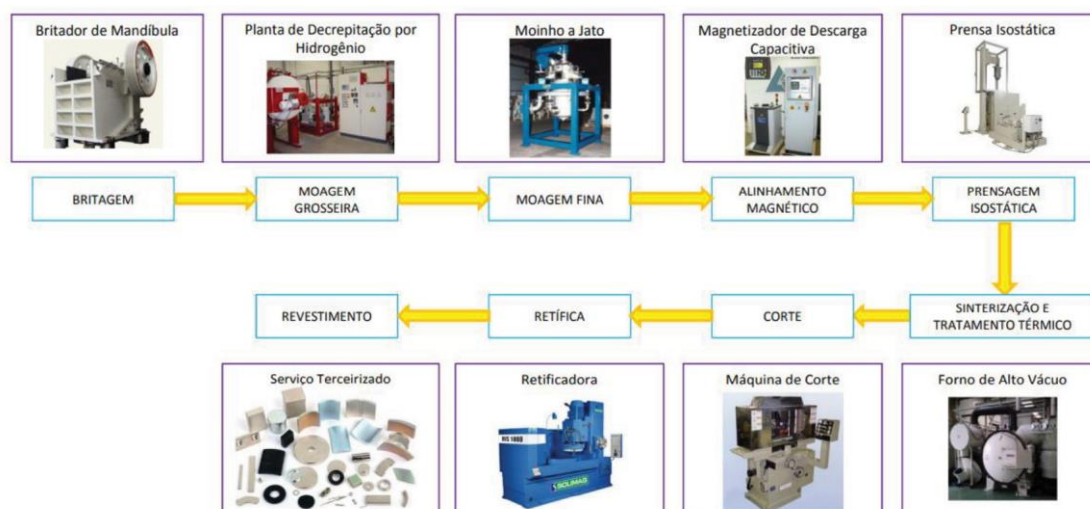


Fonte: Adaptado de MSV, 2022.

- Processamento do Ímã

Dentre as principais aplicações dos ETR na indústria, destaca-se a crescente fabricação de materiais magnéticos, devido às propriedades físico-químicas peculiares de alguns desses elementos. A fabricação de ímãs sinterizados de ETR está ligada a um complexo controle microestrutural, para obtenção de propriedades magnéticas satisfatórias. O processo de metalurgia do pó é o único capaz de atender a essas demandas de processamento, em função das características das matérias primas particuladas e do desenvolvimento microestrutural, durante a etapa de sinterização. O processo tradicional de fabricação de ímãs está descrito no Fluxograma apresentado na Figura 12.

Figura 12. Fluxograma da rota tecnológica de produção de ímãs de ETR predominante (piloto) no Brasil.



Fonte: Lopes, 2015.

Vale ressaltar que não existe a produção de ímãs de ETR's em escala industrial no Brasil. Existe a iniciativa da Codemge, no Estado de Minas Gerais, com a implantação do Laboratório Fábrica (LabFabITR). Em fase final de comissionamento dos equipamentos, o LabFabITR terá capacidade produtiva de 100 t/ano de ímãs. Esta iniciativa da Codemge está baseada no processo tradicional de fabricação de ímãs, descrito na figura 12.

Localizado em Lagoa Santa/MG, é o primeiro laboratório-fábrica de ligas e ímãs de terras-raras do hemisfério sul. O empreendimento busca suprir parte da demanda nacional pelos ímãs sinterizados de neodímio-ferro-boro (NdFeB), utilizados em equipamentos como motores e geradores elétricos de alta eficiência.

A iniciativa agrega laboratório, criado a partir da formação de um consórcio tecnológico, e uma fábrica que disponibiliza serviços que abrangem desde o desenvolvimento de um novo produto até a sua industrialização, seja na forma de protótipo ou através da produção em pequenos lotes.

Unindo recursos de P&D e de produção industrial, o LabFabITR é um ambiente para o desenvolvimento de aplicações envolvendo:

- Projeto de ligas e ímãs
- Desenvolvimento e otimização de processos
- Estudo de diferentes composições de materiais

- Avaliação de impactos ambientais
- Industrialização da solução
- Desenvolvimento de novas aplicações

O laboratório-fábrica foi projetado para uma capacidade anual inicial de 23 toneladas.

- Inovações nos Processos Produtivos

Como rotas alternativas e de ruptura tecnológica, destaca-se, a fabricação de ímãs a partir do processo de Moldagem de Pós por Injeção (MPI) e via Manufatura Aditiva (MA). Estes processos têm como vantagem a possibilidade de fabricação de geometrias complexas e miniaturizadas, chamadas de “near net shape”, diminuindo operações de usinagem e, conseqüentemente, reduzindo a perda de material.

No processo tradicional de fabricação, destacam-se como avanços tecnológicos os seguintes itens:

- a) Substituição do neodímio da liga NdFeB pelas terras raras leves Ce e La;
- b) Redução do uso do elemento disprósio, através de técnicas de adição deste elemento por processos de difusão (GBD - *Grain Boundary Diffusion*).

Lista de referências:

BGS, 2011: British Geological Survey em: https://www2.bgs.ac.uk/mineralsuk/download/mineralProfiles/rare_earth_elements_profile.pdf

CODEMGE, 2022: <http://www.codemge.com.br/investidores/labfabitr/>. Acessado em 05/07/2022

Bonfante, 2021: BONFANTE, Mariele Canal. Modelo de Gestão Baseado em Práticas ESG para a Sustentabilidade do Laboratório Fábrica de Ímãs de Terras Raras. 2021. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

CERTI, 2011: Pré-projeto industrial para a implantação de um laboratório-fábrica de ímãs de terras-raras no brasil. Fundação CERTI, ABDI-MCTI, 2011.

Conexão Mineral, 2022: [https://www.conexaomineral.com.br/noticia/2575 / planta-piloto-de-terras-raras-desenvolvida-pela-mineradora-tabuleiro-e-o-senai-cimatec-e-inaugurada-na-bahia.html](https://www.conexaomineral.com.br/noticia/2575/planta-piloto-de-terras-raras-desenvolvida-pela-mineradora-tabuleiro-e-o-senai-cimatec-e-inaugurada-na-bahia.html), Acesso em Abril de 2022

CRE, 2022: <http://www.canadarareearth.com/12-april-2022>, Acesso em Abril de 2022

Gupta, 2005: GUPTA, C. K.; KRISHNAMURTHY, N. Extractive Metallurgy of Rare Earth. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2005. 504p.

LABFABITR, 2022: <http://labfabitr.com.br/sobre/labfabitr/>, Acesso em Abril de 2022

Lopes, 2015: Lopes, L. U. e Wendhausen, P. A. P.; Apresentação no Workshop Empresarial “Cadeia Produtiva de Ímãs de Terras Raras no Brasil” – ABDI/MCTI, 2015.

MSV, 2022: Mineração Serra Verde em [https://serraverde.com/ br/home-br/](https://serraverde.com.br/home-br/), Acesso em Abril de 2022

Roskill, 2011: Rare earths & yttrium: market outlook to 2015, 14th edn. Roskill Information Service, London.

Schneider, 2013: Schneider, C – Apresentação na 1ª Audiência Pública – Senado, 14 de Maio de 2013, como Subsídio à Subcomissão temporária para elaboração do Projeto de Lei do “Marco Regulatório da Mineração e Exploração de Terras-Raras no Brasil”.

SGM, 2022: Oficina de Minerais para a Transição Energética. SGM/MME/ PNM2050 Teleconferência 03/06/2022

SMTR, 2021: Extração dos elementos de terras raras na CBMM. Apresentação no V Seminário Brasileiro de Terras Raras, abril de 2021.

USEPA, 2022a: <https://www.epa.gov/radiation/tenorm-rare-earths-mining-wastes> Acessado em 05/09/2022

USEPA, 2022b: <https://www.epa.gov/radiation/technologically-enhanced-naturally-occurring-radioactive-materials-tenorm>. Acessado em 05/09/2022

USGS, 1995-2021: U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries 1995-2021 em: <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/rare-earths-statistics-and-information>

WMS, 1970-1990: World Mineral Statistics 1970-1990 em: <https://www2.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/worldArchive.html>

EM EDITORAÇÃO

PLANO NACIONAL DE MINERAÇÃO 2050

PNM 2050

CADEIAS PRODUTIVAS 6: NÍQUEL

Caderno 3: Cadeias Produtivas dos Minerais para a Transição Energética

CADEIAS PRODUTIVAS 6: NÍQUEL.....	167
3.1. Caracterização das Cadeias Produtivas	168
3.1.6. Cadeia Produtiva do Níquel	168
3.1.6.1. Polos produtivos minero-industriais no Brasil, da Cadeia Produtiva do Níquel	168
3.1.6.2. Parque Produtivo do Níquel no Brasil	171
3.1.6.3. Consumo Energético e Emissão de CO ₂ , da Cadeia Produtiva do Níquel	172
3.1.6.4. Utilização de Água, da Cadeia Produtiva do Níquel	173
3.1.6.5. Geração de Resíduos, da Cadeia Produtiva do Níquel	173
3.1.6.6. Geração de Resíduos Sólidos, da Cadeia Produtiva do Níquel	174
3.1.6.7. Produção do Níquel	174
3.1.6.8. Consumo de Níquel	177
3.1.6.9. Importações de Níquel	179
3.1.6.10. Exportações de Níquel e Balanço de Níquel Contido.....	182
3.1.6.11. Porte das Empresas e Geração de Empregos	184
3.1.6.12. Porte dos Projetos em Andamento e/ou Previstos e Geração de Empregos	185
3.1.6.13. Projeções até 2050 do Níquel em Cenário Hipotético	185
3.1.6.15. Padrão Tecnológico da Cadeia do Níquel	189

3.1. Caracterização das Cadeias Produtivas

3.1.6. Cadeia Produtiva do Níquel

O Brasil detém uma das principais reservas, sendo um dos principais produtores de níquel no mundo, comercializando-o tanto na forma de concentrado como também na forma de liga de Fe-Ni. As principais empresas produtoras de níquel no Brasil são a Anglo American, Vale SA e a Atlantic Nickel. Em todo o mundo, a Vale S.A. produziu 214 mil toneladas de níquel, principalmente para venda ao mercado chinês, em 2020. Os principais produtores são Indonésia, Filipinas e Rússia. O níquel é usado principalmente em ligas para aços inoxidáveis e em baterias.

3.1.6.1. Polos produtivos mínero-industriais no Brasil, da Cadeia Produtiva do Níquel

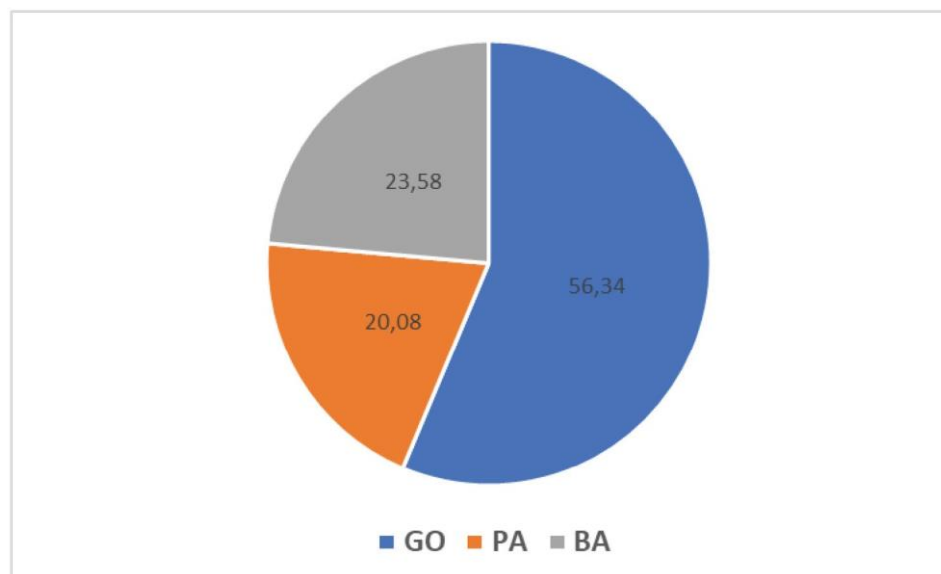
A Tabela 1 e Figura 1 apresentam os polos produtivos do Níquel no Brasil, no ano de 2021, juntamente com nível de concentração da produção, percentual de participação de capital nacional com distribuição no território nacional.

Tabela 1. Polos produtivos no Brasil da cadeia produtiva do níquel, no ano de 2020.

<i>Estado</i>	<i>Município</i>	<i>Empresa</i>	<i>Produtos</i>	<i>Produção (kt contidas)</i>	<i>Participação na Produção (%)</i>
GO	Niquelândia e Barro Alto	Anglo American	Fe-Ni	43,5	56,3
PA	Onça Puma	Vale S.A.	Fe-Ni	15,5	20,1
BA	Itagibá	Atlantic Nickel	Concentrado	18,2	23,6

Fontes: AMB 2022a.

Figura 1. Participação percentual dos polos produtivos no Brasil da cadeia produtiva do níquel por estado, em 2020.



Fontes: AMB 2022a.

A empresa Anglo American atua em duas localidades no estado de Goiás. A operação em Niquelândia (Codemin) é a mais antiga no Brasil, e está em funcionamento desde 1982. A operação em Barro Alto começou a produção de Fe-Ni em 2011, a partir da extração a céu aberto de níquel saprolítico. A empresa produziu 43,5 mil toneladas de níquel contido em Fe-Ni, no ano de 2020.

A Vale S.A., principal produtora de níquel no mundo, atingiu no 1º trimestre/2022 a marca de 45,8 mil toneladas em todo o mundo. No Brasil, atua na mina de Onça Puma, no estado do Pará, onde lavra minério laterítico e produziu, em 2020, 15,5 mil toneladas de níquel contido em Fe-Ni.

AAntlantic Nickel atua na cidade de Itagibá, no estado da Bahia, operando uma das maiores minas de níquel sulfetado a céu aberto do mundo e produziu, em 2020, 18,2 mil toneladas de níquel contido em concentrado. Dista 140 km do Porto de Ilhéus, no mesmo estado, onde a empresa escoar a produção de concentrado de níquel.

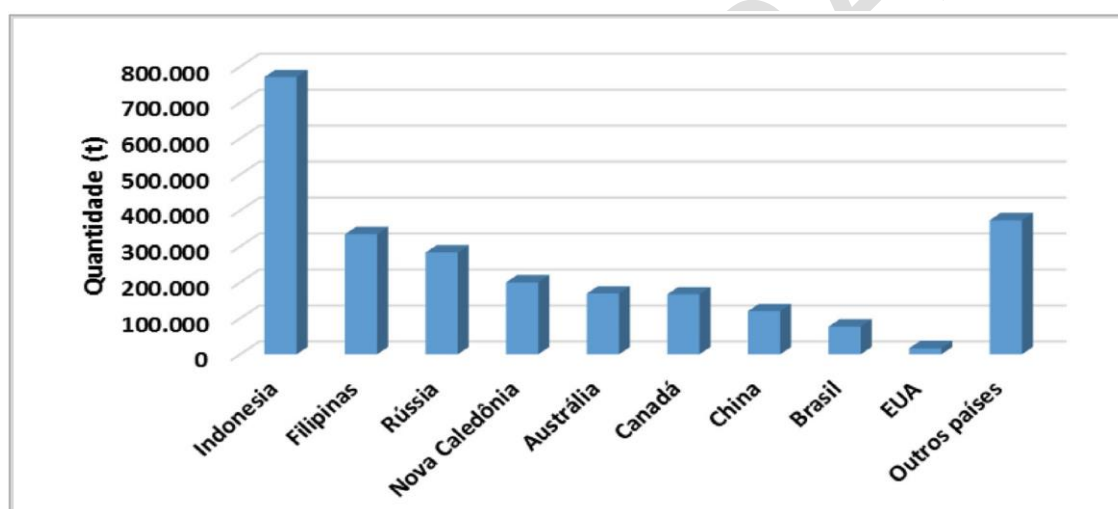
Tais produções colocam o Brasil, no ano de 2020, na 8ª posição no ranking mundial na produção de níquel, conforme apresentado na Tabela 2 e na Figura 2, juntamente com os 9 países com maiores produções no mundo.

Tabela 2. Ranking dos principais produtores mundiais de níquel, no ano de 2020.

Colocação/País	Produção (t)
1° Indonésia	771.000
2° Filipinas	334.000
3° Rússia	283.000
4° Nova Caledônia	200.000
5° Austrália	169.000
6° Canadá	167.000
7° China	120.000
8° Brasil	77.100
9° EUA	16.700
Outros países	373.000
Total	2.510.800

Fonte: USGS (2022)

Figura 2. Ranking dos principais produtores mundiais de níquel, no ano de 2020.



Fonte: USGS (2022)

Globalmente, existem mais de 95 milhões de toneladas métricas em reservas medidas de níquel contido em minério de níquel, segundo a USGS (2022). Indonésia e Austrália têm as maiores reservas mundiais conhecidas de níquel, com 21% cada país. O Brasil é o terceiro maior detentor de reservas, com 17%, seguido de Rússia, Filipinas, China, Canadá, dentre outros.

O principal produtor de níquel no mundo é a Indonésia, colocando a Ásia como a principal produtora de níquel no mundo, seguida por Oceania e América.

3.1.6.2. Parque Produtivo do Níquel no Brasil

Há 3 grandes empresas que produzem níquel no Brasil, Vale, Anglo American e Atlantic Níquel. O Projeto Araguaia é considerado de grande porte, realizado pela empresa Horizonte Minerals, que ainda está em construção e operará desde a lavra até a produção no estado do Pará, nos projetos Araguaia e Vermelho. O Projeto Araguaia irá produzir Fe-Ni por processo com fornos rotativos para mercado de aços inoxidáveis com previsão de produção de 21 mil toneladas de níquel a partir de uma reserva de óxido (laterítico) com tempo de exploração do minério superior a 28 anos. O investimento no primeiro estágio é de US\$ 443 milhões, e no segundo estágio de US\$ 251 milhões, com *payback* de 4 e 5 anos, respectivamente.

O projeto Vermelho deverá produzir Níquel e Cobalto para o setor de baterias por processamento hidrometalúrgico (HPAL) com produção esperada de 24kt de Níquel e 1,2kt de Cobalto com tempo de exploração do minério superior a 38 anos. investimento no primeiro estágio é de US\$ 652 milhões, e no segundo estágio de US\$ 652 milhões, com *payback* de 4 e 3 anos, respectivamente.

O projeto da Brazilian Nickel, no Piauí, outro exemplo do parque produtivo de Níquel, que entrou em operação em julho de 2022. O Projeto Níquel do Piauí é um projeto de lixiviação de pilhas de níquel laterítico com 72 milhões de toneladas a 1,0% de níquel e 0,05% de cobalto. A mineração será, portanto, um processo direto de extração a céu aberto.

A empresa Anglo American atua na produção de Fe-Ni de níquel nas cidades de Niquelândia e Barro Alto, no estado de Goiás. A operação de lavra, a partir do minério saprolítico, acontece em Barro Alto, em mina a céu aberto. A operação industrial para produção do Fe-Ni (beneficiamento) acontece em Niquelândia e Barro Alto, sendo a mais antiga da empresa no Brasil.

A produção de níquel na forma de Fe-Ni pela empresa Vale acontece no estado do Pará. A produção no primeiro trimestre de 2022 aumentou 13%. O minério laterítico utilizado é proveniente da região, a uma distância de 16km.

As operações da Atlantic Nickel ocorrem em Itagibá, no estado da Bahia. A produção de níquel está localizada na Mina Santa Rita, situada no município de mesmo nome.

A Tabela 3 apresenta as empresas no Brasil, com os estados onde estão instaladas, a produção e o processamento, relativos à cadeia do níquel.

Tabela 3. Parque produtivo de níquel no Brasil, em 2021.

Empresa	Estado	Produção (t ROM)	Beneficiado (t)	Processo
Anglo American Níquel Brasil Ltda	GO	3.519.592	159.992 (26,09% Ni)	Calcinador rotativo e forno elétrico (RKEF)
Vale S.A.	PA	2.647.940	73.855 (25,83% Ni)	Calcinador rotativo e forno elétrico (RKEF)
Atlantic Nickel Mineração Ltda.	BA	6.281.020	108.421 (14,00% Ni)	Flotação

3.1.6.3. Consumo Energético e Emissão de CO₂, da Cadeia Produtiva do Níquel

Os dados divulgados pela empresa Vale consolidam em valores totais as emissões e consumos energéticos de todas as suas operações mundiais para produção de níquel. De acordo com os dados disponíveis no site da companhia, houve redução em 85% na emissão de SO₂ e 40% de gases de efeito estufa (Canadá) a partir de 2018.

Mistry et al. (2016) fizeram um levantamento sobre o ciclo produtivo do níquel, no qual consideram a produção de 1kg de Fe-Ni, com taxa de consumo de eletricidade de 11,5kWh/kg. Com base nesse estudo, estima-se que o consumo energético da Anglo American, Vale e Atlantic Nickel, em 2021, foram de, respectivamente, 500 MWh, 2.090 MWh, e 1.269 MWh. Seria importante as empresas que integram a cadeia do Níquel adotarem medidas de eficiência energética e a viabilização do suprimento energético a partir de fontes renováveis.

No caso da emissão de CO₂, os mesmos autores reportam emissão de 8,5 kg de CO₂ por kg de Fe-Ni produzido. Assim, a partir dos dados de produção da Anglo American, Vale e Atlantic Nickel, estimam-se, respectivamente, 369 t, 1.545 t e 938 t de CO₂ emitidos. Para a redução de emissão de CO₂, o uso de caminhões movidos a energia elétrica podem ser uma alternativa, apesar de que

o resultado seria baixo. Uma alternativa seria o uso de biomassa como substituto de combustíveis fósseis.

O projeto de Araguaia, da Horizonte Minerals, deverá começar a produção e Fe-Ni com geração de 29 toneladas de CO₂ por tonelada de produto e deverá diminuir para 14 toneladas de CO₂.

3.1.6.4. Utilização de Água, da Cadeia Produtiva do Níquel

O consumo de água nas etapas de produção de Fe-Ni não são reportados, assim como o consumo em outras áreas das plantas de obtenção de níquel e tratamento de efluentes industriais. De acordo com o *Nickel Institute*, o consumo médio de água para produção de Fe-Ni é de 924 kg por tonelada.

Assim, a partir dos dados de produção, a estimativa de o consumo de água, em 2021, da Anglo American é de 40.194 t, e para da Vale, fica estimada em 167.983 t.

3.1.6.5. Geração de Resíduos, da Cadeia Produtiva do Níquel

A geração de resíduos no Brasil, da cadeia produtiva do níquel, não é reportada. Desta forma, não é possível mensurar potenciais de reaproveitamento de resíduos em outros segmentos ou em obras de infraestrutura juntamente com as práticas de prevenção ou mitigação de impactos ambientais. Tipicamente, os resíduos do beneficiamento de níquel podem apresentar teores elevados de cobalto, o que pode tornar tais resíduos em matéria-prima para outra cadeia produtiva.

De acordo com os dados de Bai et al. (2022), a geração de resíduos sólidos para a lavra e o processamento pirometalúrgico (obtenção do Fe-Ni) é em torno de 123 kg por tonelada de Fe-Ni produzido. Assim, a quantidade de resíduo anual gerado pela Anglo American é em torno de 5.383 t, e para a Vale seria de 22.494 t. A classificação desses resíduos, antes de possível aproveitamento, deve ser Perigosos e Não-perigosos, com disposição em aterros sanitários e barragens.

3.1.6.6. Geração de Resíduos Sólidos, da Cadeia Produtiva do Níquel

O resíduo da produção de Fe-Ni pode conter cobalto, o que neste caso tem grande potencial como matéria-prima para outra cadeia produtiva. Contudo, a ausência de dados mais precisos inviabiliza análises de potenciais aplicações deste e de outros resíduos sólidos que são gerados na cadeia produtiva de níquel. O grau de reciclagem e o panorama de utilização de sucatas e de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos não pode ser mensurado devido à ausência de relatórios públicos.

A partir dos dados de Bai et al. (2022), a geração de resíduos sólidos para produção de 1 tonelada de Fe-Ni é de 10,4 kg, considerando as etapas de lavra e processamento térmico.

De acordo com os dados disponíveis no site da Vale, as operações no Reino Unido reciclaram 85% dos resíduos gerados em 2011. Ainda, no caso do processamento de níquel para obtenção da liga de Fe-Ni, é improvável que sejam utilizados sucatas ou resíduos eletroeletrônicos no processo.

3.1.6.7. Produção do Níquel

A produção no Brasil de níquel, a cada ano, desde 2010 até 2020, é mostrada na Tabela 4, por estado da federação, e no gráfico da Figura 3, com os totais consolidados para o país.

Tabela 4. Produção brasileira de níquel, por estado, de 2010 a 2020.

Produção de níquel (t de Ni contido)											
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
BA	10.375	15.854	19.253	15.622	12.048	16.112	3.876	0	0	1.523	18.223
GO	40.320	48.660	48.858	50.587	75.956	48.800	50.615	43.800	42.310	42.578	43.484
MG	13.211	12.444	12.773	10.800	0	0	0	0	0	17	8
PA	0	6.970	5.765	1.884	21.393	24.390	24.134	25.003	22.944	11.643	15.427
PI	0	0	0	0	0	0	26	0	0	0	0
TOTAL	63.905	83.929	86.649	78.893	109.397	89.302	78.651	68.803	65.254	55.761	77.142

Fontes: AMB, (2022a)

Figura 3. Produção brasileira de níquel, por estado e total do Brasil, de 2010 a 2021.



Fontes: AMB, (2022a)

A produção brasileira de níquel vinha crescendo até 2015/16, quando atingiu um pico de produção de 109 kt contidas, e depois decresceu para um patamar de 77 kt contidas. Atualmente 56% da produção brasileira provém do estado de Goiás, seguido pelo estado da Bahia (24%) e do Pará (20%).

A produção de níquel no Brasil teve alguns fatores de redução recentemente. Especificamente, a Votorantim Metais paralisou as atividades em Fortaleza de Minas, MG, em 2013, em função do mercado desfavorável, e as atividades da mina em Niquelândia, GO, em 2016, com dispensa de 800 funcionários. As atividades de mineração da Vale na mina de Onça-Puma tiveram que ser suspensas temporariamente, por decisão judicial, em 2021.

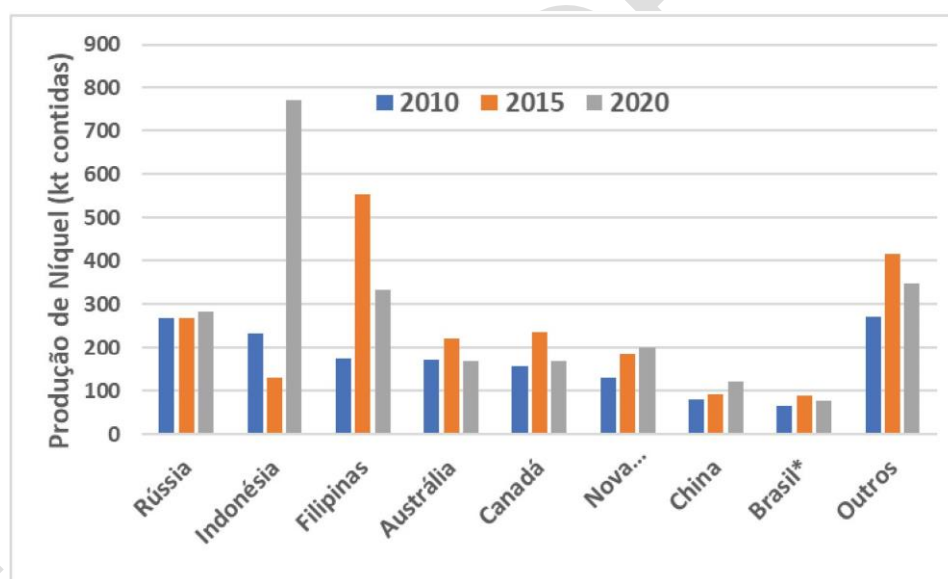
Em 2020, o Brasil se colocou na 8ª posição no ranking mundial de produtores de níquel. A Tabela 5 e a Figura 4 mostram a evolução do ranking mundial, destacando os 8 países maiores produtores.

Tabela 5. Ranking dos principais produtores mundiais de níquel.

Colocação País 2010	Produção (kt contidas)	Colocação País 2015	Produção (kt contidas)	Colocação País 2020	Produção (kt contidas)
Rússia	269	Filipinas	554	Indonésia	771
Indonésia	232	Rússia	269	Filipinas	334
Filipinas	173	Canadá	235	Rússia	283
Austrália	170	Austrália	222	Nova Caledônia	200
Canadá	158	Nova Caledônia	186	Austrália	169
Nova Caledônia	130	Indonésia	130	Canadá	167
China	79	China	93	China	120
Brasil*	64	Brasil*	89	*Brasil	77
Outros	270	Outros	417	Outros	349
Total	1.590	Total	2.280	Total	2.510

Fontes: *ANM, (2020a) e USGS, (2012- 2022).

Figura 4. Principais produtores mundiais de níquel.



Fonte: USGS, (2022)

Desde 2010, Rússia, Indonésia e Filipinas estão entre os maiores produtores de níquel no mundo, com aumento expressivo da Indonésia de 2015 para 2020. A produção da Rússia, 3º maior produtor em 2020, se manteve estável ao longo dos anos. A produção do Brasil aumentou de 2010 para 2020, mas flutuou ao longo da década, em função de paralisação de unidades e abertura de novas operações.

3.1.6.8. Consumo de Níquel

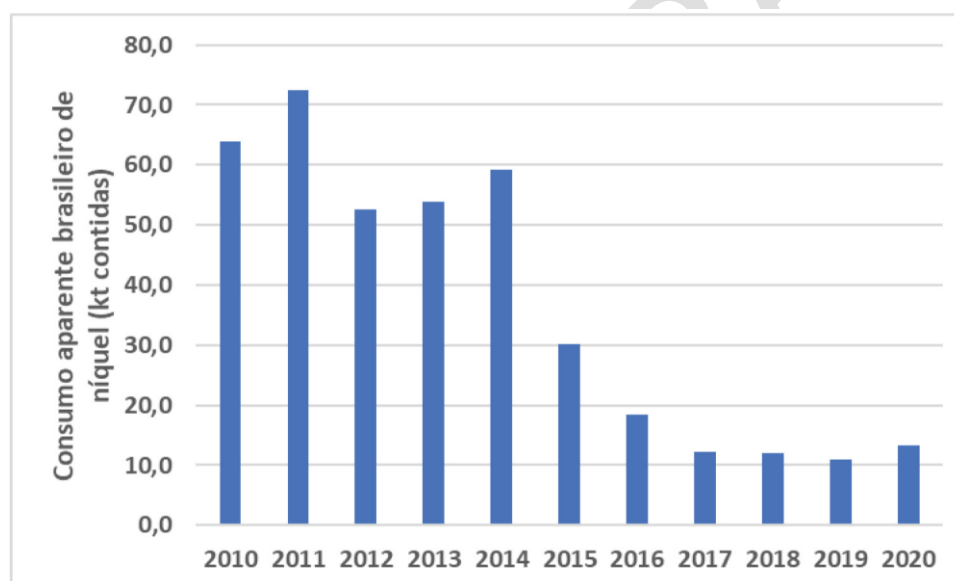
O consumo aparente nacional de níquel contido (produção + importação – exportação), a cada ano, desde 2010 até 2020, é mostrado na Tabela 6 e na Figura 5. O teor médio de níquel nos concentrados foi adotado como 14% e no Fe-Ni como 27%. O estoque não é levado em consideração na estimativa do consumo aparente.

Tabela 6. Consumo aparente brasileiro de níquel, de 2010 a 2020

	Consumo Aparente de Níquel (kt contidas)										
Brasil	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Total	63,9	72,3	52,6	53,8	59,1	30,2	18,4	12,1	12,1	10,9	13,2

Fontes: AMB, (2022a) e COMEXSTATS MDIC, (2022), U01 2022, U02 2022.

Figura 5. Consumo aparente brasileiro de níquel, de 2010 a 2020



Fontes: AMB, (2022a) e COMEXSTATS MDIC, (2022), U01 2022, U02 2022.

As ligas de ferro-níquel são as fontes de consumo de maior representatividade no mercado nacional de níquel e elas aumentaram significativamente a produção em 2015, tendo retornado aos níveis anteriores nos anos seguintes. Seja na forma de concentrados, liga Fe-Ni ou de Ni metálico, o Brasil não se encontra entre os principais países consumidores de níquel.

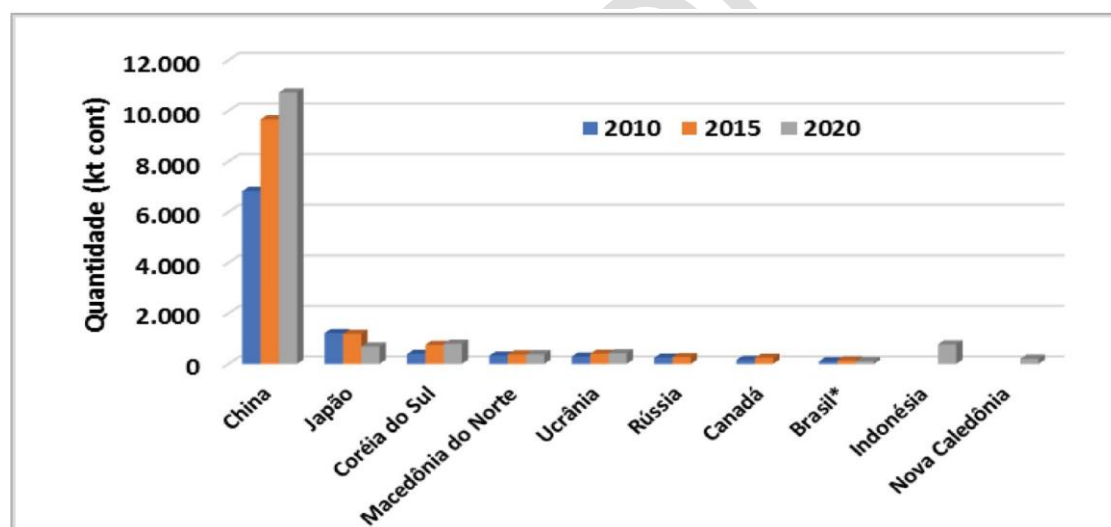
A Tabela 7 e Figura 6 mostram o ranking mundial dos maiores consumidores de níquel no mundo.

Tabela 7. Ranking dos principais consumidores mundiais de níquel.

	País 2010	Consumo (kt contidas)	País 2015	Consumo (kt contidas)	País 2020	Consumo (kt contidas)
1	China	6.824	China	9.655	China	10.719
2	Japão	1.220	Japão	1.187	R. Coreia	792
3	R. Coreia	389	R. Coreia	754	Indonésia	771
4	Macedônia do Norte	327	Ucrânia	395	Japão	680
5	Ucrânia	292	Macedônia do Norte	367	Ucrânia	420
6	Rússia	241	Rússia	269	Macedônia do Norte	373
7	Canadá	158	Canadá	235	Nova Caledônia	200
	Brasil*	64	Brasil*	30	Brasil*	13

Fontes: USGS, (2022); U01 e U02 (2022); AMB, (2022a) e COMEXSTAT MDIC, (2022). *Abaixo da 8ª posição.

Figura 6. Principais consumidores mundiais de níquel.



Fontes: USGS, (2022); U01 e U02 (2022); AMB, (2022a) e COMEXSTAT MDIC, (2022).

Em 2020, o Brasil se colocou em posição de pouco destaque no consumo global de níquel, junto com os outros países do continente americano. O consumo de níquel primário da China em 2020 representou 59% do consumo global. A Europa e a África juntas consumiram 13% do níquel primário em todo o mundo em 2020. Nas duas últimas décadas, o preço médio do níquel dobrou e depois caiu para os

níveis anteriores. Em 2000, o níquel foi comercializado por cerca de US\$ 8.638 por tonelada, passando a US\$ 22.910 por tonelada em 2011, recuando para US\$ 13.787 por tonelada, em 2020, e já alcançando um preço médio por tonelada, em 2021, de US\$ 18.488.

3.1.6.9. Importações de Níquel

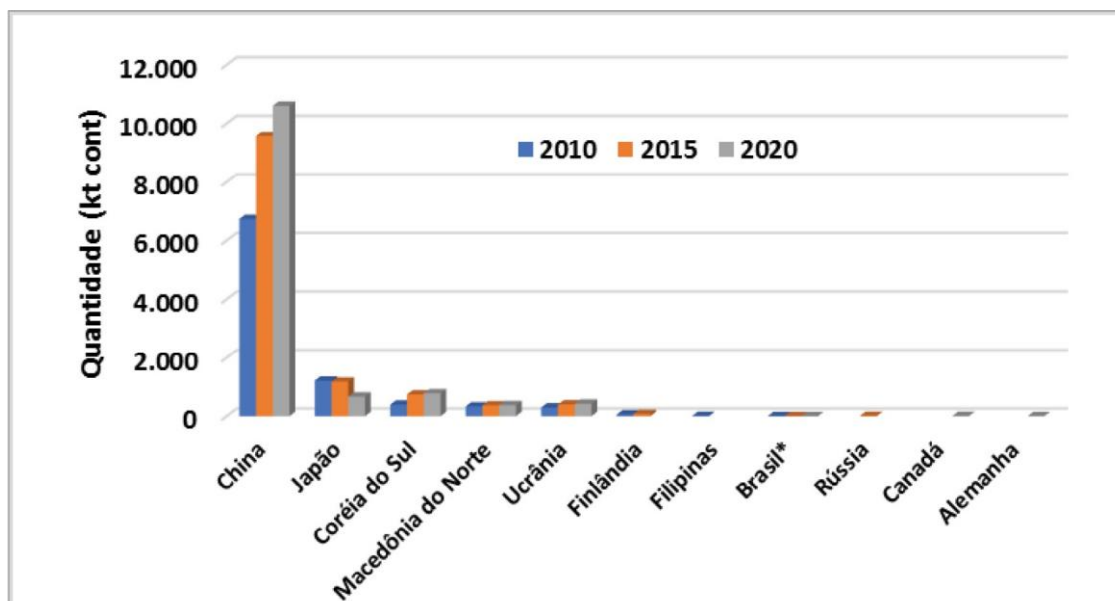
O Brasil não reporta importações relevantes de níquel. A Tabela 8 e as Figuras 7a e 7b mostram a evolução do ranking mundial dos países com maiores importações no mundo na forma de minérios e concentrados. Como se depreende dos dados do Brasil, a importação de minério de níquel deve se resumir em casos muito específicos e localizados, não tendo grande relevância em termos nacionais.

Tabela 8. Ranking dos principais importadores mundiais de níquel, na forma de minérios e concentrados.

	País 2010	Importação (kt contidas)	País 2015	Importação (kt contidas)	País 2020	Importação (kt contidas)
1	China	6.745	China	9.562	China	10.599
2	Japão	1.220	Japão	1.187	R. Coreia	792
3	R. Coreia	389	R. Coreia	754	Japão	680
4	Macedônia do Norte	327	Ucrânia	395	Ucrânia	420
5	Ucrânia	292	Macedônia do Norte	367	Macedônia do Norte	373
6	Finlândia	59	Finlândia	73	Canadá	5
7	Filipinas	9	Rússia	8	Alemanha	1
	Brasil	0,01	Brasil	0,11	Brasil	0,04

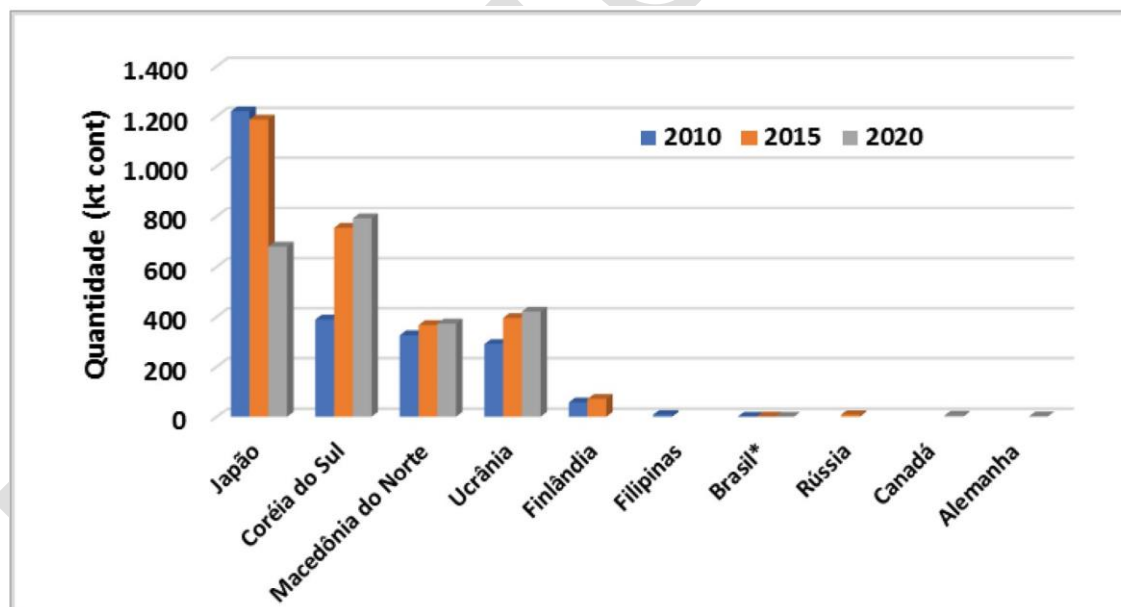
*Fontes: U01, (2022) e *COMEXSTAT MDIC, (2022)*

Figura 7a. Ranking dos principais importadores mundiais de níquel, na forma de minérios e concentrados.



Fontes: U01, (2022) e *COMEXSTAT MDIC, (2022).

Figura 7b. Ranking dos principais importadores mundiais de níquel, na forma de minérios e concentrados, exceto a China



Fontes: U01, (2022) e *COMEXSTAT MDIC, (2022).

A China lidera o ranking de importações de minérios e concentrados de níquel em todo o período 2010 a 2020, sendo que o Japão e a República da Coreia (Coreia do Sul) se alternam na 2ª e 3ª posições, embora em níveis significativamente menores.

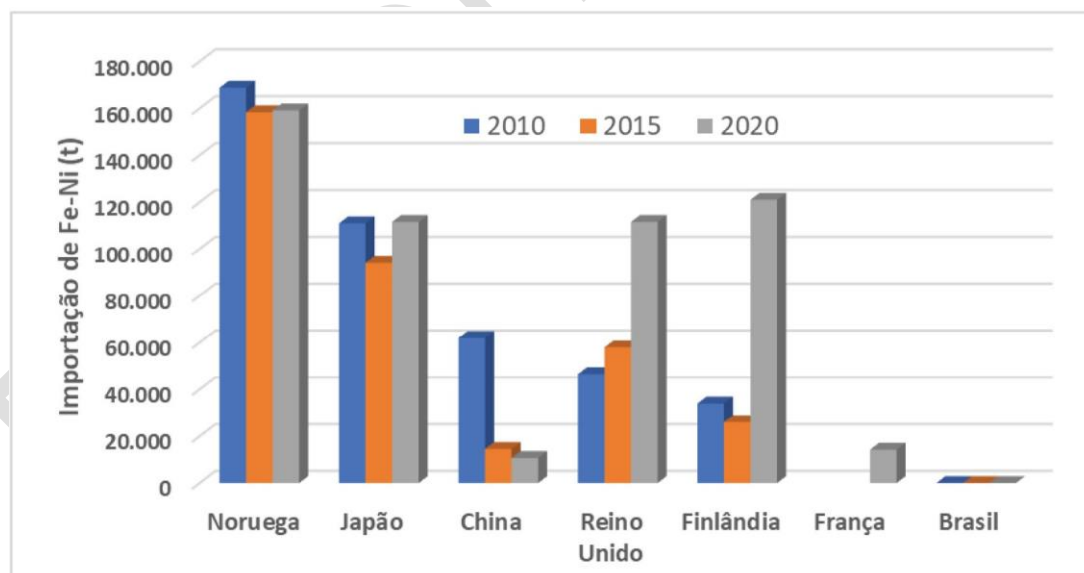
Quando se trata de Fe-Ni, o volume de importações do Brasil o coloca, no ano de 2015, na 24ª posição no ranking mundial e a Tabela 9 e a Figura 8 mostram sua evolução, juntamente com os 5 países com maiores importações. O Brasil está entre os últimos países importadores de níquel no mundo. Noruega é o principal importador, desde 2010. Em 2020, os principais importadores são Noruega, Finlândia e a União Europeia.

	País 2010	Importação (t)	País 2015	Importação (t)	País 2020	Importação (t)
1	Noruega	168.922	Noruega	158.354	Noruega	159.130
2	Japão	110.821	Japão	93.957	Finlândia	121.031
3	China	61.911	Reino Unido	57.917	Japão	111.441
4	Reino Unido	46.574	Finlândia	26.041	França	14.323
5	Finlândia	33.989	China	14.626	China	10.812
	33º Brasil	0,02	21º Brasil	1,45	Brasil	0

Tabela 9. Ranking dos 5 principais importadores mundiais de Fe-Ni, mais o Brasil.

Fonte: U02 (2022)

Figura 8. Principais importadores mundiais de Fe-Ni, mais o Brasil.



Fonte: U02 (2022)

3.1.6.10. Exportações de Níquel e Balanço de Níquel Contido

Em 2010, o Brasil se colocou na 4ª posição no ranking mundial de exportação de mates de níquel, como se vê na Tabela 10. Porém, perdendo o protagonismo nos anos posteriores, em função da paralisação de produção da Votorantim Metais e de uma unidade da Anglo American. Os principais exportadores mundiais, em 2020, foram Rússia, Indonésia e Canadá (U02 2022, World Bank 2022).

Tabela 10. Ranking dos principais exportadores mundiais de Fe-Ni, mais o Brasil.

	Colocação País 2010	Exportação (t)	Colocação País 2015	Exportação (t)	Colocação País 2020	Exportação* (t)
1	Indonésia	111.554	Indonésia	103.795	Rússia	121.032
2	Canadá	70.127	Canadá	77.174	Indonésia	91.222
3	Botswana	63.012	Botswana	37.995	Canadá	70.667
4	Brasil	29.169	África do Sul	9.866	UE	37.867
5	Nova Caledônia	20.057	Zimbábue	9.368	Zimbábue	11.438
			Brasil	0	12º Brasil	119

Fonte: U02 (2022), *World Bank (2022)

No entanto, quando se considera a exportação de minérios e concentrados de níquel, segundo os dados registrados no Comtrade (U01, 2022), o Brasil coloca-se em 8ª posição nas exportações globais, a partir da segunda metade da década passada. A Tabela 11 lista os principais países exportadores de minério e concentrado de níquel, de 2010 a 2020, em toneladas de níquel contido.

Tabela 11. Ranking dos principais exportadores mundiais minérios e concentrados de níquel, em toneladas do metal contido.

Colocação País 2010	Exportação (kt cont.)	Colocação País 2015	Exportação (kt cont.)	Colocação País 2020	Exportação (kt cont.)
1ª Indonésia	4.743	1ª Filipinas	8.082	1ª Filipinas	10.637
2ª Filipinas	3.916	2ª N. Caledônia	1.237	2ª Guatemala	414
3ª N. Caledônia	1.324	3ª Guatemala	705	3ª Turquia	92
4ª Austrália	97	4ª Austrália	98	4ª Austrália	60
5ª Turquia	46	5ª Albânia	76	5ª Zimbábue	42
6ª Espanha	29	6ª Zimbábue	59	6ª Rússia	41
7ª Rússia	28	7ª Espanha	44	7ª Finlândia	21
Brasil*	0,01	8ª Brasil*	35	8ª Brasil*	14

Fontes: U01, (2022); *COMEXSTAT MDIC, (2022).

Quando se considera o mercado de níquel, com base nos dados de comércio exterior, é importante considerar que os produtos são registrados em grandes categorias. Aqui são consideradas as categorias “Minérios e concentrados de níquel”, sob o código HS260400 (U01, 2022), “Ferro-ligas; ferro-níquel”, código HS720260 (U02, 2022), e “Níquel; mates de níquel”, código HS750110 (U03, 2022). Para o cálculo da massa de níquel contido, como não há disponibilidade de teor exato de níquel em cada remessa, e como o Brasil comercializa principalmente concentrados de níquel e ferro-níquel, foram adotados para tais produtos, respectivamente, os teores de 14%Ni e 27%Ni, em conformidade com valores típicos da produção brasileira, de acordo com a base de dados da ANM (ANM, 2022a). Os mates de alto teor não foram considerados, pela sua grade variação no percentual de níquel e pequeno volume no Brasil.

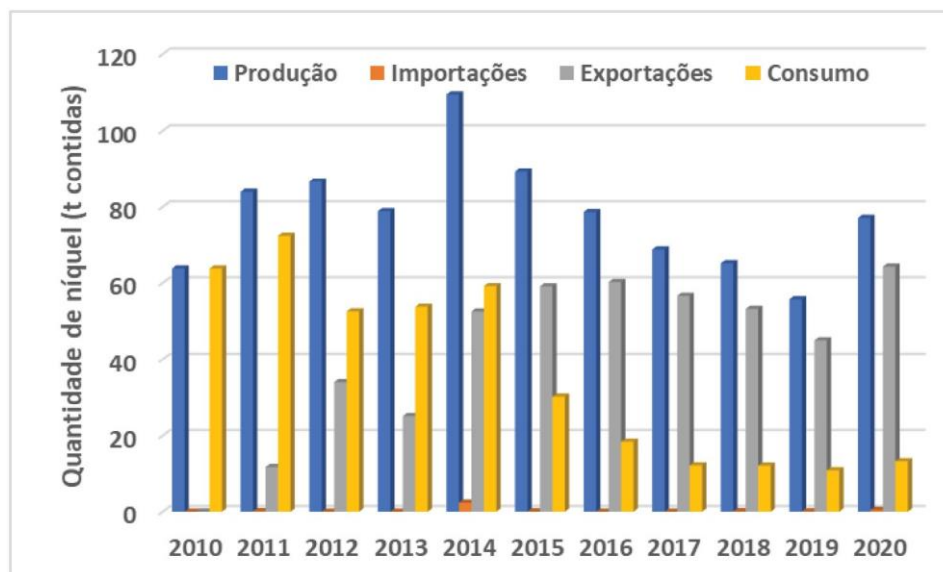
A Tabela 12 e a Figura 9 apresentam o balanço dos dados consolidados de níquel contido na produção, importação, exportação e consumo aparente brasileiros.

Tabela 12. Balanço de níquel contido na produção, importação, exportação e consumo aparente brasileiros.

Balanço do Níquel no Brasil (kt contidas)											
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Produção	64	84	87	79	109	89	79	69	65	56	77
Importações	0,0	0,1	0,0	0,0	2,3	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,4
Exportações	0,0	11,7	34,0	25,1	52,6	59,1	60,2	57	53	45	64
Consumo Aparente	63,9	72,3	52,6	53,8	59,1	30,2	18,4	12,1	12,1	10,9	13,2

Fontes: ANM 2022a, U01 2022, U02 2022

Figura 9. Balanço de níquel contido na produção, importação, exportação e consumo aparente brasileiros.



Fontes: ANM 2022a, U01 2022, U02 2022

3.1.6.11. Porte das Empresas e Geração de Empregos

A Tabela 13, apresenta um panorama das empresas produtoras de níquel no Brasil, no ano de 2022, em termos de produção, listando ainda os estados da federação onde estão instaladas suas operações e o número de empregos. Para os empregos indiretos, foi adotado, como parâmetro, o dobro do número de empregos na operação, porém tal número pode alcançar até 5 vezes. As principais produções no Brasil ocorrem nos estados da Bahia (Atlantic Nickel), Goiás (Anglo American Níquel) e Pará (Vale SA).

Tabela 13. Panorama das empresas produtoras de níquel no Brasil, no ano de 2021.

Empresa	Produção (t ROM)	Beneficiado (t)	Estado	Empregos diretos	Empregos indiretos
Anglo American Níquel Brasil Ltda	3.519.592	159.992 (26,09% Ni)	GO	1347	2694
Vale S.A.	2.647.940	73.855 (25,83% Ni)	PA	1300	2600
Atlantic Nickel Mineração Ltda.	6.281.020	108.421 (14,00% Ni)	BA	2017	4034
Brasil	12.448.552	342.268	BR	4664	9328

3.1.6.12. Porte dos Projetos em Andamento e/ou Previstos e Geração de Empregos

A Tabela 14 mostra um panorama dos projetos em andamento e/ou previstos para a produção de níquel no Brasil, listando ainda os estados da federação e em que se localizam. O principal produto declarado que será produzido é o Ferro-Níquel. A principal tecnologia avaliada é pela rota RKEF (*Rotary Kiln-Electric Furnace* – Calcinador Rotativo - Forno Elétrico).

Tabela 14. Panorama dos projetos em andamento e/ou previstos para a produção de níquel no Brasil.

Empresa	Produtos	Estado
HORIZONTE MINERALS	Ferro-Níquel	PA
CIA DE FERRO LIGAS DA BAHIA FERBASA	Ferro-Níquel	BA
COMERCIAL LILIAN LTDA	(sem definição)	MG
COMPANHIA BRASILEIRA DE ALUMINIO	Ferro-Níquel	GO
Companhia de Nickel do Brasil	(sem definição)	MG
Companhia Níquel Santa Fé	(sem definição)	GO
Extrativa Metalurgia S A	(sem definição)	MG
MINERACAO NIQUEL SANTA MARIA LTDA	(sem definição)	MG
NIQUELMINAS SA	(sem definição)	MG
PIAUI NIQUEL METAIS S/A	Hidróxido de níquel	PI
Prometalica Mineração Centro Oeste S A	(sem definição)	GO
Sulminas Metal Alloy Beneficiamento de Minérios Ltda	(sem definição)	MG

3.1.6.13. Projeções até 2050 do Níquel em Cenário Hipotético

Com relação ao panorama do mercado brasileiro de níquel, a Tabela 15 apresenta as projeções de indicadores selecionados, para um cenário intermediário, de aumento de reservas à taxa de 1% ao ano e de aumento de produção à taxa de 5% ao ano, conforme premissas especificadas abaixo, para atender principalmente aos mercados de aço e de baterias para veículos elétricos. A Tabela 16 apresenta um cenário otimista, em que pode-se considerar maior taxa de aumento de reservas, de 2% ao ano, e um crescimento de produção e consumo de 6,5% ao ano, este último conforme divulgação da agência Wood Mackenzie (Mac 2022). A Tabela 17 apresenta um cenário mais conservador que, em caso de resposta lenta do setor industrial à demanda, pode-se considerar um aumento de produção de 3% ao ano, no Brasil, ainda assim bem superior ao apresentado na última década.

Tabela 15. Projeções de indicadores selecionados relativos ao mercado brasileiro do níquel – Cenário Intermediário

	2020	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Reservas Medidas (kt Ni) (1)	16000	16325	16952	17538	18062	18499	18818	18981	18940
Produção (kt Ni) (2)	77,0	84,9	103,2	125,4	152,5	185,3	225,2	273,8	332,8
Consumo (kt Ni) (3)	13,6	36,0	43,8	53,2	64,6	78,6	95,5	116,1	141,1
Importações (kt Ni) (4)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Exportações (kt Ni) (5)	64,0	49,3	59,8	72,6	88,2	107,1	130,1	158,1	192,1
Empregos diretos (6)	4664	4852	5252	5685	6154	6661	7210	7805	8448
Empregos indiretos (6)	9328	9705	10505	11371	12308	13323	14421	15610	16896

1. Considerando as reservas em 2020, com aumento em um cenário intermediário de 1,5% ao ano, em função do previsível êxito de projetos de pesquisa mineral e da conversão de recursos em reservas.
2. Considerando, em um cenário intermediário, que a produção do Brasil acompanhe as projeções do cenário transformador do IPEA (2022), levando em conta que o Minerals Council da Austrália (MAS, 2020) prevê um crescimento global da demanda de níquel ser de aproximadamente 5% aa até 2030 e que esta tendência se mantenha para o Brasil até 2050.
3. Considerando, em um cenário intermediário, que haja retomada rápida pós-pandemia de níveis de consumo próximos de 2015, e que o crescimento do consumo do Brasil acompanhe as projeções do cenário transformador do IPEA (2022), levando em conta que o Minerals Council da Austrália (MAS, 2020) prevê um crescimento global da demanda de níquel ser de aproximadamente 5% aa até 2030 e que esta tendência se mantenha até 2050, dada a grande demanda de aço e a conversão da frota para veículos elétricos no país.
4. Considerando que a produção continue a atender todo o consumo do Brasil, havendo importações apenas em demandas esporádicas.
5. Considerando que o Brasil exportará todo o seu excedente de níquel.
6. Considerando, em um cenário intermediário, que o crescimento do número de empregos será de 2% ao ano, para um aumento da produção de 5% ao ano.

Tabela 16. Projeções de indicadores selecionados relativos ao mercado brasileiro do níquel - Cenário Otimista

	2020	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Reservas Medidas (kt Ni) (1)	16000	16323	16932	17465	17886	18147	18183	17913	17230
Produção (kt Ni) (2)	77,0	87,3	112,4	144,5	185,9	239,2	307,7	395,9	509,3
Consumo (kt Ni) (3)	13,6	36,7	47,2	60,8	78,2	100,6	129,4	166,5	214,2
Importações (kt Ni) (4)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Exportações (kt Ni) (5)	64,0	51,0	65,5	84,2	108,2	139,0	178,7	229,8	295,5
Empregos diretos (6)	4664	4948	5569	6268	7055	7940	8937	10058	11321
Empregos indiretos (6)	9328	9896	11138	12536	14109	15880	17873	20117	22642

1. Considerando as reservas em 2020, com aumento em um cenário otimista de 1,5% ao ano, em função do previsível êxito de projetos de pesquisa mineral e da conversão de recursos em reservas.
2. Considerando, em um cenário otimista, um crescimento global da demanda de níquel ser de aproximadamente 6,5% aa até 2030 e que esta tendência se mantenha para o Brasil até 2050.
3. Considerando, em um cenário otimista, que haja retomada rápida pós-pandemia de níveis de consumo próximos de 2015, e que o crescimento global da demanda de níquel será de aproximadamente 6,5% aa até 2030 e que esta tendência se mantenha até 2050, dada a grande demanda de aço e a conversão da frota para veículos elétricos no país.
4. Considerando que a produção continue a atender todo o consumo do Brasil, havendo importações apenas em demandas esporádicas.
5. Considerando que o Brasil exportará todo o seu excedente de níquel.
6. Considerando, em um cenário intermediário, que o crescimento do número de empregos será de 3% ao ano, para um aumento da produção de 6,5% ao ano.

Tabela 17. Projeções de indicadores selecionados relativos ao mercado brasileiro do níquel – Cenário Conservador

	2020	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Reservas Medidas (kt Ni) (1)	16000	16165	16474	16753	16994	17189	17331	17408	17410
Produção (kt Ni) (2)	77,0	81,7	91,9	103,5	116,5	131,1	147,5	166,1	186,9
Consumo (kt Ni) (3)	13,6	35,0	39,4	44,4	49,9	56,2	63,3	71,2	80,1
Importações (kt Ni) (4)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Exportações (kt Ni) (5)	64,0	47,1	52,9	59,5	66,9	75,3	84,7	95,3	107,2
Empregos diretos (6)	4664	4758	4951	5152	5361	5579	5805	6041	6286
Empregos indiretos (6)	9328	9515	9902	10304	10722	11158	11611	12082	12573

1. Considerando as reservas em 2020, com aumento em um cenário conservador de 1,0% ao ano, em função do previsível êxito de projetos de pesquisa mineral e da conversão de recursos em reservas.
2. Considerando, em um cenário conservador, um crescimento global da demanda de níquel ser de aproximadamente 3,0% aa até 2030 e que esta tendência se mantenha para o Brasil até 2050.
3. Considerando, em um cenário conservador, que haja retomada rápida pós-pandemia de níveis de consumo próximos de 2015, e que o crescimento global da demanda de níquel será de aproximadamente 3,0% aa até 2030 e que esta tendência se mantenha até 2050, dada a grande demanda de aço e a conversão da frota para veículos elétricos no país.
4. Considerando que a produção continue a atender todo o consumo do Brasil, havendo importações apenas em demandas esporádicas.
5. Considerando que o Brasil exportará todo o seu excedente de níquel.
6. Considerando, em um cenário intermediário, que o crescimento do número de empregos será de 1% ao ano, para um aumento da produção de 3,0% ao ano.

A Tabela 18 apresenta as projeções de indicadores selecionados, relativos ao panorama do mercado mundial de níquel.

Tabela 18. Projeções de Indicadores Selecionados relativos ao mercado mundial do níquel.

	2020	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Reservas Medidas (kt)	95000	97506	101436	103312	102464	98348	89907	76218	55931
Produção (kt)	2510	2767	3364	4089	4783	5595	6483	7439	8537
Consumo (kt)	2510	2767	3364	4089	4783	5595	6483	7439	8537

1. Considerando as reservas atualizadas de níquel para 2020, com dedução anual da produção e reposição média de 4% das reservas medidas a cada ano, convertidas a partir de novos projetos e dos recursos identificados.
2. Considerando o cenário de crescimento da demanda de níquel conforme as projeções do Minerals Council da Austrália (MCA, 2020), que prevê um crescimento global da demanda de aproximadamente 5% aa até 2030. Na década seguinte, o crescimento global da demanda foi considerado a 4% aa e na década de 2040, 3,5% aa.
3. Considerando que a produção acompanhará o consumo.

3.1.6.14. Usos e Aplicações do Níquel

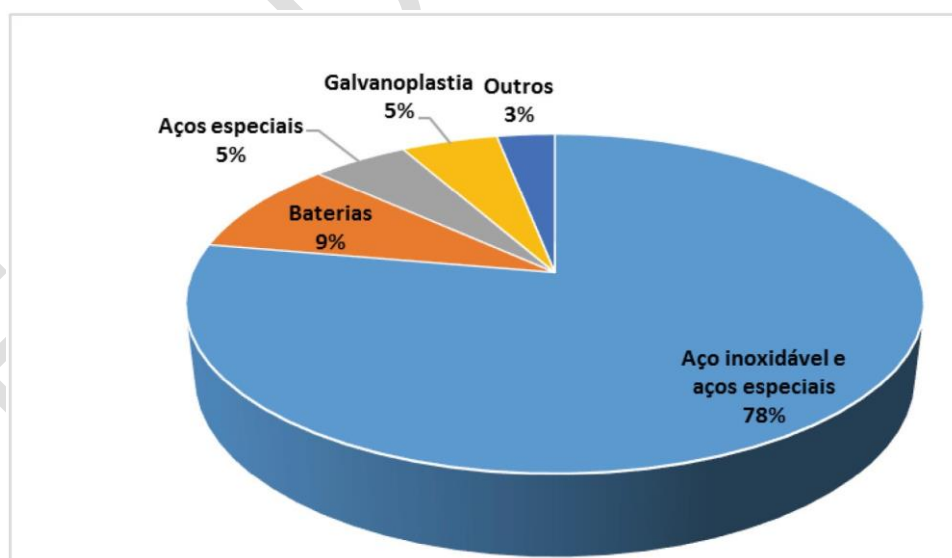
A Tabela 19 mostra as principais aplicações dos produtos da cadeia do níquel e seus percentuais relativos de uso, enquanto a Figura 10 mostra um resumo das contribuições de cada aplicação para o total do uso do níquel. A indústria de aço inoxidável foi responsável por 73% do consumo de níquel primário em todo o mundo. O restante do consumo global desse metal foi distribuído igualmente entre outras indústrias, como baterias (9%) e galvanoplastia (5%). Em 2021, verifica-se uma nova expansão de demanda, devido ao uso em tecnologias de energia verde, como baterias de veículos elétricos, além de acumuladores de energia de emprego em sistemas de geração e distribuição de energia renovável de caráter intermitente. É importante ressaltar que a agência Wood Mackenzie (Mac 2022) prevê que a participação de produtos precursores de baterias elétricas deverá alcançar 41% do mercado mundial de níquel, em 2040.

Tabela 19. Aplicações e percentuais de uso dos produtos da cadeia do níquel, em 2022.

Produto	Aplicação	Uso (%)
Níquel metálico	Aço inoxidável e aços especiais	77
Óxido de níquel	Baterias	9
Níquel metálico	Aços especiais	5
Níquel metálico	Galvanoplastia	5
-	Outros	3

Fonte: Statista (2022).

Figura 10. Aplicações e percentuais de uso dos produtos da cadeia do níquel, em 2022.



Fonte: Statista (2022).

3.1.6.15. Padrão Tecnológico da Cadeia do Níquel

As principais tecnologias utilizadas no Brasil e no mundo, na cadeia do níquel, de calcinação em forno rotativo seguida de forno elétrico (RKEF) é apresentada na Tabela 20, juntamente com as demais tecnologias disponíveis. A Figura 11 apresenta um fluxograma simplificado das rotas RKEF, mais utilizada no Brasil para a cadeia do níquel. No processo RKEF, a produção do Fe-Ni começa com as etapas de cominuição e separação granulométrica. Depois, o material obtido é levado ao forno rotativo e então calcinado, de onde segue para redução elétrica e obtenção do Fe-Ni.

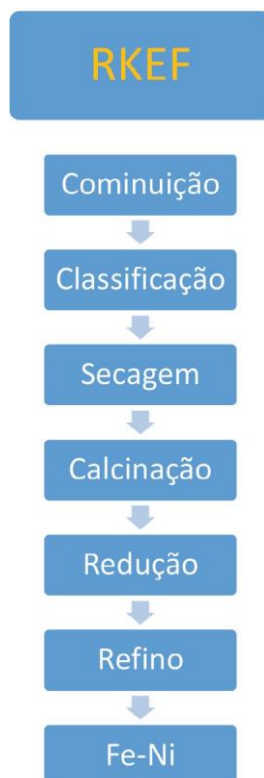
Tabela 20. Principais tecnologias utilizadas na cadeia do níquel, juntamente com as tecnologias benchmark internacionais.

Minério de Ni	Tecnologia	Produto	Empresa no Brasil	Benchmark Internacional
Laterítico (Óxidos) Sulfetados	Cominuição Classificação Calcinador rotativo Forno elétrico (RKEF)	Fe-Ni	Vale Anglo American	Vale
Laterítico (Óxidos)	Cominuição Classificação Lixiviação sob pressão Precipitação (HPAL)	Níquel e Cobalto	Horizonte Minerals	Vale
Laterítico (Óxidos) Sulfetados	Cominuição Classificação Lixiviação sob pressão Precipitação (HPAL)	Hidróxido de níquel	---	Ravensthorpe
Laterítico (Óxidos) Sulfetados	Cominuição Classificação Lixiviação em tanque Precipitação (AL)	Hidróxido de níquel	---	Jianxi Lithium
Laterítico (Óxidos) Sulfetados	Cominuição Classificação Lixiviação em pilha Precipitação (HL)	Hidróxido de níquel	---	Yuanjiang China
Laterítico (Óxidos)	Cominuição Classificação Calcinador rotativo Forno elétrico (RKEF)	Fe-Ni	Horizonte Minerals	Vale
Sulfetado	Cominuição Classificação Flotação	Concentrado	Atlantic Nickel	Atlantic Nickel

Sulfetado	Cominuição Concentração Lixiviação amoniaca (CARON) Redução em Hidrogênio	Ni em pó ou bloco	--	(Em Cuba)
Sulfetado	Concentrado Smelting Lixiviação Purificação Eletrólise, redução e formação de sal	Ni metálico Sais de ní- quel	--	Nornickel (No- rilsk)
Sulfetado	Concentrado Forno Flash	Ni metálico Sais de ní- quel	--	Harjavalta; Boliden
Sulfetado	Bio-heap leaching	NiCoS	--	Terrafame
Laterítico (óxido)	Cominuição Classificação Calcinador rotativo Forno elétrico (RKEF)	Fe-Ni	--	Larco
Laterítico (óxido)	Cominuição Classificação Calcinador rotativo Forno elétrico (RKEF)	Fe-Ni	--	Pobuzhsky
Laterítico (óxido)	Cominuição Classificação Calcinador rotativo Forno elétrico (RKEF)	Fe-Ni	--	FENI; Cunico Resources
Laterítico (óxido)	Cominuição Classificação Calcinador rotativo Forno elétrico (RKEF)	Fe-Ni	--	Pechenga
Laterítico (óxido)	Cominuição Classificação Calcinador rotativo Forno elétrico (RKEF)	Fe-Ni	--	Delong
Laterítico (óxido)	Cominuição Classificação Calcinador rotativo Forno elétrico (RKEF)	Fe-Ni	--	Fujian Desheng
Laterítico (óxido)	Cominuição Classificação Calcinador rotativo Forno elétrico (RKEF)	Fe-Ni	--	Aneka—Poma- laa

Laterítico (óxido)	Cominuição Classificação Calcinador rotativo Forno elétrico (RKEF)	Fe-Ni	--	Tsingshan Indonésia
Laterítico (óxido)	Cominuição Classificação Calcinador rotativo Forno elétrico (RKEF)	Fe-Ni	--	Nippon Yakin—Oheya- ma
Laterítico (óxido)	Cominuição Classificação Calcinador rotativo Forno elétrico (RKEF)	Fe-Ni	--	Hachinohe; Pamco
Laterítico (óxido)	Cominuição Classificação Calcinador rotativo Forno elétrico (RKEF)	Fe-Ni	--	Hyuga; Sumi- tomo
Laterítico (óxido)	Cominuição Classificação Calcinador rotativo Forno elétrico (RKEF)	Fe-Ni	--	Kalgoorlie; BHP
Laterítico (óxido)	Cominuição Classificação Lixiviação sob pressão Precipitação (HPAL)	Níquel e Cobalto	--	Murrin Murrin; Glencore
Laterítico (óxido)	Cominuição Classificação Calcinador rotativo Forno elétrico (RKEF)	Fe-Ni	--	Doniambo; Eramet
Laterítico (óxido)	Cominuição Classificação Calcinador rotativo Forno elétrico (RKEF)	Fe-Ni	--	Koniambo; Glencore
Sulfetado	Cominuição Concentração Lixiviação amoniacal (CARON) Redução em Hidrogênio	Níquel e Cobalto, e sulfato de amônia		Ambatovy; Sumitomo, Sherritt
Sulfetado	Cominuição Classificação Forno elétrico Forno Flash	Níquel, co- bre e metais do grupo da platina		Waterval; Anglo American

Figura 11. Fluxograma simplificado da rota tecnológica por calcinador rotativo e forno elétrico, a mais consolidada no Brasil, na cadeia do níquel.



Lista de referências:

Anglo American, 2022

AMB 2022a: Anuário Mineral Brasileiro em https://app.anm.gov.br/DadosAbertos/AMB/Producao_Beneficiada.csv

AMB 2022b: Anuário Mineral Brasileiro em https://app.anm.gov.br/DadosAbertos/AMB/Producao_Bruta.csv

Atlantic Nickel, 2022

<http://www.vale.com/brasil/PT/business/reports/Paginas/default.aspx>. Acesso em 21 de abril de 2022, às 09h18

<https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/53207d1c-63b4-48f1-96b7-19869fae19fe/102c9ca4-dea3-7079-6576-38d6a6d8917b?origin=1>. Acesso em 21 de abril de 2022, às 10h07.

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiazTRkNjI3MWEtMGtMy00ZTgzLWlyN2YtMzNjNDhjNTViM2Q2IiwidCI6ImEzMDgzZTlxLTc0OWItNDUzNC05>

YWZhLTU0Y 2MzMTg4 OTdiOCJ9 &pageNa me=Rep ortSection 99c5eaca1c 0e9e21725a. Acesso em 21 de abril de 2022, às 10h05.

<https://atlanticnickel.com/onde-operamos/>. Acesso em 21 de abril de 2022, às 10h03.

<https://brasil.angloamerican.com/pt-pt/imprensa/noticias/2021/28-01-2021>. Acesso em 21 de abril de 2022, às 09h22.

<https://brasil.angloamerican.com/pt-pt/nossos-negocios/niquel>. Acesso em 21 de abril de 2022, às 09h22.

<https://ibram.org.br/noticia/atlantic-nickel-encerra-2021-com-resultado-de-exportacao-superior-a-110-mil-toneladas-de-minerio/>

<https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-nickel.pdf>. Acesso em 23 de abril de 2022, às 22h03.

<https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/nickel/mcs-2012-nicke.pdf>

World Bank, 2022 em:

<https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/ALL/year/2020/tradeflow/Imports/partner/WLD/product/750110>. Acesso em 21 de abril de 2022, às 13h55.

<https://www.statista.com/study/15792/nickel-statista-dossier/>. Acesso em 22 de abril de 2022, às 08h27.

IBRAM, 2022

Statista, 2022

statistic_id603621_global-distribution-of-nickel-production-by-country-2020

USGS, 2022

Vale, 2022

Mistry, M.; Gediga, J.; Boonzaier, S. (2016) Life cycle assessment of nickel products. The International Journal of Life Cycle Assessment, volume 21, páginas1559–1572

Life cycle data. Nickel Institute. Disponível em: <https://nickelinstitute.org/media/4901/lifecycledata-summary-update2020.pdf>. Acessado em 24 de julho de 2022

Bai, Y.; Zhang, T.; Zhai, Y.; Jia, Y.; Ren, K.; Hong, J. (2022). Strategies for improving the environmental performance of nickel production in China: Insight into a life cycle assessment. *Journal of Environmental Management*, volume 312, 114949.

U01, 2022. United Nations Comtrade Database, código de substância HS260400 (minérios e concentrados de níquel) em: <https://comtrade.un.org/data>

U02, 2022. United Nations Comtrade Database, códigos de substância HS720260 (Ferroligas, Fe-Ni) em: <https://comtrade.un.org/data>

U03, 2022. United Nations Comtrade Database, códigos de substância HS750110 (Níquel, mates) em: <https://comtrade.un.org/data>

Mac 2022. <https://www.woodmac.com/news/opinion/nickel-and-copper-building-blocks-for-a-greener-future/>, em 04 de abril de 2022.

Vahed, A., Mackey, P.J., Warner, A.E.M. (2021). “Around the Nickel World in Eighty Days”: A Virtual Tour of World Nickel Sulphide and Laterite Operations and Technologies. In: , et al. *Ni-Co 2021: The 5th International Symposium on Nickel and Cobalt. The Minerals, Metals & Materials Series*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65647-8_1

**PLANO NACIONAL DE MINERAÇÃO 2050****PNM 2050****CADEIAS PRODUTIVAS 7: COBALTO**

Caderno 3: Cadeias Produtivas dos Minerais para a Transição Energética

CADEIAS PRODUTIVAS 7: COBALTO.....	195
3.1. Caracterização das Cadeias Produtivas	196
3.1.7. Cadeia Produtiva do Cobalto	196
3.1.7.1. Polos produtivos minero-industriais no Brasil, da Cadeia Produtiva do Cobalto.....	196
3.1.7.2. Parque Produtivo minero-industrial do Cobalto no Brasil.....	201
3.1.7.3. Consumo Energético e Emissão de CO ₂ , da Cadeia Produtiva do Cobalto.....	202
3.1.7.4. Utilização de Água, da Cadeia Produtiva do Cobalto	204
3.1.7.5. Geração de Resíduos, na Cadeia Produtiva do Cobalto.	206
3.1.7.6. Produção do Cobalto	208
3.1.7.7. Consumo do Cobalto	211
3.1.7.8. Importações do Cobalto	215
3.1.7.9. Exportações do Cobalto	217
3.1.7.10. Porte das Empresas e Geração de Empregos do Cobalto	219
3.1.7.11. Porte dos Projetos em Andamento e/ou Previstos e Geração de Empregos na Cadeia Produtiva do Cobalto.....	219
3.1.7.12. Projeções até 2050 para o Cobalto, em 3 Cenários Hipotéticos.....	219
3.1.3.13. Usos e Aplicações do Cobalto.....	223
3.1.3.14. Padrão Tecnológico da Cadeia do Cobalto.....	224
3.1.3.15. Análise Integrada da Cadeia Produtiva do Cobalto	226

3.1. Caracterização das Cadeias Produtivas

3.1.7. Cadeia Produtiva do Cobalto

O cobalto é um metal essencial para a sociedade e pode ser encontrado nos diversos dispositivos eletrônicos (laptops, celulares, TV's, etc.), nas superligas usadas em turbinas de aviões, em ligas resistentes à corrosão, aços rápidos e, principalmente, nos veículos elétricos como parte das baterias recarregáveis. O seu radioisótopo é usado como fonte de radiação gama em radioterapia e esterilização de alimentos.

Normalmente, a extração metalúrgica do cobalto está associada à indústria do cobre, responsável por fornecer 55% do cobalto produzido no mundo, enquanto 29% do cobalto é obtido como subproduto da indústria do níquel. A produção mundial de cobalto em 2020 foi de 140 kt e cerca de 68% dessa produção esteve a cargo da República Democrática do Congo (RDC), na África. Cerca de 70% das reservas mundiais (5 Mt de cobalto) estão localizadas em dois países: RDC e Austrália, segundo USG-2021.

A importância do cobalto para a transição energética faz com que ele esteja na lista dos materiais críticos sob a óptica da economia mundial, visto que a demanda estará, principalmente, a cargo das vendas dos veículos elétricos e dos acumuladores de energia de um modo geral, como também a grande capacidade de refino na China - 89.2kt ou 67% do total mundial em 2020), segundo o Cobalt Institute (2020). Além disso, observa-se um risco de fornecimento em virtude da instabilidade política da RDC com os conflitos sociais, as práticas de lavra predatória e exposição de trabalhadores à radiação proveniente do urânio presente no minério. Estima-se que o consumo mundial do cobalto possa aumentar, em média, de 220 kt em 2025, para 390 kt em 2030. (Alves et al. 2018)

3.1.7.1. Polos produtivos mineiro-industriais no Brasil, da Cadeia Produtiva do Cobalto

Os polos produtivos da cadeia produtiva do cobalto no Brasil, até 2017, juntamente com capacidade da produção, percentual de participação de capital nacional/estrangeiro e nível ou padrão organizacional e gerencial do segmento, com distribuição no território nacional são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Polos produtivos, no Brasil, da cadeia produtiva do cobalto, 2017.

Estado	Município	Empresa	Produto	Capacidade Produção Cobalto (t/a)	Receita (R\$)	Capital Nacional (%)	Capital Externo (%)
GO	Niquelândia	Votorantim	Carbonato de cobalto	1.400*	Fora de operação	100%	-
MG	Fortaleza de Minas	Votorantim	Mate de níquel contendo cobalto	200 **	Fora de operação desde 2013	100%	-
GO	Americano	Prometálica	Mate de níquel contendo cobalto				
Capacidade em Cobalto contido				1.600		-	-
SP	São Miguel Paulista	Votorantim - até 2022	Catodo	2.000 ***	Fora de operação	-	Vendido em 2022 para empresa Australiana
					Obs.: Deve retornar em 2023		
Capacidade Cobalto refinado				2.000		-	-

Fontes: *Crundewell et al., (2011); **Imbelloni, (2013); ** Nascimento, (2019) e *** JRV, (2021).

O cobalto foi produzido no Brasil até 2017 a partir das minas encontradas nos municípios de Niquelândia – GO, principal fonte de cobalto em minérios lateríticos no Brasil, em Fortaleza de Minas - MG e Americano – GO. As principais empresas produtoras de cobalto eram Votorantim e Prometálica. Ambas extraíam o cobalto como subproduto da indústria do níquel, a partir de minérios sulfetados. O Grupo Votorantim possui uma unidade de eletrorefino de cobalto com capacidade de 3000 t/ano. Após queda histórica do preço do níquel em 2016, a Votorantim resolveu suspender as atividades em Niquelândia e São Miguel Paulista. O mesmo aconteceu com o fechamento da mina de Fortaleza de Minas-MG e com a Prometálica que extraía o minério do município de Americano e o enviava para processamento na fundição em Fortaleza de Minas. Importante salientar que a unidade São Miguel Paulista foi vendida para a empresa australiana Jervois Global Limited e deve retomar a produção a partir de 2023, vislumbrando, na primeira fase, 10 mil t/ano de níquel e 2 mil t/ano de cobalto metálico. (Revista Brasil Mineral, maio de 2022; JRV,2022).

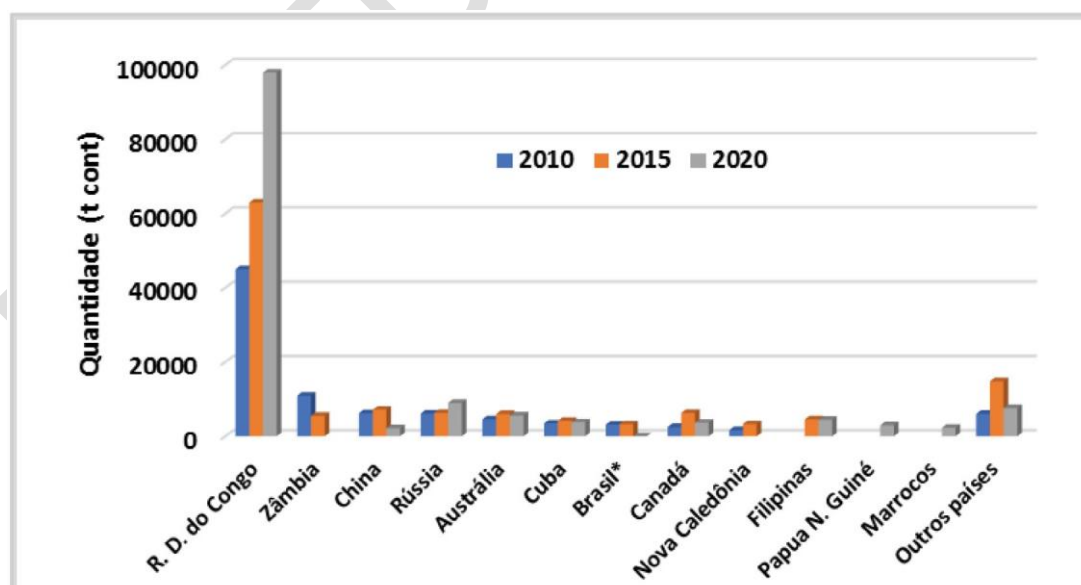
A Tabela 2 e as figuras 1a e 1b, esta última para maior clareza visual, apresentam os principais produtores mundiais de minérios e concentrado de cobalto nos anos de 2010, 2015 e 2020.

Tabela 2. Ranking dos principais produtores mundiais de minérios e concentrados de cobalto entre 2010 e 2020, em toneladas do metal contido.

	2010		2015		2020	
Colocação	Países	Produção (t contidas)	Países	Produção (t contidas)	Países	Produção (t contidas)
1º	R D C	45.000	R D C	63.000	R D C	98.000
2º	Zâmbia	11.000	China	7.200	Rússia	9.000
3º	China	6.200	Canadá	6.300	Austrália	5.630
4º	Rússia	6.100	Rússia	6.300	Filipinas	4.500
5º	Austrália	4.600	Austrália	6.000	Canadá	3.690
6º	Cuba	3.500	Zâmbia	5.500	Cuba	3.800
7º	Brasil*	3.139	Filipinas	4.600	Papua N. Guiné	2.940
8º	Canadá	2.500	Cuba	4.200	Marrocos	2.300
9º	Nova Caledônia	1.700	Nova Caledônia	3.300	China	2.200
	Outros	6.031	Brasil*	3.254	Brasil*	0
			Outros	14.829	Outros	7.640
	TOTAL	89.770	TOTAL	124.483	TOTAL	139.700

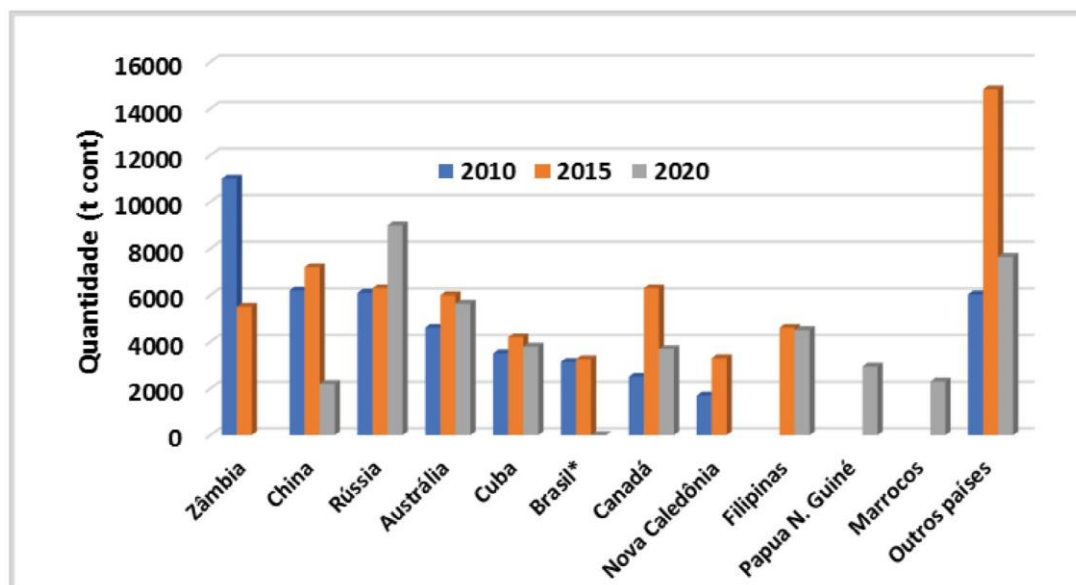
Fontes: MCS, (2022); MCS, (2017); MCS, (2012) e * AMB, (2020);

Figura 1a. Principais produtores mundiais de minérios e concentrados de cobalto em 2010, 2015 e 2020, em toneladas do metal contido.



Fontes: MCS, (2022); MCS, (2017); MCS, (2012) e * AMB, (2020)

Figura 1b. Principais produtores mundiais de minérios e concentrados de cobalto em 2010, 2015 e 2020, em toneladas do metal contido, exceto R D C.



Fontes: MCS, (2022); MCS, (2017); MCS, (2012) e * AMB, (2020);

A República Democrática do Congo (RDC) é o maior produtor mundial de minério de cobalto, enquanto a China é o maior refinador. Assim, em termos de minério, e segundo o USGS, a RDC foi responsável por 69% da produção em 2020. Prevê-se que a produção global de minas e refinarias de cobalto aumente para níveis recordes a partir de 2022, devido ao aumento do consumo mundial pela indústria de baterias elétricas recarregáveis.

Em 2020, 55% do cobalto no mundo era extraído como subproduto da indústria do cobre, enquanto 29% era oriundo da indústria do níquel. No Marrocos, o cobalto é produzido como principal commodity e, também, em algumas pequenas minas localizadas na RDC. Outras fontes de cobalto fecham o balanço global: cobalto como subproduto na extração do minério de ferro (China) e como subprodutos da indústria extrativa dos PGM (Grupo dos Metais Platinóides) na Zâmbia e África do Sul. (Roskill Consult Group, 2021)

No que concerne à produção do cobalto refinado, há previsões de que o Brasil possa ocupar o 9º lugar a partir do ano 2023, após retomada da operação da refinaria de São Miguel Paulista, e a operação continuada do Projeto Piauí da Brazilian Nickel, com capacidade de produção e comercialização de 25 mil toneladas/ano de níquel contido e 1,1 mil toneladas/ano de cobalto, a partir da

expansão da planta de demonstração que projeta produzir 35 t de cobalto já em 2023. (Brazilian Nickel, 2022).

Importante salientar que a Vale é uma empresa com 14,39% de capital nacional e produtora de cobalto refinado em solo canadense. A produção da Vale em 2020 foi de 4,6 kt/ano de cobalto, o equivalente a 77% da produção de cobalto anual do Canadá, 4º maior produtor mundial, conforme apresentado na Tabela 3 e na Figura 2.

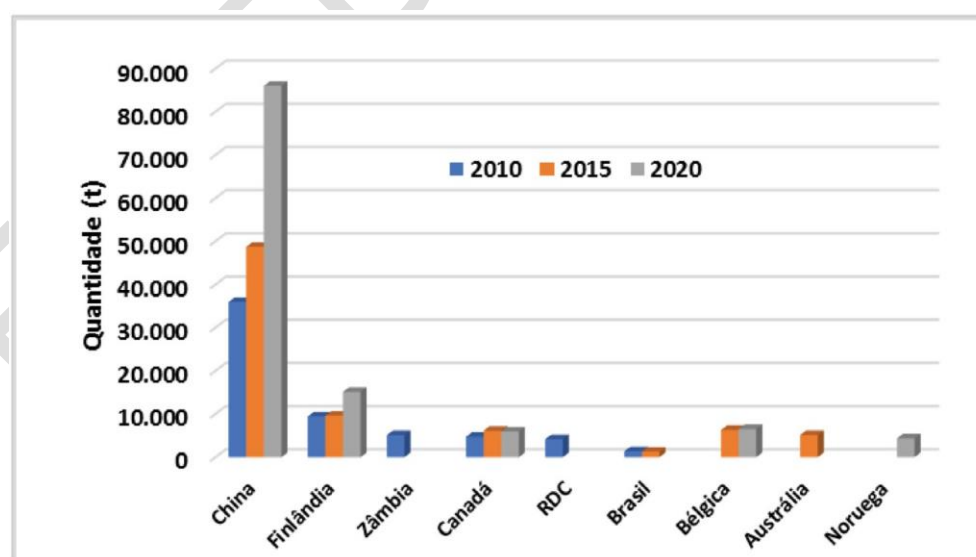
Tabela 3. Ranking dos principais produtores mundiais de cobalto refinado (metal, óxido, carbonato, sulfato ou outros compostos), em 2010, 2015 e 2020.

Produto	Colocação País 2010	Produção Cobalto refinado (t)	Colocação País 2015	Produção Cobalto refinado (t)	Colocação País 2020	Produção Cobalto refinado (t)
Cobalto Refinado	1º China	35.929	1º China	48.719	1º China	86.000
	2º Finlândia	9.429	2º Finlândia	9.615	2º Finlândia	15.148
	3º Zâmbia	5.134	3º Bélgica	6.306	3º Bélgica	6.500
	4º Canadá	4.711	4º Canadá	6.126	4º Canadá	5.965
	5º RDC	4.182	5º Austrália	5.150	5º Noruega	4.384

	12º Brasil	1.369	15º Brasil	1.300	-	-
Total		79.553		101.465		131.521

Fonte: WMP, (2010 - 2020).

Figura 2. Ranking dos principais produtores mundiais de cobalto refinado (metal, óxido, carbonato, sulfato ou outros compostos), em 2010, 2015 e 2020.



Fonte: WMP, (2010 - 2020).

3.1.7.2. Parque Produtivo minero-industrial do Cobalto no Brasil

O parque produtivo minero-industrial do cobalto, incluindo número de empresas, capacidade, localização e tipologia das unidades de produção que integravam a cadeia produtiva em 2017, juntamente com a caracterização das integrações a montante e a jusante, bem como de facilidades locacionais e logísticas associadas às integrações existentes, é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Caracterização do parque produtivo brasileiro do cobalto.

	Empresa	Local	Produtos	Capacidade Produção Cobalto(t/a)	Operação Montante	Logística	Distância	Operação Jusante	Logística	Distância
Lavra										
Britagem	Cia Níquel Tocantins	GO	Minério de níquel-cobalto	Fora de operação	Escavação Transporte	Escavadeira Caminhão	-	Moagem	Correia transport.	-
Britagem	Fortaleza de Minas	MG	Minério de níquel-cobalto	Fora de operação	Escavação Transporte	Escavadeira Caminhão	-	Moagem	Correia transport.	-
Beneficiamento										
Ustulação redutora	Cia Níquel Tocantins	GO	Concent. de níquel-cobalto	Fora de operação	Moagem	correia transport.	-	Lixiviação	Tubulação	-
Flotação	Fortaleza de Minas	MG	Concent. de níquel-cobalto	Fora de operação	Britagem / Moagem	correia transport.	-	Ustulação redutora	Correia transport.	-
Extração Metalúrgica										
Purificação	Cia Níquel Tocantins	GO	Carbonato de cobalto	1.400*	lixiviação	correia transport.	-	Precipitação	Caminhão	1223 km
Conversão / refino	Fortaleza de Minas	MG	Mate de níquel contendo cobalto	200**	Ustulação redutora	correia transport.	-	Porto de Santos	Caminhão	458 km
Refino										
Eletrolise	São Miguel Paulistas	SP	cobalto metálico	2.000***	Precipitação	Caminhão	-	Transporte até Porto de Santos	Caminhão	105 km

Fontes: *Crundewell et al., (2011); **Imbelloni, (2013); ** Nascimento, (2019); *** JRV, (2021) e Cannoni, (2021).

A produção de concentrado de cobalto foi interrompida em 2017 após fechamento dos empreendimentos da Companhia Níquel Tocantins e de Fortaleza de Minas, ambos pertencentes ao grupo Votorantim que, devido à inviabilidade econômica, anunciou a paralisação de sua produção do níquel no Brasil.

O processo de extração metalúrgica de níquel/cobalto do minério sulfetado, utilizado em Fortaleza de Minas, se caracteriza pela lavra a céu aberto, britagem, moagem, concentração (flotação dos minerais sulfetados) e ustulação em Forno Flash seguido de granulação do mate de níquel/cobalto, como produto principal.

A empresa Níquel Tocantins possui um processo diferente, visto que o minério oxidado, extraído a céu aberto em Goiás, necessita de ser ustulado (reação gás-sólido) em atmosfera redutora, seguida de lixiviação amoniacal, purificação e precipitação do carbonato de níquel e cobalto. Em seguida, estes carbonatos são refinados na unidade de refino em São Miguel Paulista para produção tanto do níquel, quanto do cobalto metálico de alta pureza.

3.1.7.3. Consumo Energético e Emissão de CO₂, da Cadeia Produtiva do Cobalto

O consumo energético e a emissão de CO₂, da cadeia produtiva do cobalto no Brasil, incluindo as principais fontes energéticas utilizadas, são apresentados na Tabela 5 enquanto as Figura 3a e 3b mostram a distribuição das emissões estimadas por etapa da cadeia produtiva e o consumo energético por fonte de energia.

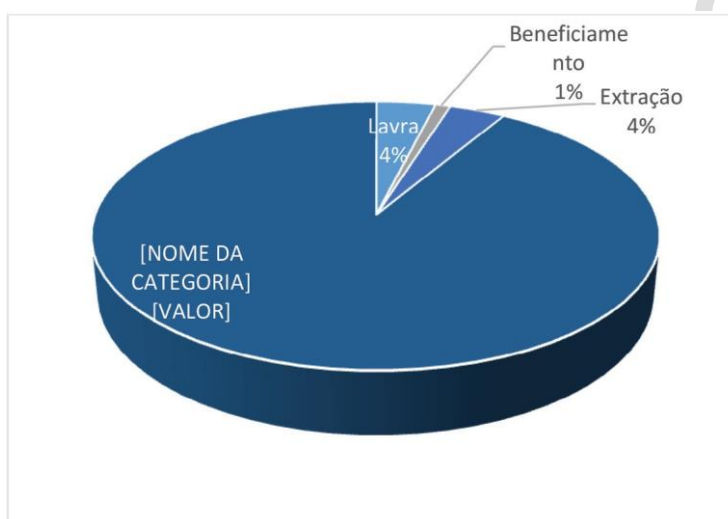
Tabela 5. Consumo energético e emissão de CO₂ no Brasil, da cadeia produtiva do cobalto.

	Empresa	Operação	Consumo Energético	Fontes de Energia	Emissão de CO ₂
Lavra	Companhia Níquel Tocantins GO	Escavação	2 kg/t min.	Diesel	7,4 kgCO ₂ /t minério
		Britagem	13 kWh/t min.	Elettricidade	0,608 kgCO ₂ /t minério
	Fortaleza de Minas MG	Escavação	1,4 kg/t min.	Diesel	5,18 kgCO ₂ /t minério
		Britagem	3,7 kWh/t min.	Elettricidade	0,173 kgCO ₂ /t minério
Beneficia- mento	Companhia Níquel Tocantins GO	Moagem	35 kWh/t min.	Elettricidade	1,638 kgCO ₂ /t minério
	Fortaleza de Minas MG	Ustulação			
		Flotação	9 kWh/t min.	Elettricidade	0,421 kgCO ₂ /t minério

Extração Metalúrgica	Companhia Níquel Tocantins GO	Lixiviação	42,81 kWh/t conc.	Elettricidade	2,0 kgCO ₂ /t concentrado
	Fortaleza de Minas MG	Flash Smelter Conversor e Refino	11 L/t conc. 117 kWh/t escória	Gás Natural Elettricidade	0,036 kgCO ₂ /t concentrado 5,476 kgCO ₂ /t escória
Refino	Companhia Níquel Tocantins SP	Lixiviação Precipitação Eletrolise	3.980 kWh/t cobalto	Elettricidade	186,264 kgCO ₂ /t cobalto

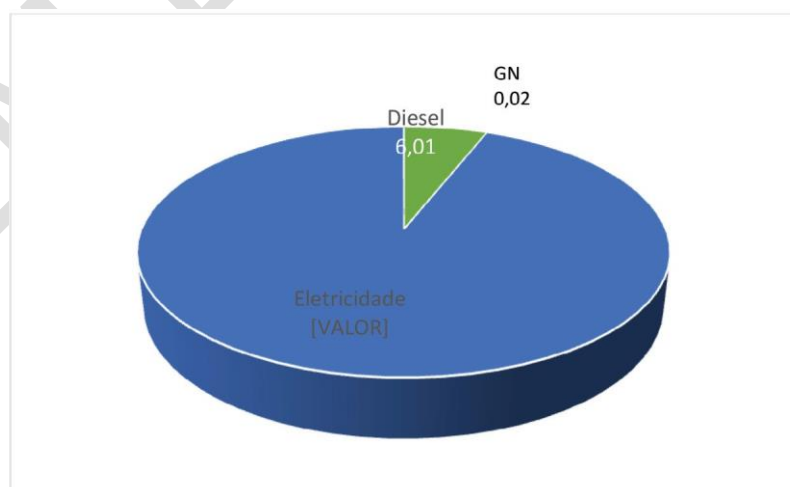
Fontes: Crundwell et al, (2011); Schlesinger et al, (2011) e Northey e Haque, (2013).

Figura 3a. Emissão de CO₂ em cada etapa da cadeia produtiva do cobalto no Brasil.



Fontes: Crundwell et al, (2011); Schlesinger et al, (2011) e Northey e Haque, (2013).

Figura 3b. Emissão de CO₂ em função da forma de energia utilizada na cadeia produtiva do cobalto no Brasil.



Fontes: Crundwell et al, (2011); Schlesinger et al, (2011) e Northey e Haque, (2013).

Os valores em kwh/t e combustíveis referenciados na Tabela 5 foram obtidos do relatório elaborado por Northey e Haque, (2013), onde são encontrados consumos específicos de empresas mineradoras de níquel sulfetados e lateríticos. Nas etapas de Lavra e Beneficiamento, pode-se destacar maior consumo de energia elétrica nas etapas de britagem e moagem. A etapa de extração se destaca pelo maior consumo de energia (kwh/t dos respectivos produtos) na unidade de eletrorefino e forno elétrico, este responsável por remover o níquel remanescente na escória produzida no forno Flash e conversores.

A metodologia de conversão para os fatores de emissão em kg de CO₂ segue a mesma utilizada por Rathmann, 2017, rastreado pelo IPCC-Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima, qual seja:

- Energia Elétrica - Período de 2021 a 2025: 0,0468 t de CO₂ / MWh

Considerou-se também, com base na equivalência calorífica de combustíveis:

- Diesel: 3,7 kg CO₂/ kg diesel
- Gás Natural: 0,0032 kg CO₂/ L GN

Maiores índices de emissões de CO₂ na etapa de lavra são percebidos nas atividades de extração e transporte do minério até a unidade de beneficiamento. Os principais fornecedores de caminhões para transporte de minérios, por outro lado, já vêm anunciando modelos na versão totalmente elétrica, segundo a Revista Minério, 2020.

3.1.7.4. Utilização de Água, da Cadeia Produtiva do Cobalto

No Brasil, a utilização de água, na cadeia produtiva do cobalto, incluindo o percentual de recirculação da água utilizada e o tratamento do efluente líquido, é apresentada na Tabela 6. A Figura 4 mostra o mapa com o consumo de água.



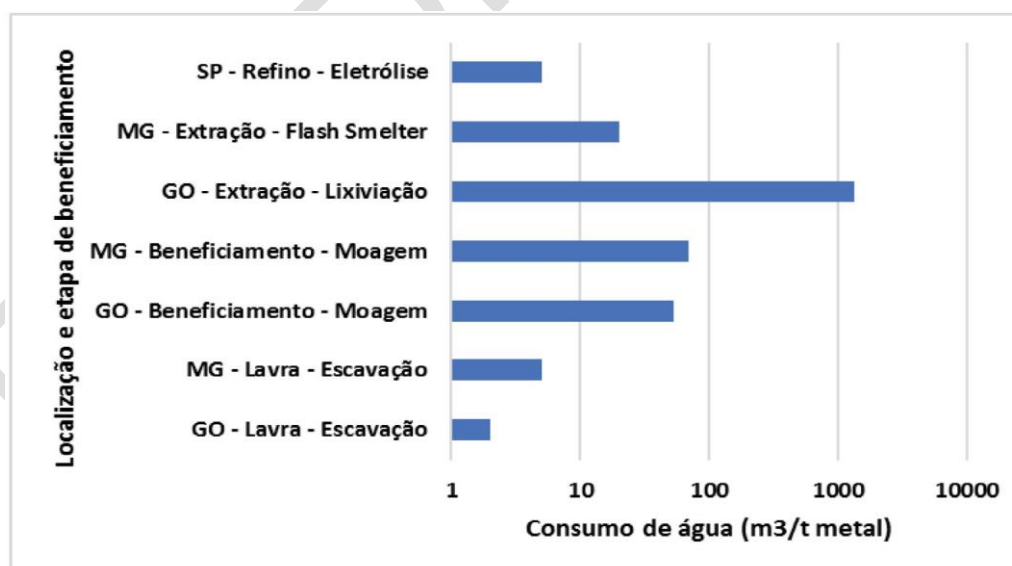
Tabela 6. Utilização de água no Brasil, na cadeia produtiva do cobalto.

	Empresa	Operação	Consumo de Água (m³/t metal)	Reutilização (%)	Tratamento de Efluentes
Lavra	Companhia Níquel Tocantins GO	Escavação Britagem	2	SI	SI
	Fortaleza de Minas MG	Escavação Britagem	5	SI	SI
Beneficiamento	Companhia Níquel Tocantins GO	Moagem Ustulação	53	SI	SI
	Fortaleza de Minas MG	Moagem Flotação	70	SI	SI
Extração Metalúrgica	Companhia Níquel Tocantins GO	Lixiviação Gás natural	1.354	SI	SI
	Fortaleza de Minas MG	Flash Smelter Conversor e Refino	20	SI	SI
Refino	Companhia Níquel Tocantins SP	Eletrólise	5	SI	SI
Média no Brasil			1.509		

SI = Sem informação

Fonte: Northey & Haque, (2013).

Figura 4. Mapa da utilização de água no Brasil, na cadeia produtiva do cobalto.



Fonte: Northey & Haque, (2013).

Por falta de informações das minas com produção de cobalto no Brasil, foi utilizado o consumo específico de água (m^3/t) por cada operação unitária para o tratamento de minério sulfetado ou laterítico de níquel, segundo Northey & Haque, 2013. Percebe-se um elevado consumo de água nas etapas de moagem e flotação (Roughers, Scavengers e Cleaners).

O processo de lixiviação do níquel para uma rota de tratamento de laterita, possui o maior consumo específico de água, embora o consumo de $1.354 \text{ m}^3/\text{t}$ seja de lixiviação ácida utilizando alta pressão.

O consumo de água específico na fundição pode ser explicado pela etapa de lavagem durante a limpeza dos gases (“offgas”) provenientes da fundição, granulação da escória (perdas por evaporação) e consumo na produção do ácido sulfúrico.

3.1.7.5. Geração de Resíduos, na Cadeia Produtiva do Cobalto.

A perspectiva de geração de resíduos no Brasil na cadeia produtiva do cobalto, baseado na capacidade de produção das empresas em operação até 2017, bem como uma pré-qualificação e potencial de aproveitamento dos resíduos em outros segmentos ou em obras de infraestrutura, juntamente com as práticas de prevenção ou mitigação de impactos ambientais, é apresentada na Tabela 7, enquanto a Figura 5 mostra o mapa da geração de resíduos por Estado.

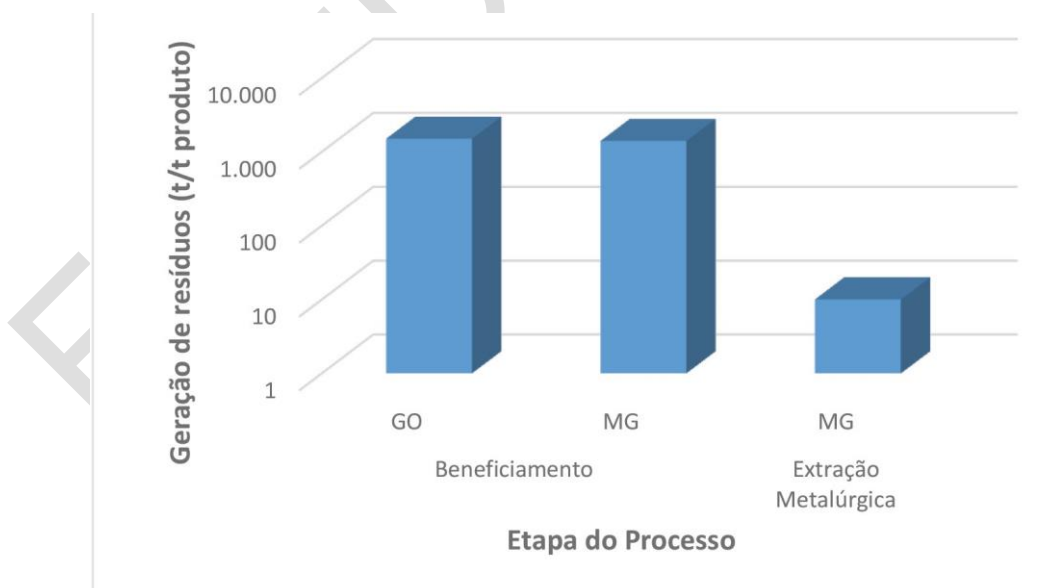
Tabela 7. Geração de resíduos no Brasil, na cadeia produtiva do cobalto.

	Empresa	Local	Geração de Resíduos (t/t _{produto})	Natureza e Classificação dos Resíduos	Potencial de Aproveitamento (setor e %)	Práticas de Mitigação de Impactos Ambientais
Lavra	Companhia Níquel Tocantins	GO	-	-	-	-
			-	-	-	-
	Fortaleza de Minas	MG	-	-	-	-
			-	-	-	-
Beneficiamento	Companhia Níquel Tocantins	GO	1.500	Rejeito de minério	0%	Empilhamento de inertes em barragens
	Fortaleza de Minas	MG	1.400	Rejeito de minério	0%	Empilhamento de inertes em barragens
Extração Metalúrgica	Companhia Níquel Tocantins	GO	SI	Lama de Gesso	SI	SI
	Fortaleza de Minas	MG	10	Escória	SI	SI
Refino	Companhia Níquel Tocantins	SP	SI	Resíduo contendo Co/Ni	SI	Disposição em aterros
			SI	Resíduo Co/Ni	SI	Disposição em aterros

SI => Sem Informação

Fontes: Crundwell et al, (2011); Schlesinger et al, (2011) e Northey e Haque, (2013)

Figura 5. Mapa da geração de resíduos no Brasil, na cadeia produtiva do cobalto.



Fontes: Crundwell et al, (2011); Schlesinger et al, (2011) e Northey e Haque, (2013)

3.1.7.6. Produção do Cobalto

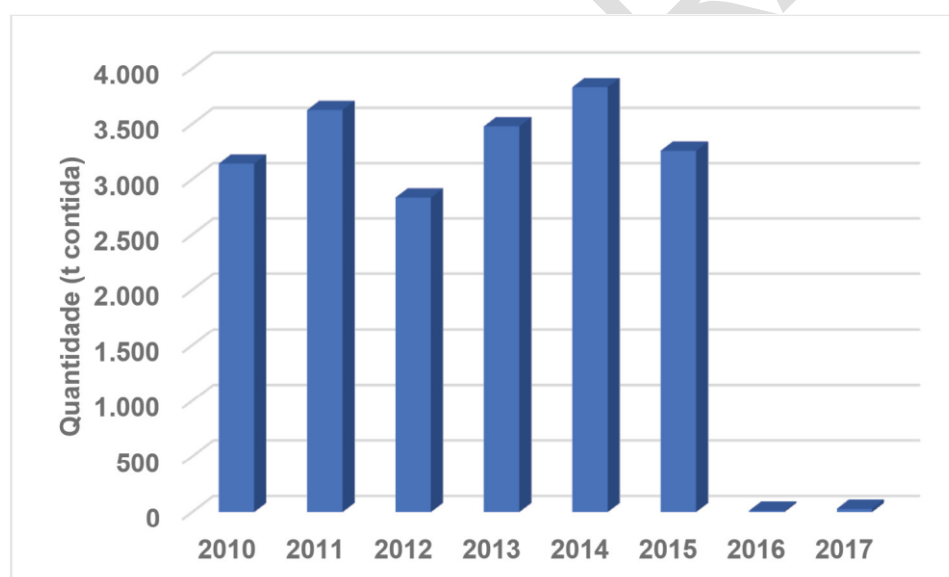
A produção de cobalto no Brasil, de 2010 a 2017, é mostrada na Tabela 8, e no gráfico da Figura 6, com os totais consolidados para o país.

Tabela 8. Produção brasileira de concentrados de cobalto, de 2010 a 2018, em toneladas contidas.

	Produção de concentrados de cobalto (t contidas)							
Brasil	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
TOTAL	3.139	3.624	2.836	3.478	3.828	3.254	11	28

Fonte: AMB, (2022).

Figura 6. Produção brasileira de concentrados de cobalto, de 2010 a 2017, em toneladas contidas.



Fonte: AMB, (2022).

A Tabela 9 apresenta a produção de cobalto refinado, que pode ser metal, óxido, carbonato, sulfato e outros compostos, de 1990 a 2018, dentro do período produtivo do parque brasileiro de níquel e cobalto.

Tabela 9. Produção brasileira de cobalto refinado, de 1990 a 2018.

	Produção de cobalto refinado (t)								
Ano	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Brasil	67	166	792	1.136	1.369	1.300	400	185	8

Fonte: WMSD - www2.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/wms.cfc?method=searchWMS

A produção do cobalto no Brasil teve seu melhor desempenho até o ano de 2015. A partir daí diminuiu, significativamente, em função do fechamento das minas da Companhia Níquel Tocantins – GO e do empreendimento Fortaleza de Minas-MG.

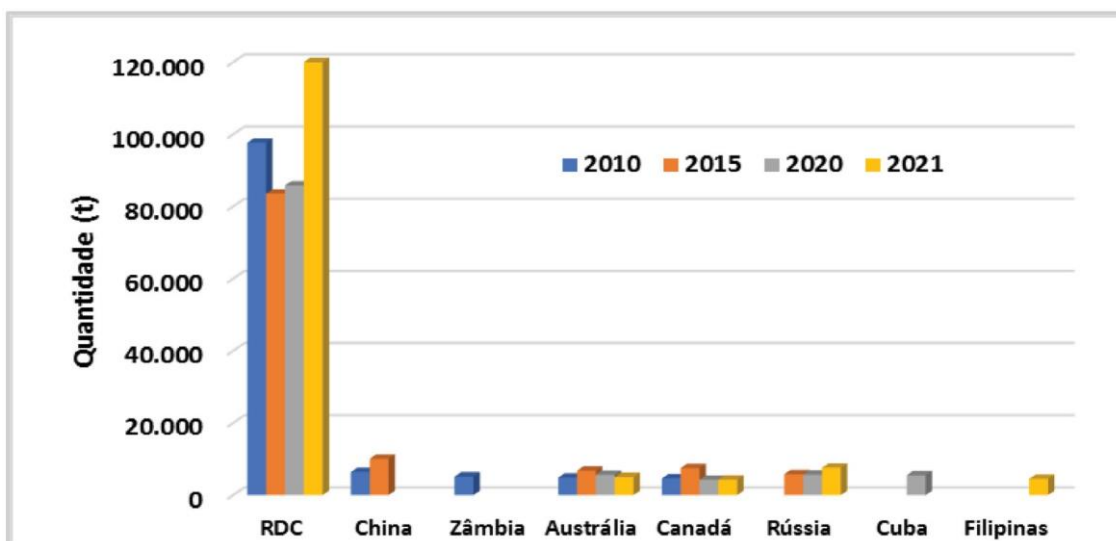
Sem produzir o cobalto a partir de 2018, o Brasil não ocupa nenhuma posição no ranking mundial de produtores de concentrado de cobalto. A Tabela 10 e as Figuras 7a e 7b apresentam a evolução no ranking mundial dos 5 países com as maiores produções nos últimos anos.

Tabela 10. Ranking dos principais produtores mundiais de cobalto contido.

Colocação País 2010	Produção em Co contido (t)	Colocação País 2015	Produção em Co contido (t)	Colocação País 2020	Produção em Co contido (t)	Colocação País 2021	Produção em Co contido (t)
RDC	97.693	RDC	83.529	RDC	85.856	RDC	120.000
China	6.382	China	10.093	Rússia	5.700	Rússia	7.600
Zâmbia	5.134	Canadá	7.489	Austrália	5.632	Austrália	5.000
Austrália	4.838	Austrália	6.777	Cuba	5.500	Filipinas	4.500
Canadá	4.636	Rússia	5.800	Canadá	4.279	Canadá	4.300
Outros	18.440		30.696		19.409		28.600
Total	137.123		144.384		126.376		170.000

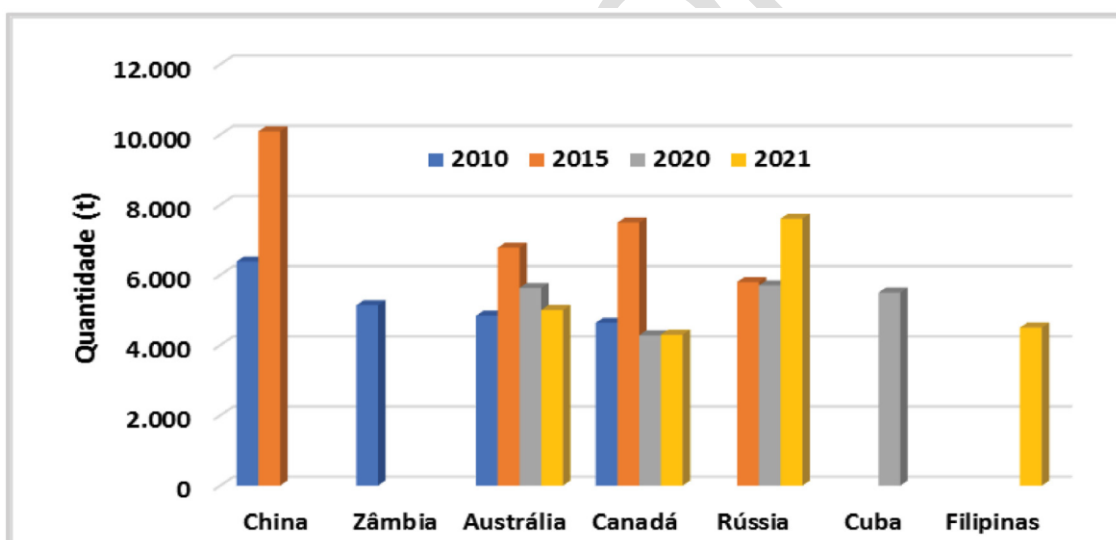
Fonte: World Mineral Production - BRITISH GEOLOGICAL SURVEY, (2010 - 2021).

Figura 7a. Ranking dos principais produtores mundiais de cobalto contido.



Fonte: World Mineral Production - BRITISH GEOLOGICAL SURVEY (2010 - 2021).

Figura 7b. Detalhe do ranking dos principais produtores mundiais de cobalto contido, exceto RDC.



Fonte: World Mineral Production - BRITISH GEOLOGICAL SURVEY (2010 - 2021).

Conforme mostrado na Tabela 10, a República Democrática do Congo (RDC) domina a produção do concentrado de cobalto no mundo, correspondendo a cerca de 70% da produção mundial, em média. A queda de produção em 2020 foi influenciada pela pandemia COVID 19 e, consequentemente, com a

retomada da atividade econômica em 2021, registrou-se um acréscimo de 35% na produção de cobalto, conforme o relatório da CRU, em 2021.

Importante notar que a China perdeu a 2ª posição no ranking nos anos de 2010 e 2015 entre os cinco maiores produtores do concentrado de cobalto, enquanto a Rússia e Austrália vêm subindo de posição, ocupando o 2º e 3º lugar, respectivamente, em 2021, conforme se depreende da tabela 10.

3.1.7.7. Consumo do Cobalto

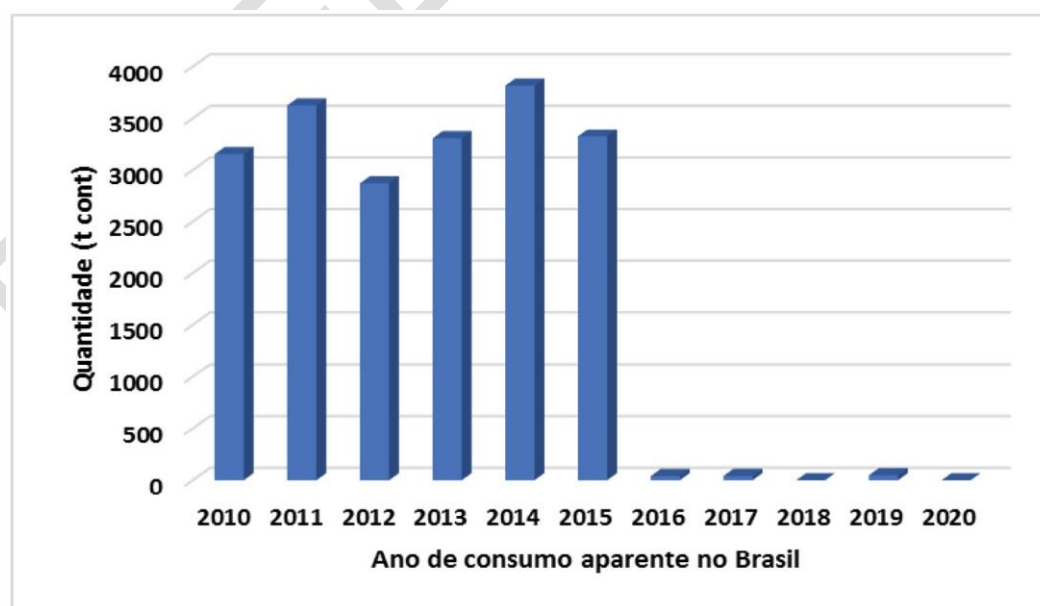
O consumo aparente de concentrado de cobalto (produção + importação – exportação) no Brasil, a cada ano, desde 2010 até 2020, é mostrado na Tabela 11 e na Figura 8, com os totais consolidados para o país. Considerou-se o teor médio de cobalto nos concentrados, de 47%, segundo ANM (2018). Eventuais estoques não são levados em consideração no consumo aparente.

Tabela 11. Consumo aparente brasileiro de concentrado de cobalto, de 2010 a 2020.

	Consumo Aparente Brasileiro de Cobalto (t contidas)										
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Consumo Aparente (t cont.)	3.152	3.624	2.873	3.304	3.814	3.323	40	42	0	48	0

Fontes: AMB, (2022) e COMEXSTAT MDIC, (2022).

Figura 8. Consumo aparente brasileiro de concentrado de cobalto, de 2010 a 2020.



Fontes: AMB, (2022) e COMEXSTAT MDIC, (2022).

A tabela 12 apresenta o consumo aparente de cobalto refinado no período de 2010 a 2020.

Tabela 12. Consumo aparente brasileiro de cobalto refinado, de 2010 a 2020.

	Consumo Aparente = Produção + Importação - Exportação (t)										
Ano	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Cobalto Refinado	218	491	301	607	4.896	2.191	336	247	817	1.894	994

A Tabela 13 e a Figura 9 apresentam o ranking dos maiores consumidores mundiais de minérios e concentrados de cobalto em toneladas contidas do metal no ano de 2020, por região.

Tabela 13. Ranking das principais regiões mundiais consumidoras de minérios e concentrados de cobalto, em toneladas contidas do metal, no ano de 2020.

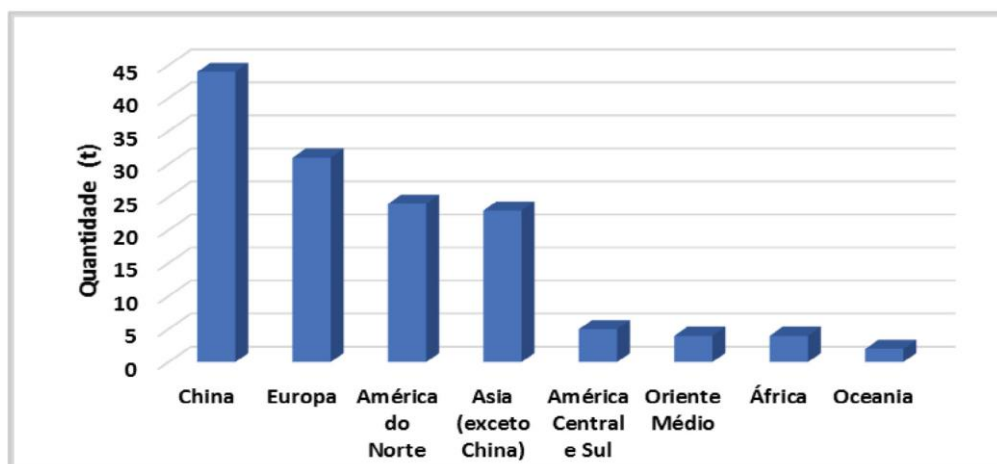
Colocação por Região 2020	Consumo do Cobalto ^a (%)	Consumo de Cobalto 2020 ^b em (kt)
China	32	44
Europa	22,6	31
América do Norte	17,5	24
Ásia (exceto China)	17	23
América Central e Sul	3,9	5
Oriente Médio	2,6	4
África	2,6	4
Oceania	1,8	2
Total	100	137

(a) Roskill; State of the Cobalt market' report - Cobalt Institute

(b) – calculado a partir de (a)

Fonte: Roskill; State of the Cobalt market' report - Cobalt Institute, (2021).

Figura 9. Ranking das principais regiões mundiais consumidoras de minérios e concentrados de cobalto, em toneladas contidas do metal, no ano de 2020.



Fonte: Roskill; State of the Cobalt market's report - Cobalt Institute, (2021).

Destaca-se a Ásia como a principal região consumidora de cobalto, tendo sido responsável, segundo Roskill (2021), por 50% do consumo mundial de cobalto, em 2020. A China encabeça a lista dos países consumidores, sendo responsável por 32% do total de cobalto consumido no mundo. Esse consumo é destinado, em grande parte, à fabricação de baterias e, em menor proporção, para fabricação de ferramentas, ímãs e pigmentos.

Em 2020, a Europa e a América do Norte, juntas, foram responsáveis por 40% do consumo global. Nessas regiões, o cobalto é usado, principalmente, em baterias, ligas à base de níquel e materiais de ferramentas.

As Tabelas 14.a e 14.b, juntamente com as Figuras 10a e 10b apresentam o mercado mundial de cobalto, por aplicação, e a demanda por produtos de cobalto no ano de 2021.



Tabela 14a. Mercado de cobalto por aplicação em 2021.

Mercado por Aplicação	
Consumo do cobalto* (%)	
Bateria de íon - Li	85,3
Metais Industriais	6,1
Superligas	5,1
Indústria química	3,5

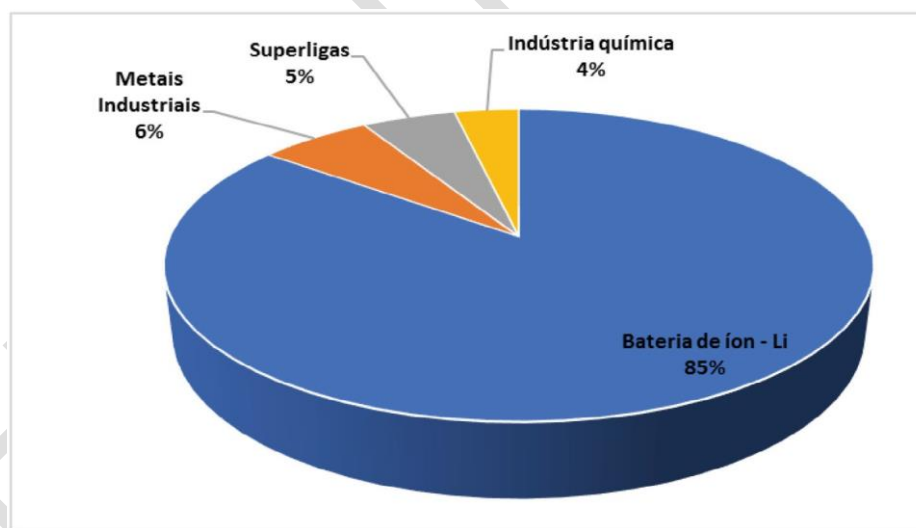
(*) CRU - Cobalt Institute, (2021)

Tabela 14b. Demanda por produtos de cobalto em 2021.

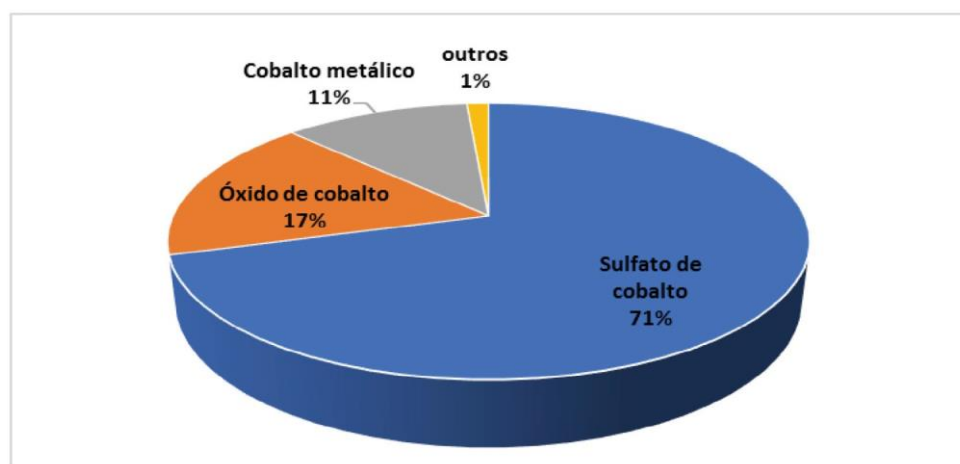
Mercado por produto	
Consumo do cobalto* (%)	
Sulfato de Cobalto	70,5
Óxido de Cobalto	17,0
Cobalto metálico	11,2
outros	1,3

(*) CRU - Cobalt Institute, (2021)

Figura 10a. Mercado de cobalto por aplicação em 2021.



Fonte: CRU - Cobalt Institute, (2021)

Figura 10b. Demanda por produtos de cobalto em 2021.

Fonte: CRU - Cobalt Institute, (2021)

No que concerne à utilização dos diferentes produtos à base de cobalto versus demandas em diferentes indústrias, observa-se que o cobalto metálico (catodo e pó) é utilizado, basicamente, na fabricação de ligas à base de níquel, ímãs e ferramentas. Devido à pandemia COVID 19, o mercado para o cobalto metálico tem caído significativamente, em função das condições desafiadoras nos setores industriais, especialmente no aeroespacial.

Por outro lado, a demanda por produtos químicos foi, comparativamente, mais robusta. Esse crescimento foi devido ao setor das baterias de íons de lítio, juntamente com catalisadores, pigmentos, sabões e secantes.

3.1.7.8. Importações do Cobalto

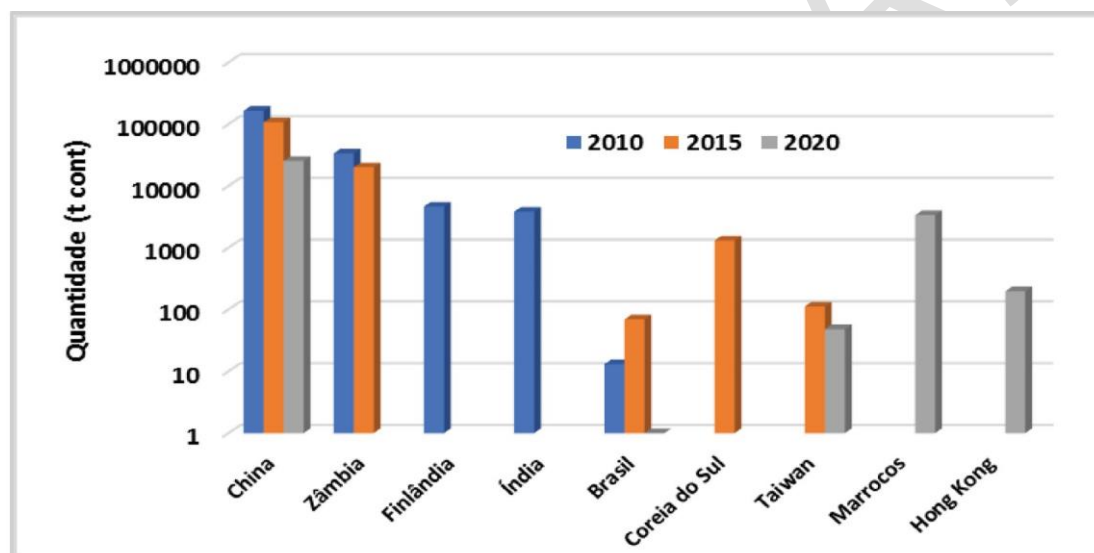
Com pequeno volume de importação de concentrado de cobalto, o Brasil não se destaca entre os principais importadores de cobalto no mundo, ocupando somente a 5ª colocação até 2015. A Tabela 15 e a Figura 11 mostram a evolução no ranking mundial dos países com maiores importações de concentrados de cobalto, em toneladas contidas, no período de 2010 a 2020.

Tabela 15. Ranking dos principais importadores mundiais de concentrado de cobalto, em toneladas contidas, entre 2010 e 2020.

	2010		2015		2020	
Colocação	País	Importação (t contidas)	País	Importação (t contidas)	País	Importação (t contidas)
1º	China	164.246	China	106.964	China	25.238
2º	Zâmbia	33.548	Zâmbia	19.991	Marrocos	3.364
3º	Finlândia	4.638	Coreia do Sul	1.308	Hong Kong	198
4º	Índia	3.829	Taiwan	112	Taiwan	48
5º	Brasil*	13	Brasil	69	Brasil	0

Fontes: U01, (2022) e COMEXSTAT MDIC, (2022).

Figura 11. Ranking dos principais importadores mundiais de concentrado de cobalto, em toneladas contidas, entre 2010 e 2020.



Fontes: U01, (2022) e COMEXSTAT MDIC, (2022).

A China destaca-se como a principal importadora de concentrado de cobalto, sendo acompanhada pela Zâmbia até 2015, que não aparece no ranking em 2020, quando se destacam Marrocos, Hong Kong e Taiwan.

A Tabela 16 apresenta a importação brasileira de cobalto refinado, no período de 2010 a 2020.

Tabela 16. Importação brasileira de cobalto refinado, de 2010 a 2020

	Importação brasileira (t)										
Ano	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Cobalto Refinado	218	490	317	626	4.956	2.189	339	352	857	1.924	1.011

Fonte: COMEXSTAT

3.1.7.9. Exportações do Cobalto

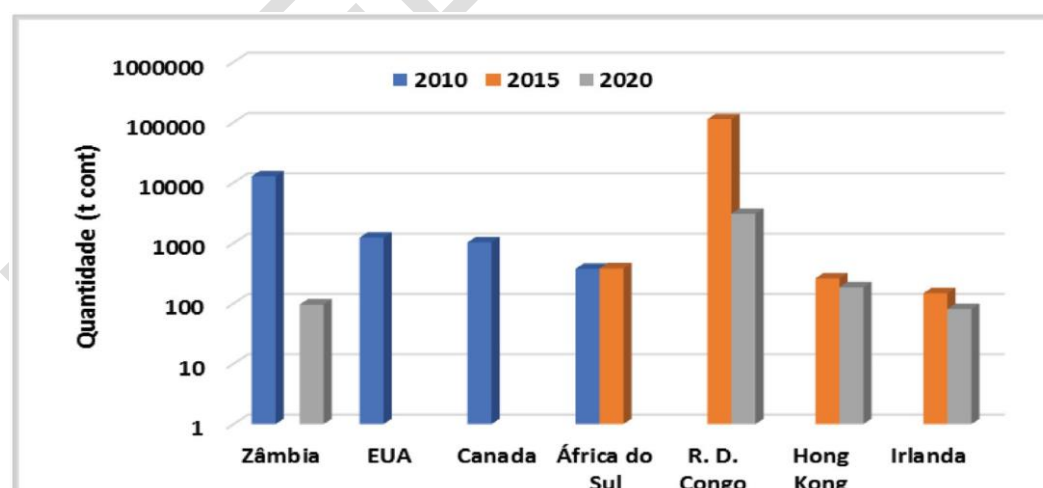
A Tabela 17 e a Figura 12 apresentam o ranking dos principais exportadores mundiais de concentrados de cobalto, em toneladas contidas, entre 2010 e 2020.

Tabela 17. Ranking dos principais exportadores mundiais de concentrados de cobalto, entre 2010 e 2020.

	2010		2015		2020	
Colocação	País	Exportação (t contidas)	País	Exportação (t contidas)	País	Exportação (t contidas)
1º	Zâmbia	12.755	RDC	112.532	RDC	3.045
2º	EUA	1.234	África do Sul	380	Hong Kong	185
3º	Canadá	1.032	Hong Kong	260	Zâmbia	96
4º	África do Sul	375	Irlanda	148	Irlanda	81

Fontes: U01, (2022) e COMEXSTAT MDIC, (2022).

Figura 12. Ranking dos principais exportadores mundiais de concentrados de cobalto, de 2010 a 2020.



Devido às poucas exportações do Brasil ao longo da última década, não há participação brasileira no ranking mundial dos principais exportadores de concentrados de cobalto.

A Tabela 18 apresenta valores estimados das exportações dos seguintes materiais contendo cobalto: mates e produtos intermediários de fundições de cobalto, pós de cobalto, peças, sucatas e resíduos.

Tabela 18. Ranking dos principais exportadores mundiais de materiais contendo cobalto, entre 2010 e 2020

Produto	Colocação País 2010	Exportação (t)	Colocação País 2015	Exportação (t)	Colocação País 2020	Exportação (t)
Cobalto contido	RDC	19,5	RDC	34,2	RDC	70,0
	Canadá	11,2	Canadá	9,5	Canadá	9,0
	Finlândia	8,4	USA	7,5	Finlândia	6,3
	Noruega	4,3	Finlândia	6,8	Rússia	4,4
Total em USD Bilhões		1,606		1,638		2,841

Cotação cobalto: 2010 = USD 37000 /t de cobalto; 2015 = USD 28216 /t de cobalto; 2020 = USD 31642 /t de cobalto

Fontes: O.E.C, (2015, 2020,2021); Al Barazi, (2017) e Van Halm, (2022).

Observa-se que no período não houve mudanças entre os primeiros lugares (RDC e Canadá), enquanto a Finlândia oscila (terceiro e quarto lugares); a Noruega e USA deixam de integrar esse ranking cedendo lugar para a Rússia ocupar o 4º lugar entre os exportadores mundiais no ano de 2020

A Tabela 19 apresenta informações de exportação brasileira de cobalto refinado, no período de 2010 a 2020.

Tabela 19. Exportação brasileira de cobalto refinado, entre 2000 e 2020

Ano	Exportação brasileira (t)										
	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Cobalto Refinado	1	0	16	20	62	0	2	104	39	30	17

Fonte: COMEX STAT

3.1.7.10. Porte das Empresas e Geração de Empregos do Cobalto

Devido à paralisação da produção de cobalto desde 2017, não há empresas ativas no setor desde então, até o ano de 2022.

3.1.7.11. Porte dos Projetos em Andamento e/ou Previstos e Geração de Empregos na Cadeia Produtiva do Cobalto

A Tabela 20 apresenta um panorama dos projetos em andamento e/ou previstos para a produção de concentrado de cobalto no Brasil, a partir de 2022, conforme seu porte de produção, listando ainda os Estados da Federação onde estão/estarão instaladas suas operações e os números de empregos diretos e indiretos previstos.

Tabela 20. Panorama dos projetos em andamento e/ou previstos para a produção de cobalto no Brasil, por porte de produção, no ano de 2022.

Empresas de Baixo Porte de Produção (< 10kta)					
Empresa	Produção	Produtos	Estado	Empregos diretos	Empregos indiretos
Piauí Níquel Metais	1,1	Cobalto	Piauí	650	325
Brazilian Nickel (Projeto Piauí)	0,035	Cobalto	Piauí		
Horizonte Minerals	1,3	Fe-Ni Cobalto	Pará	200*	100
Jervois Mining - São Miguel Paulista	2,0	Cobalto	São Paulo	200 *	100
Apian – Mina Santa Rita	0,27	Cobalto (Concentrado de Níquel)	Bahia	300*	150
Total	4,67		Brasil	1.350	675

* Valores estimados de empresa equivalente de produção de níquel e cobalto

Fonte: HMB, 2022, BrN, 2022, JRV, 2021

3.1.7.12. Projeções até 2050 para o Cobalto, em 3 Cenários Hipotéticos

As estimativas para o mundo e para o Brasil, até 2050, considerando um cenário conservador, são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21. Projeções para o cobalto, até 2050, considerando um cenário conservador.

	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Produção Mundial (t contidas) (1)	143.055	154.847	167.612	174.417	181.499	185.148	185.148	185.148
Consumo Externo (t contidas) (1)	143.056	154.848	167.613	174.419	181.501	185.148	185.148	185.148
Produção Nacional (t contida) (2)	-	-	3.231	3.429	3.640	3.863	4.100	4.352
Consumo Interno (t contidas) (2)	-	800	837	888	942	1.000	1.062	1.127
Importação (t contidas) (3)	800	800	-	-	-	-	-	-
Exportação (t contidas) (4)	-	-	2.395	2.542	2.698	2.863	3.039	3.225
Importação co-balto refinado (t) (5)	1.011	1.011	-	-	-	-	-	-
Exportação co-balto refinado (t) (5)	17	17	-	-	-	-	-	-
Consumo de co-balto refinado (t) (5)	994	994	-	-	-	-	-	-
Empregos diretos (6)	-	-	1.412	1.498	1.590	1.688	1.791	1.901
Empregos indiretos (7)	-	-	706	749	795	844	896	951

(1). Considerando que a produção mundial de cobalto cresça 2% ao ano até 2030, em virtude de sua aplicação em baterias para carros elétricos, e depois 1% de 2030 a 2040, para atender primordialmente aos aumentos dos mercados de carbonetos e ligas de alta temperatura, considerando sua substituição estratégica em baterias por outros elementos, e sem crescimento apreciável a partir de 2040, considerando haver massa crítica e tecnologia a partir daí, para viabilizar a reciclagem econômica de cobalto em grande escala, e a produção suprimindo a demanda..

(2). Considerando a retomada da produção com novas operações em 5 anos, com crescimento de 1,5% no cenário conservador, suprimindo a demanda interna.

(3). Considerando suprir a diferença entre produção de cobalto e o consumo interno).

(4). Considerando que a produção de cobalto suprirá a demanda interna e o excedente seja destinado ao mercado externo.

(5). Considerando manter a importação, exportação e consumo interno de cobalto no nível de 2020 até retomada da operação em São Miguel Paulista.

(6). Considerando que a geração de empregos diretos no Brasil cresça à taxa de 1,5% ao ano.

(7). Considerando que os empregos indiretos correspondam à metade dos empregos diretos.

Os dados de estimativas das projeções para o mundo e para o Brasil, até 2050, considerando um cenário intermediário, são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22. Projeções do cobalto, até 2050, considerando um cenário intermediário.

	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Produção Mundial (t contidas) (1)	144.461	159.458	176.012	183.158	190.595	194.426	194.426	194.426
Consumo Externo (t contidas) (1)	144.461	159.458	176.012	183.158	190.595	194.426	194.426	194.426
Produção Nacional (t contida) (2)	-	-	3.279	3.549	3.842	4.159	4.502	4.873
Consumo Interno (t contidas) (2)	-	800	866	937	1.015	1.098	1.189	1.287
Importação (t contidas) (3)	800	800	374	410	449	491	538	589
Exportação (t contidas) (4)	-	-	2.787	3.022	3.276	3.552	3.851	4.175
Importação co-balto refinado (t) (5)	1.011	1.011	-	-	-	-	-	-
Exportação co-balto refinado (t) (5)	17	17	-	-	-	-	-	-
Consumo de co-balto refinado (t) (5)	994	994	-	-	-	-	-	-
Empregos diretos (6)	-	-	1.422	1.524	1.634	1.751	1.877	2.012
Empregos indiretos (7)	-	-	711	762	817	876	939	1.006

(1). Considerando que a produção mundial de cobalto cresça 2,5% ao ano até 2030, em virtude de sua aplicação em baterias para carros elétricos, e depois 1% de 2030 a 2040, para atender primordialmente aos aumentos dos mercados de carbonetos e ligas de alta temperatura, considerando sua substituição estratégica em baterias por outros elementos, e sem crescimento apreciável a partir de 2040, considerando haver massa crítica e tecnologia a partir daí, para viabilizar a reciclagem econômica de cobalto em grande escala, e a produção suprimindo a demanda.

(2). Considerando a retomada da produção com novas operações em 5 anos, com crescimento de 2% no cenário intermediário, suprimindo a demanda interna.

(3). Considerando suprir a diferença entre produção de concentrado de cobalto e o consumo interno.

(4). Considerando que a produção de concentrado suprirá a demanda interna e o excedente seja destinado ao mercado externo.

(5). Considerando manter a importação, exportação e consumo interno de concentrado no nível de 2020 até retomada da operação em São Miguel Paulista.

(6). Considerando que a geração de empregos diretos no Brasil cresça à taxa de 1,75% ao ano.

(7). Considerando que os empregos indiretos correspondam à metade dos empregos diretos.

Os dados de estimativas das projeções para o mundo e para o Brasil, até 2050, considerando um cenário otimista, são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23. Projeções do cobalto, até 2050, considerando um cenário otimista

	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Produção Mundial (t contidas) (1)	145.874	164.182	184.789	192.292	200.099	204.121	204.121	204.121
Consumo Externo (t contidas) (1)	145.874	164.182	184.789	192.292	200.099	204.121	204.121	204.121
Produção Nacional (t contida) (2)	0	0	3.090	3.397	3.736	4.107	4.516	4.965
Consumo Interno (t contidas) (2)	0	800	3.466	3.737	4.029	4.344	4.684	5.050
Importação (t contidas) (3)	800	800	374	410	449	491	538	589
Exportação (t contidas) (4)	0	0	0	70	155	254	370	505
Importação cobalto refinado (t) (5)	1.011	1.011	0	-	-	-	-	-
Exportação cobalto refinado (t) (5)	17	17	0	-	-	-	-	-
Consumo de cobalto refinado (t) (5)	994	994	0	-	-	-	-	-
Empregos diretos (6)	0	0	1.433	1.551	1.679	1.817	1.967	2.129
Empregos indiretos (7)	0	0	716	775	839	908	983	1.064

(1). Considerando que a produção mundial de cobalto cresça 3% ao ano até 2030, em virtude de sua aplicação em baterias para carros elétricos, e depois 1% de 2030 a 2040, para atender primordialmente aos aumentos dos mercados de carbonetos e ligas de alta temperatura, considerando sua substituição estratégica em baterias por outros elementos, e sem crescimento apreciável a partir de 2040, considerando haver massa crítica e tecnologia a partir daí, para viabilizar a reciclagem econômica de cobalto em grande escala, e a produção suprimindo a demanda.

(2). Considerando a retomada da produção com novas operações em 5 anos, com crescimento de 2,4% no cenário otimista, suprimindo a demanda interna.

(3). Considerando suprir a diferença entre produção de cobalto e o consumo interno).

(4). Considerando que a produção de cobalto suprirá a demanda interna e o excedente seja destinado ao mercado externo.

(5). Considerando manter a importação, exportação e consumo interno de cobalto no nível de 2020 até retomada da operação em São Miguel Paulista.

(6). Considerando que a geração de empregos diretos no Brasil cresça à taxa de 2% ao ano.

(7). Considerando que os empregos indiretos correspondam à metade dos empregos diretos.

Nesses cenários, com a retomada das operações paralisadas desde 2017 e a concretização de novos projetos previstos, a produção nacional de cobalto deverá experimentar um significativo crescimento a partir de 2030 até 2050. Nesse sentido, a produção terá condições de abastecer todo o mercado nacional possibilitando, a partir de 2030, aumentar gradativamente a exportação de cobalto até 2050, mesmo com o aumento das necessidades internas de consumo do cobalto na fabricação de baterias e veículos elétricos.

Verifica-se, também, uma necessidade maior de investimentos em empreendimentos produtores de níquel, além de envidar esforços no sentido de desenvolver a indústria de reciclagem do cobalto e investimento em elementos de substituição do cobalto como elemento em baterias elétricas.

3.1.3.13. Usos e Aplicações do Cobalto

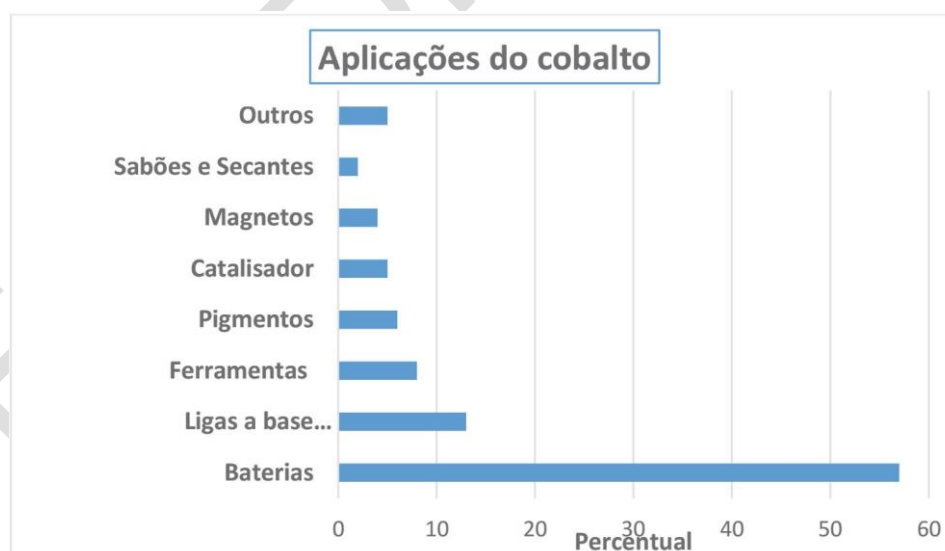
A Tabela 24 e a Figura 13 mostram as principais aplicações dos produtos da cadeia do cobalto em 2020 e seus percentuais relativos de uso.

Tabela 24. Aplicações e percentuais de uso dos produtos da cadeia do cobalto

Produto	Uso (%)
Baterias	57
Ligas a base de Níquel	13
Ferramentas	8
Pigmentos	6
Catalisador	5
Magnetos	4
Sabões e Secantes	2
Outros	5

Fonte: www.cobaltinstitute.org

Figura 13. Resumo das contribuições de cada aplicação para o total do uso do cobalto



Fonte: www.cobaltinstitute.org

A principal utilização do cobalto é como constituinte de baterias. Os dispositivos elétricos utilizam a bateria LCO (lítio-óxido de cobalto) contendo 60% de cobalto, enquanto NMC (bateria a base de lítio, níquel, manganês e cobalto) são mais utilizados em veículos elétricos, segundo Alves et al. 2018. Se por um lado, os equipamentos eletrônicos (laptops, celulares, etc.) consomem em média 200 g de cobalto por aparelho, por outro lado, os veículos elétricos consomem em torno de 10 kg de cobalto por unidade produzida.

Na área da saúde, o cobalto é utilizado em equipamentos para diagnósticos de doenças (tomografia computadorizada e ressonância magnética) e também no tratamento de câncer. Outras aplicações nobres podem ser verificadas na fabricação de ferramentas de corte, ligas especiais utilizadas em turbinas, etc.

3.1.3.14. Padrão Tecnológico da Cadeia do Cobalto

As principais tecnologias utilizadas no Brasil na cadeia do cobalto são apresentadas na Tabela 25, juntamente com as tecnologias benchmark internacionais. A Figura 14 apresenta um fluxograma simplificado da rota tecnológica predominante no Brasil para a cadeia do cobalto e as principais rotas alternativas.

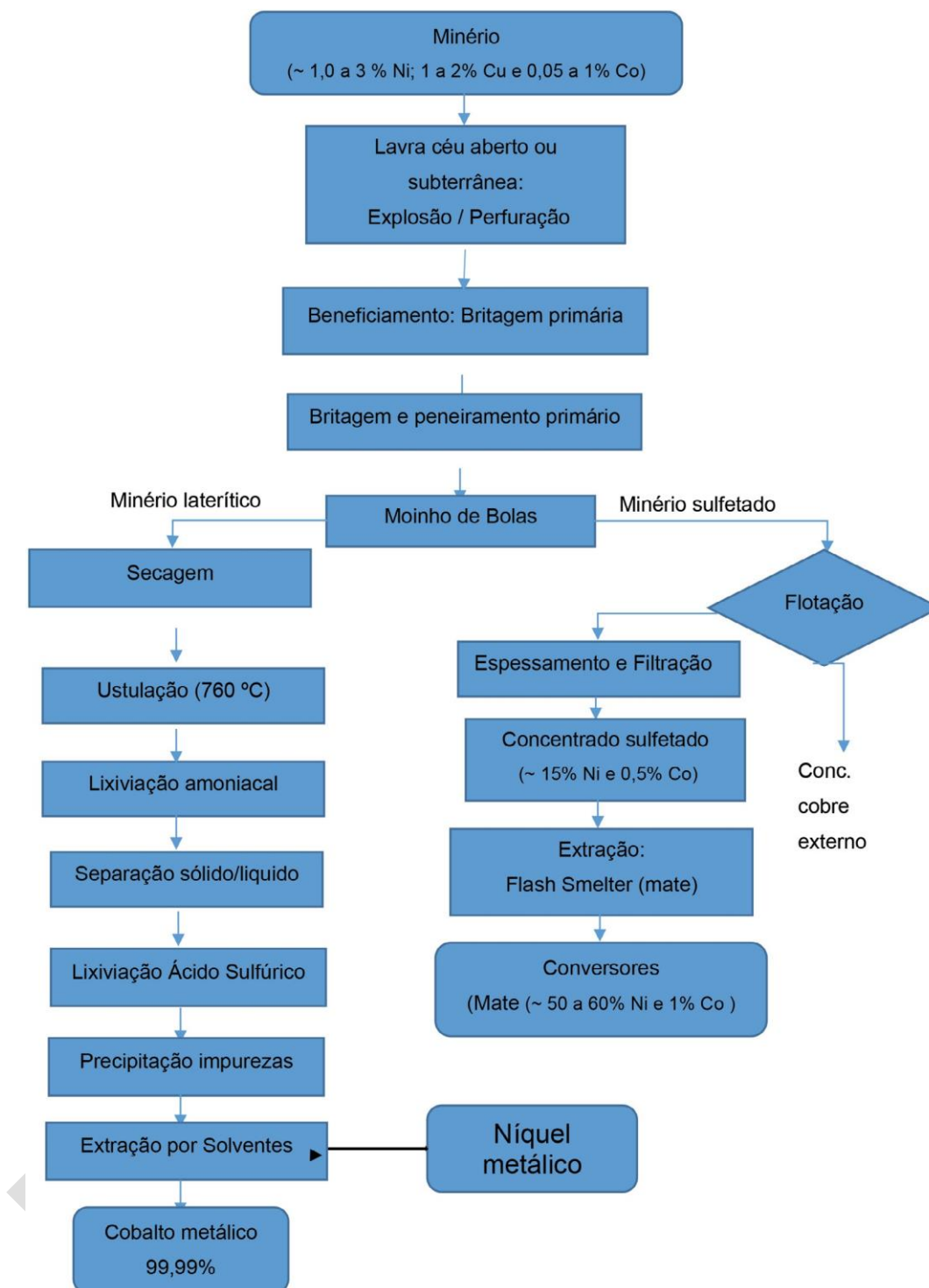
Tabela 25. Principais tecnologias utilizadas no Brasil na cadeia do cobalto, juntamente com as tecnologias benchmark internacionais.

Produto	Tecnologia Produtiva no Brasil	Tecnologia Ambiental no Brasil	Benchmark Tecnológico Produtivo	Benchmark Tecnológico Ambiental
Concentrado de Níquel e Cobalto	Mina Céu Aberto (Cava; Britagem; Moagem; Flotação; Separação S/L e Disposição		Canadá	Canadá
Cobalto Refinado	Ustulação Lixiviação Extração por solventes e Eletrorefino	Precipitador Eletrostático; Limpeza de gases e Tratamento de efluentes	Canadá	Canadá

Fonte: Crundwell et al, 2011; Schlesinger et al, 2011; Northey e Haque, 2013



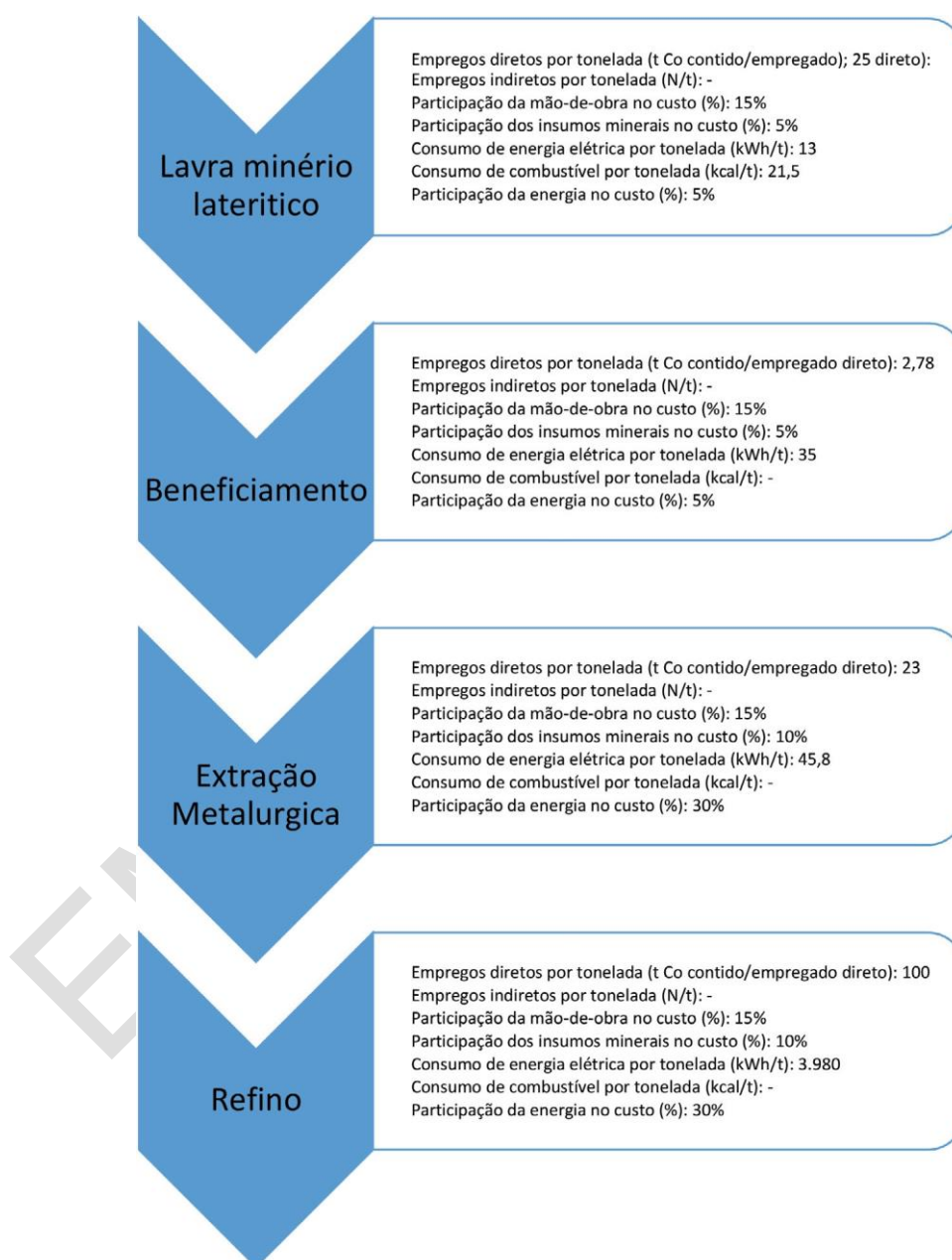
Figura 14. Fluxograma da rota tecnológica predominante no Brasil e das possíveis rotas alternativas, na cadeia do cobalto.



3.1.3.15. Análise Integrada da Cadeia Produtiva do Cobalto

A Figura 15 apresenta um fluxograma simplificado da cadeia do cobalto para minérios lateríticos especificando, para cada etapa, estimativas médias de geração de empregos/t (diretos e terceirizados permanentes), estimativa de sua participação (%) no custo de produção, estimativa de participação (%) dos insumos minerais no custo de produção, energia elétrica (kWh/t), combustível (kcal/t) e total (tep/t) e estimativa de participação (%) no custo de produção.

Figura 15 - Fluxograma simplificado da cadeia do cobalto para minérios lateríticos



Fonte: Crundwell et al 2011; Schlesinger et al 2011 e Northey e Haque, 2013.

Lista de Referências

Al Barazi, S.; Näher, U.; Vetter, S.; Schütte, P.; Liedtke, M.; Baier, M.; Franken, G. - Cobalt from the DRC – Potential, Risks and Significance for the Global Cobalt Market (translated, original in German). *Commodity Top News* v. 53, Hannover-BGR 2017.

Alves, D. P., Blagoeva D., Pavel C., Arvanitidis N., Cobalt: demand-supply balances in the transition to electric mobility, EUR 29381 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-94311-9, doi:10.2760/97710, JRC112285.

Barassa, E. ; Cruz, R.F. , 1º Anuario Brasileiro da Mobilidade Elétrica , 2020 - Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica (PNME) - Disponível em : <https://www.pnme.org.br/biblioteca/1o-anuario-brasileiro-da-mobilidade-eletrica/>

BrN - Brazilian Nickel – Piauí Nickel Project – 2022 – disponível em : <https://www.braziliannickel.com/piaui-nickel-project/>

Cannoni, R. V. – Extração do níquel e cobalto do rejeito Caron, através da lixiviação ácida saturada e troca iônica em polpa. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mineral, Escola Politécnica / USP, 2021

COMEX STAT - Exportação e Importação Geral – encontrado em: <http://www.comexstat.mdic.gov.pt/home>

CRU - Cobalt Market Report 2021- Cobalt Institute disponível em: www.cobaltinstitute.org

Crundwell, F.K ; Moats, M.S.; Ramachandran, V. ; Robinson, T.G.; Davenport, W.G. - Metallurgy of Nickel, Cobalt and Platinum-Group Metals - Copyright _ 2011 Elsevier Ltd. All rights reserved.

HMB - Horizonte Minerals Brasil – Projeto Vermelho – 2022 - disponível em : https://www.horizonteminerals.com/br/pt/projeto_vermelho/

Imbelloni, A.M.- Concentração do minério de níquel da Mineração Fortaleza de Minas – Dissertação de Mestrado em Engenharia Mineral, UFOP, 2013.

JRV - Jervois Global Limited - Annual Information Form- For Fiscal Year Ended December 31, 2021

Garside, M.- Consumption volume of cobalt worldwide in 2019 and 2020 - Apr 14, 2022: disponível em: <https://www.statista.com/statistics/1142907/global-cobalt-consumption/#statisticContainer>

Nascimento, M., Soares, P. S. M - Cobalto no Brasil: metalurgia extrativa, ocorrências e projetos. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2019.

Northey S.A and e Haque N - Life cycle based water footprint of selected metal production – Assessing production processes of copper, gold and nickel. CSIRO, (2013) Australia. EP137374. <https://publications.csiro.au/rpr/download?pid=csiro:EP137374&dsid=DS3>

O.E.C - The Observatory of Economic Complexity – disponível em <https://oec.world/en/profile/hs/cobalt>

Rathmann, R (Organizador) - Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de mineração e pelotização - Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, ONU Meio Ambiente, 2017.

Revista Mineral - Metalúrgica em S. Miguel Paulista voltará a operar, maio de 2022, disponível em : www.brasilmineral.com.br

Roskill Consult Group - State of the Cobalt market' report, May 2021 – disponível em: www.cobaltinstitute.org

Schlesinger M. E.; King, M.J.; Sole, K.C.; Davenport, W.G. - Extractive Metallurgy of Copper - Copyright _ 2011 Elsevier Ltd. All rights reserved.

U.S.G.S.- Mineral commodity summaries 2022: U.S. Geological Survey, 202 p., disponível em : <https://doi.org/10.3133/mcs2022>.

Van Halm, I. - Surging commodity prices could impact the growth of the EV sector, Março , 2022 – Disponível em :

WMP - World Mineral Production – British Geological Survey – disponível em: <https://www2.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/worldArchive.html>

WMSD – Word Mineral Statistical Data – British Geological Survey – disponível em: www2.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/wms.cfc?method=searchWMS

PLANO NACIONAL DE MINERAÇÃO 2050

PNM 2050

CADEIAS PRODUTIVAS 8: GRAFITA**Caderno 3: Cadeias Produtivas dos
Minerais para a Transição Energética**

CADEIAS PRODUTIVAS 8: GRAFITA.....	229
3.1. Caracterização das Cadeias Produtivas	230
3.1.8. Cadeia Produtiva da Grafita	230
3.1.8.1. Polos mineiro-industriais no Brasil, da Cadeia Produtiva da grafita	231
3.1.8.2. Parque Produtivo da Grafita no Brasil	233
3.1.8.3. Consumo Energético e Emissão de CO ₂ , da Cadeia Produtiva da grafita	234
3.1.8.4. Utilização de Água na Cadeia Produtiva da grafita	235
3.1.8.5. Geração de Resíduos na Cadeia Produtiva da Grafita	236
3.1.8.7. Produção de Grafita	238
3.1.8.8. Consumo da Grafita	240
3.1.8.9. Importações da Grafita	241
3.1.8.10. Exportações da Grafita	242
3.1.8.12. Porte dos projetos em andamento e/ou previstos e geração de Empregos na cadeia produtiva da grafita	244
3.1.8.13. Projeções até 2050 da Grafita, em 3 Cenários Hipotéticos	246
3.1.8.14. Usos e Aplicações da grafita	249
3.1.8.15. Padrão Tecnológico da Cadeia da Grafita	251
3.1.8.16. Análise Integrada da Cadeia Produtiva da Grafita	255

3.1. Caracterização das Cadeias Produtivas

3.1.8. Cadeia Produtiva da Grafita

A grafita é um importante mineral para a transição energética, sendo o material predominante na composição dos anodos das baterias de lítio, praticamente sem substituto técnico-economicamente viável. A partir da grafita são obtidos produtos (grafites) com inúmeras especificações em seus correspondentes campos de aplicação, tais como o grafite lubrificante (empregado, por exemplo, na agricultura), o grafite natural a seco (produção de refratários e grafite expandido), o grafite micronizado (peças sinterizadas, minas de lápis, plásticos, escovas de carbono, baterias de chumbo-ácido), grafite briquetado (ferro cinzento, aços especiais, pastilhas de freio), grafite de alta pureza (baterias primárias e secundárias, e grafite esferoidizado).

A cadeia produtiva da grafita, tal como no caso dos demais bens minerais, torna-se mais complexa na medida em que novos produtos e processos são desenvolvidos. Até recentemente os produtos derivados da grafita não incluíam o grafeno, material descoberto/desenvolvido recentemente e que ampliou, enormemente, as possibilidades de crescimento de um segmento industrial de alto valor agregado, pois as aplicações do grafeno estão revolucionando a ciência e a engenharia dos materiais.

O grafeno é um nanomaterial composto de átomos de carbono com uma organização bidimensional específica conferindo-lhe propriedades como alta condutividade térmica e elétrica, flexibilidade e elevada resistência mecânica. Essas características são muito atraentes para diferentes setores industriais, particularmente os que desenvolvem baterias mais leves e com maior tempo de carga, smartphones com telas flexíveis, tintas anticorrosivas, plásticos e borrachas mais resistentes e condutores, ligas metálicas muito leves, tecidos e embalagens com barreira térmica e dissipação de calor, etc.

É notório que o mercado internacional de grafita é altamente promissor e o Brasil tem acompanhado a evolução com investimentos em ampliação do setor produtivo (extração e beneficiamento), e nas áreas de PD&I. Diversas instituições de pesquisa e universidades têm investido, com pioneirismo, como por exemplo, a Universidade Mackenzie, inaugurando o MackGraphe e o Centro de Pesquisas

Avançadas em Grafeno, Nanomateriais e Nanotecnologia. Na mesma direção a Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (Codemig) realizou, em 05 de julho de 2016, o lançamento do projeto “MGgrafeno: Produção de Grafeno a partir de Grafita Natural e Aplicações”. Minas Gerais também abriga a primeira planta-piloto para a produção de grafeno em escala industrial, empreendimento do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear/Comissão Nacional de Energia. O Projeto MGgrafeno é fruto de uma parceria entre UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais), CDTN (Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear) e CODEMGE (Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais). O objetivo é desenvolver tecnologia nacional para construção da primeira planta piloto do Brasil de produção de grafeno em escala industrial, reproduzível e escalável, assim como atuar junto às indústrias para incorporação do grafeno em seus produtos e processos, agregando benefícios que apenas o grafeno é capaz de proporcionar. A planta já conta com uma capacidade de produção de 1 tonelada por ano. (Mathias Heider, 2017).

No cenário industrial da exploração/beneficiamento vale registrar que a South Star Battery Metals vem se instalando em Itabela- BA (Grafite Santa Cruz). O empreendimento, localizado no município de Itabela, sul do estado, tem o início da construção da fase um do projeto previsto para ser entregue no segundo trimestre de 2023. A implantação do Projeto de Grafite Santa Cruz (a cerca de 8 km do centro da cidade de Itabela) foi subdividida em duas fases, com o objetivo de minimizar riscos e alocar o investimento de forma adequada. A primeira fase envolve a construção da planta piloto de concentrado, com capacidade de 5.000 toneladas por ano. Esta etapa acontece do início de junho e se estende até 2023. A segunda fase compreende a implementação da planta de concentrado de grafite planejada, a princípio, para produzir entre 25.000 a 30.000 toneladas por ano.

3.1.8.1. Polos mineiro-industriais no Brasil, da Cadeia Produtiva da grafita

No Brasil, as principais empresas produtoras de grafita são a **Nacional de Grafite**, estabelecida no Estado de Minas Gerais (municípios de Itapeçerica, Pedra Azul e Salto da Divisa), responsável por 84% da produção, e a **Extrativa Metalquímica**, localizada em Maiquinique, no Estado da Bahia, responsável por 16%, em 2014. (Mathias Heider, 2017)

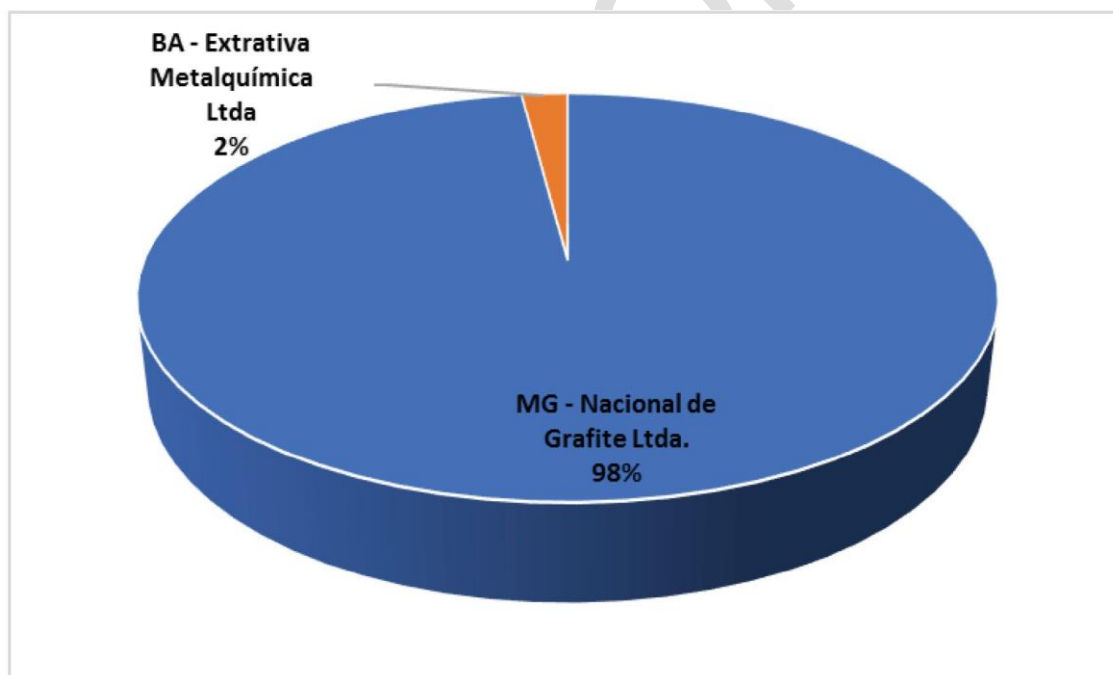
No Brasil, os polos mínero-industriais da cadeia produtiva da grafita, até 2020, juntamente com o nível de concentração da produção, o percentual de participação de capital nacional/estrangeiro e com distribuição no território nacional são apresentados na Tabela 1 e no gráfico da Figura 1.

Tabela 1. Polos brasileiros da cadeia produtiva da grafita, até 2020.

Estado	Município	Empresa	Produtos	Capacidade de Produção	Receita	Capital Nacional (%)	Capital Externo (%)	Percentual da Produção Nacional
MG	Itapeçica, Pedra Azul e Salto da Divisa	Nacional de Grafite Ltda.	Concent., flocos e outros produtos de grafite	95.000 t/ano	R\$ 310 milhões em 2020	100	0	97,9
BA	Maiquini-que	Extrativa Metalquí-mica Ltda	Concent.	2.000 t/ano				2,1

Fontes: Brasil Mineral, (2021); ANM, (2022); Mathias Heider, 2017; USGS (2021 e 2022).

Figura 1. Polos brasileiros da cadeia produtiva da grafita, em 2020.



Fontes: Brasil Mineral, (2021); ANM, (2022); Mathias Heider, 2017; USGS (2021 e 2022).

Atualmente, a produção brasileira de grafita tem origem nos estados de Minas Gerais e Bahia. O volume produzido posicionou o Brasil, no ano 2021, na segunda posição no ranking mundial na produção de grafita, conforme apresentado na Tabela 2, juntamente com os três países maiores produtores. Há que considerar

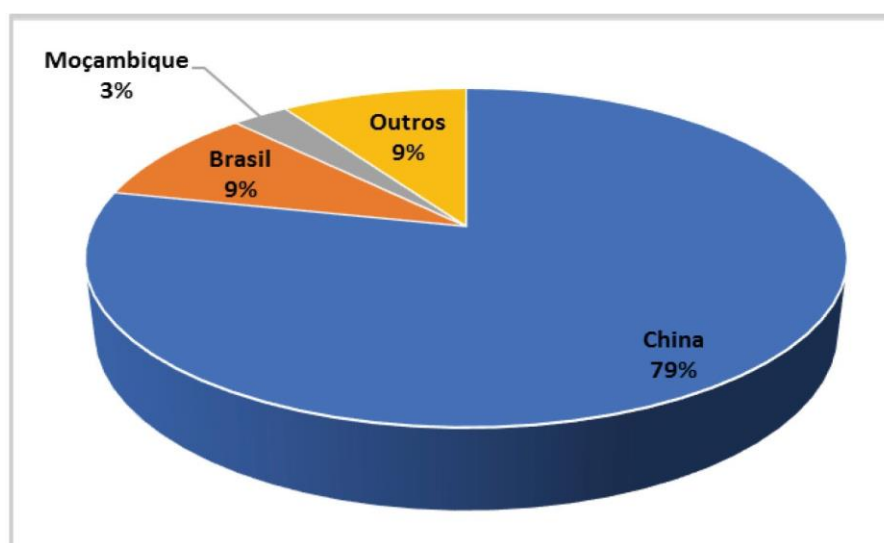
que há pouca informação disponível sobre a indústria da grafita no Brasil, possivelmente por se tratar de poucas empresas no ramo. (<https://investingnews.com>)

Tabela 2. Ranking dos principais países produtores de grafita, no ano 2021.

Colocação/País	Produção (kt)
China	820
Brasil	97
Moçambique	30
Outros	98.4

Fontes: USGS, (2022); *ANM, (2022); <https://investingnews.com>

Figura 2. Ranking dos principais países produtores de grafita, no ano 2021.



Fontes: USGS, (2022); ANM, (2022); <https://investingnews.com>

O Brasil é um importante produtor de grafita, ocupando a segunda colocação, com 9% da produção mundial em 2021, muito distante da China, com 79% da produção mundial.

3.1.8.2. Parque Produtivo da Grafita no Brasil

A Tabela 3 apresenta informações sobre o parque produtivo da grafita no Brasil, incluindo número de empresas, capacidade, localização e tipologia das unidades de produção que integram a cadeia de sua produção mínero-industrial, em conjunto com a caracterização das integrações a montante e a jusante, bem como de facilidades locacionais e logísticas associadas às integrações existentes.

Tabela 3. Parque produtivo brasileiro da grafita, com as conexões de logística de transporte, em 2020.

	Empresa	Local	Produtos	Produção	Operação Montante	Logística	Operação Jusante	Logística
Lavra								
Britagem	Nacional de Grafite Ltda.	Itapece-rica; Pedra Azul; e Salto da Divisa	Minério de grafita	1,7 Mta	Escavação Transporte Homogenei-zação	Escava-deira Cami-nhão Empilha-mento	Classificação Moagem	Peneira-mento Moinhos de bolas
Beneficiamento								
Flotação	Nacional de Grafite Ltda.	Itapece-rica; Pedra Azul; e Salto da Divisa	Concen-trado e produtos de grafita	70 kta	moagens	correia trans-port.	Lavagem Filtragem Secagem	Filtros prensa Seca-dor rota-tivo
Ajuste de Propriedades físicas								
Moagem	Nacional de Grafite Ltda.	Itapece-rica; Pedra Azul; e Salto da Divisa	produtos de grafita	70 kta	Classificação	Peneiras	Aglomeração	Brique-tagem

Fontes: Brasil Mineral, (2021); ANM, (2022); Malaquias, C. J.(2011)

3.1.8.3. Consumo Energético e Emissão de CO₂, da Cadeia Produtiva da grafita

A cadeia produtiva da grafita não é, a princípio, uma cadeia de consumo energético e de emissão de CO₂, que extrapole a média da indústria de mineração a céu aberto e concentração por moagem e flotação.

Alguns destaques podem ser pontuados:

- a lavra a céu aberto implica em abertura de áreas (desmatamento), uso de máquinas e equipamentos movidos a combustível fóssil e consumidoras de energia elétrica, inclusive na remoção de estéril e na logística entre as fases de processo;
- o beneficiamento de grafita inclui, geralmente, fases de moagem (além de britagem), flotação, classificação granulométrica, filtragem / desaguamento, secagem, etc.) que têm consumo elevado de energia elétrica;

- o tratamento e a disposição de rejeitos (em quantidades significativas, tendo em conta que os teores de alimentação são relativamente baixos e os produtos têm teores elevados, em processos de elevada recuperação). Também são, normalmente, consumidores de energia, devido ao uso de bombas de polpa, além de máquinas e equipamentos para a construção de bacias de tratamento e de deposição;
- as fases produtivas a jusante também contribuem para o consumo energético e emissão de CO₂.

3.1.8.4. Utilização de Água na Cadeia Produtiva da grafita

Se comparada com outros empreendimentos de exploração/beneficiamento mineral, a cadeia produtiva da grafita não é uma cadeia de consumo intensivo de água que extrapole a média desse tipo de indústria e de processo (mineração a céu aberto e concentração a úmido/polpa).

A lavra a céu aberto não envolve utilização significativa de água, restringindo-se às atividades de manutenção de máquinas e equipamentos (com alguma possibilidade de recirculação de água) e de aspersão em vias de tráfego (não recirculável), entre outros usos menores. O beneficiamento de grafita normalmente se faz com material a úmido/polpas, com elevado consumo de água, mas passível de recirculação, tanto dentro do processo produtivo, bem como retomando das áreas de tratamento e disposição de rejeitos. Para umectação das vias internas de uma mina são utilizados caminhões pipa com capacidade média de 20.000 litros, suficientes para controlar a dispersão de material particulado em suspensão. A periodicidade de irrigação acontece em função da demanda diária, ou seja, nos dias mais secos a periodicidade, bem como frequência, é maior que nos dias úmidos. As fases produtivas a jusante também propiciam o consumo de água.

A Tabela 4 não contém dados das empresas atualmente produtoras no Brasil (Nacional de Grafite e Extrativa MetalQuímica) mas, a título informativo, do Projeto Santa Cruz (South Star, 2019).

Tabela 4. Utilização de água no Brasil, da cadeia produtiva da grafita.

	Empresa	Local	Consumo de Água (m³/t)	Reutilização (%)	Tratamento de Efluentes
Lavra	South Star	Itabela, BA	Apenas supressão de particulados	0%	Não
Beneficiamento	South Star	Itabela, BA	419	70% no mínimo	varias, aprovadas pelo órgão ambiental competente

Fonte: South Star, (2019).

3.1.8.5. Geração de Resíduos na Cadeia Produtiva da Grafita

Os resíduos sólidos gerados compreendem, de forma geral, resíduos não perigosos (resíduos orgânicos e passíveis de reciclagem) e resíduos perigosos (aqueles provenientes de parte das atividades industriais e não passíveis de reciclagem). A lavra a céu aberto de grafita geralmente envolve a necessidade de remoção de volumes significativos de estéril (relação estéril-minério de $1,6 \text{ t}_{\text{est}} / \text{t}_{\text{min}}$ no projeto Santa Cruz - South Star, 2019). A escala de produção não é, normalmente, elevada (1,7 milhões de t/a no caso das minas da Nacional de Grafite), o que atenua o efeito. O beneficiamento de grafita gera, normalmente, volumes significativos de rejeito, em função do baixo teor da alimentação (2 a 4% de C), concentrado de elevado teor (maior que 80%) e elevadas recuperações (acima de 80%) – a quantidade de rejeito gerado é, praticamente, similar à quantidade alimentada no beneficiamento. A escala de produção não é, normalmente, elevada (próximo de 1,7 milhões de toneladas por ano, no caso das minas da Nacional de Grafite). Nas fases produtivas a jusante, há necessidade de uso de ácido fluorídrico no processo, visando a obtenção de matéria-prima para a produção de anodos de baterias de lítio, o que implica na geração de resíduos contendo o ácido, de elevado risco e com necessidades especiais para uso e disposição.

A Tabela 5 apresenta dados do Projeto Santa Cruz (South Star, 2019), juntamente com informações da empresa Nacional de Grafite.

Tabela 5. Geração de resíduos no Brasil, da cadeia produtiva da grafita.

	Empresa	Local	Geração de Resíduos (t/t _{produto})	Natureza e Classificação dos Resíduos	Potencial de Aproveitamento	Práticas de Mitigação de Impactos Ambientais
Lavra	South Star	Itabela, BA	1,7	Estéril de mina	Baixo, talvez para a construção de vias e estruturas	Várias, aprovadas pelo órgão ambiental competente
Beneficiamento	South Star	Itabela, BA	48	Rejeito de beneficiamento (moagem e flotação)	Baixo	Várias, aprovadas pelo órgão ambiental competente
Lavra e Beneficiamento	Nacional de Grafite	MG	Não disponível	Rejeito de beneficiamento (Não perigosos e Perigosos) *	Alto**	Várias, aprovadas pelo órgão ambiental competente

Fonte: South Star, (2019); Nacional de Grafite, Relatório (2020).

Notas: * resíduos não perigosos (resíduos orgânicos e passíveis de reciclagem) e resíduos perigosos (aqueles provenientes de parte das atividades industriais e não passíveis de reciclagem).

** Após segregar todos os materiais, os mesmos quando possíveis são reutilizados ou doados para reciclagem e os demais são destinados ao aterro classe II existente no empreendimento ou enviados para empresas terceirizadas já regularizadas ambientalmente.

A Nacional de Grafite tem um Programa de Gestão de Resíduos Sólidos, no qual a maior parte é tratada e/ou disposta em locais distantes do ponto de sua geração. O envio de um resíduo do ponto de geração até o seu destino final envolve a coleta, o acondicionamento, o transporte e o armazenamento dentro do próprio empreendimento, além da coleta e o transporte até o local de tratamento ou disposição. O carregamento interno do minério, bem como do material estéril é realizado com a utilização de pás carregadeiras e/ou escavadeiras hidráulicas e transportado por caminhões tipo basculas até as áreas de deposição do material estéril, e o minério disposto em pilhas e/ou diretamente enviado para as instalações industriais de beneficiamento.

A cadeia produtiva da grafita não é uma cadeia crítica em termos de geração e de destinação de resíduos. Os índices estão próximos à média desse tipo de indústria e de processo (mineração a céu aberto, com elevada remoção de estéril, e beneficiamento de minério de baixo teor e elevada recuperação).

As características inertes da maior parte dos resíduos gerados são atenuantes, bem como a escala de produção relativamente pequena desse tipo de empreendimento.

3.1.8.7. Produção de Grafita

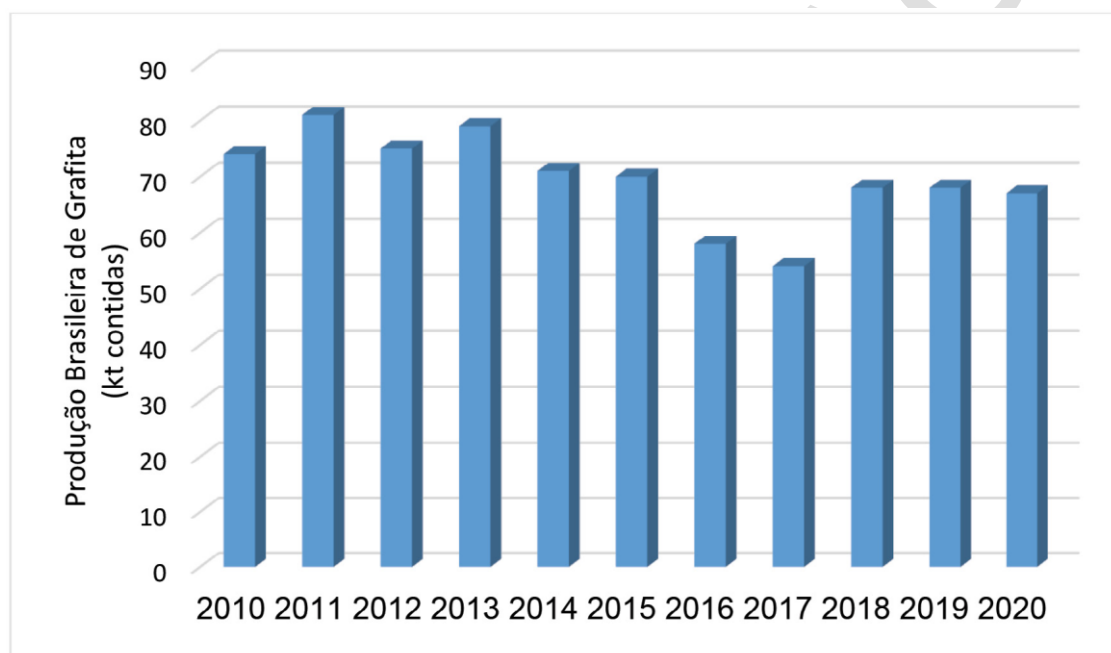
A produção brasileira de grafita beneficiada, de 2010 a 2020, é mostrada na Tabela 6 e na Figura 3, com os totais consolidados para o país.

Tabela 6. Produção brasileira, de grafita beneficiada, de 2010 a 2020

	Produção (kt contidas)										
País/Ano	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
TOTAL	74	81	75	79	71	70	58	54	68	68	67

Fontes: AMB, (2022a).

Figura 3. Produção brasileira de grafita beneficiada, de 2010 a 2020, em kt contidas.



Fontes: AMB, (2022a).

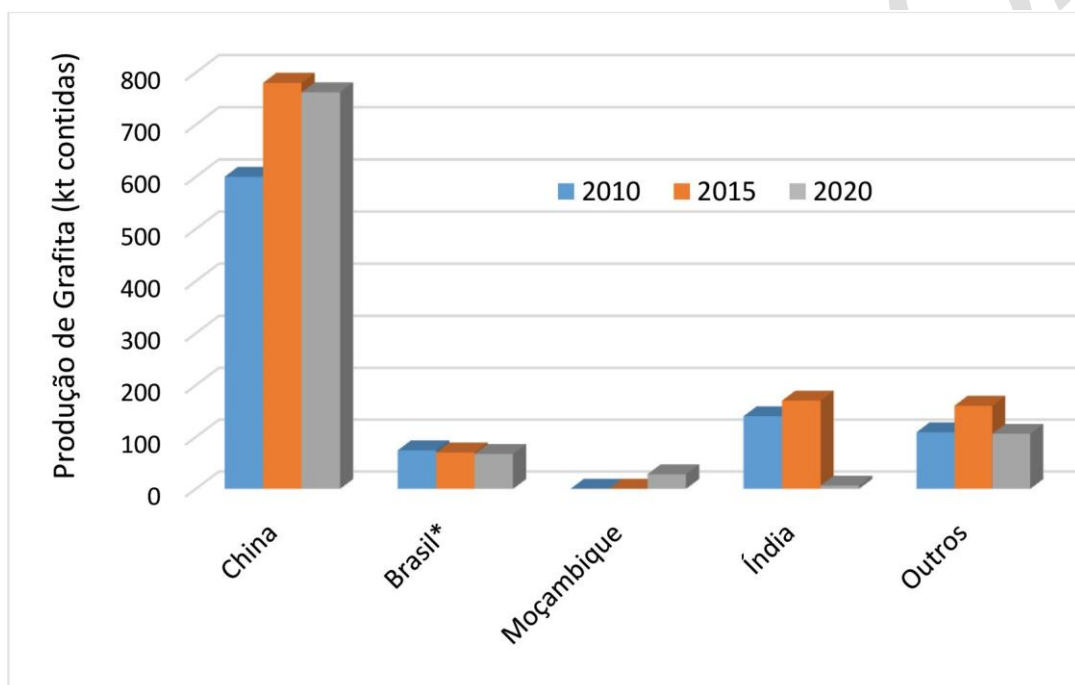
Em 2020, o Brasil se colocou na segunda posição no ranking mundial de produtores de grafita. A Tabela 7 e a Figura 4 mostram a evolução do Brasil no ranking mundial.

Tabela 7. Ranking dos principais países produtores de grafita beneficiada no ano de 2020 e suas posições em 2010 e 2015.

Colocação	2010		2015		2020	
	Países	Produção (kt)	Países	Produção (kt)	Países	Produção (kt)
1º	China	600	China	780	China	762
2º	Índia	140	Índia	170	Brasil*	67
3º	Brasil*	74	Brasil*	70	Moçambique	28
4º	Moçambique	0	Moçambique	0	Índia	6
	Outros	109	Outros	160	Outros	106
	Total	925	Total	1.190	Total	966

Fonte: USGS, (2012, 2017 e 2022); ANM, 2022a.

Figura 4. Principais produtores mundiais de grafita.



Fonte: USGS, (2012, 2017 e 2022); *ANM 2022a.

O Brasil é um importante produtor de grafita, ocupando a segunda colocação, com 6,6% da produção mundial, em 2020. A China, maior produtor mundial, participou naquele ano com 78,9% da produção.

A China tem mantido consistentemente a sua posição de primeira produtora mundial, com aumento de sua participação na produção global. O Brasil tem mantido relativamente estáveis o seu volume de produção e a sua participação na produção mundial. A Índia viu decair a sua produção e participação em 2020. Até 2015 houve produção no estado da Bahia, de cerca de 11% a 19% do

total, sendo do estado de Minas Gerais responsável pela complementação da produção brasileira.

Diante de processos minerários para grafita, atualmente em vigor no Brasil, pode-se vislumbrar um cenário promissor: existem 26 concessões de lavra (23 em MG, 2 na BA e 1 no CE) e 55 requerimentos de lavra (42 em MG, 5 no CE e 8 na BA) para grafita. Em relação à pesquisa mineral, são 240 autorizações e requerimentos, concentrados em Minas Gerais, Bahia e Ceará. Entre os projetos, alguns já se encontram em avaliação: Almenara/MG (Magnesita), Itabela/BA (Sayoná Mining) e Canindé/CE (Lara/Focus), segundo Mathias Heider (2017).

3.1.8.8. Consumo da Grafita

O consumo aparente brasileiro de grafita de 2010 a 2020 é mostrado na Tabela 8 e na Figura 5, com os totais consolidados para o país. O consumo de produtos de grafita (grafite) é distribuído por vários segmentos de utilização tais como baterias alcalinas, baterias de íon de lítio, células combustíveis, baterias de zinco carbono, escovas de carbono, pastilhas e lonas de freios, metalurgia do pó, foils, grafite flexível, lápis, metais sinterizados, aditivos de carbono para metalurgia, carburantes para ferros nodulares, carburantes para ferros cinzentos, aditivos de carbono para aços especiais, refratários monolíticos, magnésia carbono, alumina carbono, cadinhos, peças de sistemas de lingotamento contínuo, lubrificantes para forjarias, lubrificantes para conformação de metal a quente, pós para lubrificantes, componentes para polímeros, componentes para plásticos retardantes de chamas, para PTFE e para borrachas.

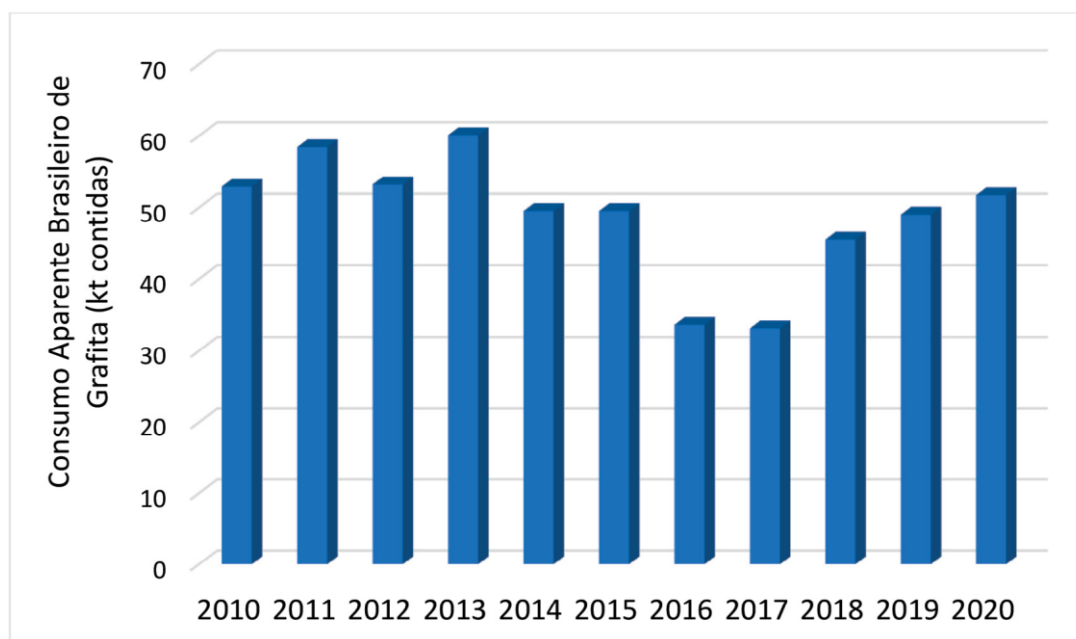
Tabela 8. Consumo aparente* brasileiro de grafita beneficiada, de 2010 a 2020.

Ano	Consumo (kt contido)										
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Total	53	58	53	60	50	50	34	33	46	49	52

Fontes: AMB, 2022a e COMTRADE, 2022.

*Consumo Aparente = Produção + Importação – Exportação

Figura 5. Consumo aparente brasileiro de grafita beneficiada, de 2010 a 2020.



Fontes: AMB, 2022a e COMTRADE, 2022.

*Consumo Aparente = Produção + Importação - Exportação

De acordo com a Tabela 8, o consumo brasileiro de grafita natural decaiu, no período de 2013 a 2017. As principais causas desta redução estão ligadas à queda na atividade do setor siderúrgico e ao uso como refratário, que teve seu consumo reduzido devido à redução da atividade industrial, bem como de menor consumo específico de matérias-primas nos produtos refratários (produtos de melhor durabilidade e melhor controle de consumo) e maior reciclagem.

Constata-se que houve uma retomada importante das atividades industriais relacionadas ao consumo de grafita, a partir de 2018. Dados de 2020 posicionam o Brasil na segunda posição entre os maiores consumidores, tendo naquele ano, consumido 52 kt, atrás da China, com 762 kt, e à frente de Coreia do Sul e Índia com 47 kt e 44 kt, respectivamente. (COMTRADE, 2022)

3.1.8.9. Importações da Grafita

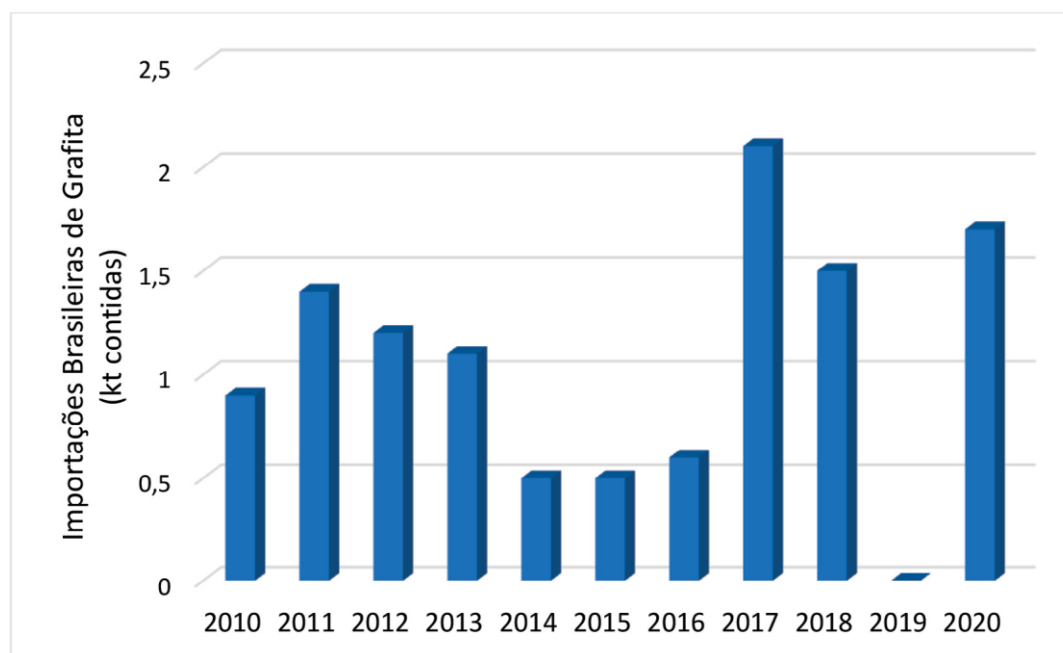
Os dados de importação de grafita no Brasil são mostrados na Tabela 9 e na Figura 6. Como se observa, o Brasil não é um importador relevante, limitando-se a produtos específicos. As importações brasileiras representaram menos de 0,1% da produção mundial.

Tabela 9. Importações brasileiras de grafita beneficiada, de 2010 a 2020.

	Importação (kt contidas)										
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Total	0,9	1,4	1,2	1,1	0,5	0,5	0,6	2,1	1,5	0	1,7

Fonte: COMTRADE, 2022.

Figura 6. Importações brasileiras de grafita beneficiada, de 2010 a 2020.



Fonte: COMTRADE, 2022.

3.1.8.10. Exportações da Grafita

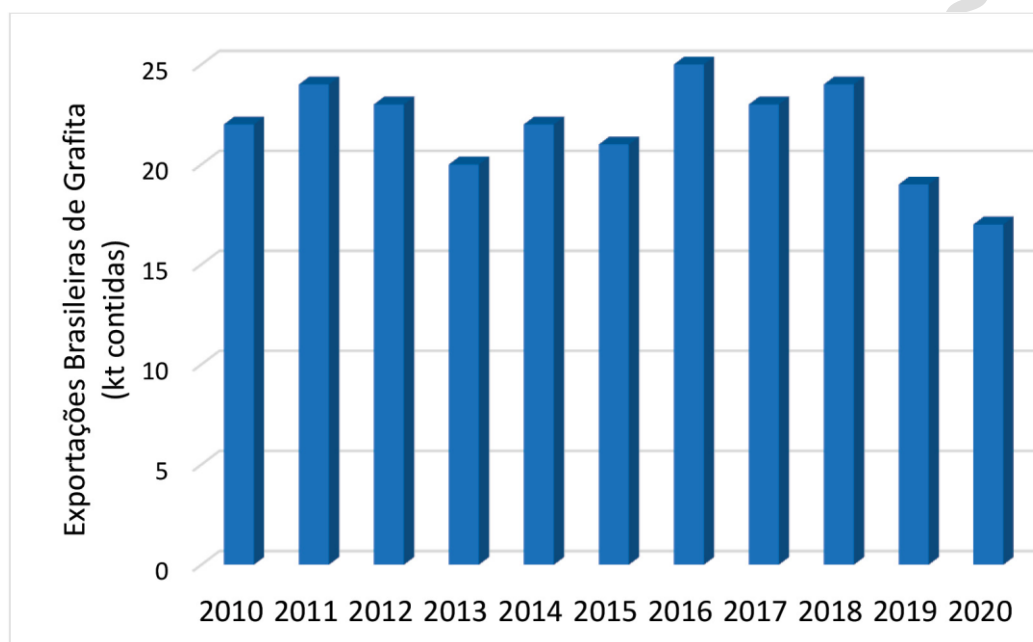
Os dados de exportação de grafita no Brasil são mostrados na Tabela 10 e na Figura 7. A participação, em toneladas, das exportações brasileiras de grafita em relação à produção nacional foi de 30%, em 2015, e 25%, em 2020. Entretanto, se tomadas as estatísticas referentes ao valor das exportações, tais percentuais se acentuam, devido à diferença entre o preço médio dos produtos exportados e os destinados ao mercado interno. Tal fato resulta da mais intensa participação de produtos de maior valor agregado, nas exportações, comparativamente aos destinados ao mercado interno.

Tabela 10. Exportações brasileiras de grafita, de 2010 a 2020.

	Exportação (kt contidas)										
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
To- tal	22	24	23	20	22	21	25	23	24	19	17

Fonte: COMTRADE, 2022.

Figura 7. Exportações brasileiras de grafita beneficiada, de 2010 a 2020.



Fonte: COMTRADE, 2022.

3.1.8.11. Porte das Empresas e Geração de Empregos

A Tabela 11, mostra um panorama da mais relevante empresa produtora de grafita no Brasil, conforme seu porte, em termos de produção, e listando ainda os estados da federação onde estão instaladas suas operações e os números de empregos diretos e indiretos gerados.

Tabela 11. Panorama da empresa de grande porte produtora de grafita no Brasil, em 2020.

Empresa de Grade Porte	Produção ROM	Estado	Empregos diretos	Empregos indiretos
Nacional de Grafite Ltda	1.800 kt	MG	500	1000
Total	1.800 Kt	Brasil	500	1000

Fonte: ANM (2022).

A Nacional de Grafite Ltda. foi a única produtora relevante no Brasil, no ano de 2020, e é uma empresa de grande porte de produção. A empresa possui capacidade de processamento da ordem de 1,8 milhões de toneladas/ano de ROM de grafita, gerando uma diversidade de produtos (grafite) em várias formas e para diferentes aplicações.

Segundo os dados de arrecadação de CFEM, em 2021, outras duas empresas retomaram suas produções, a Samaca Ferros Ltda. e a Mineração Grafite Pedra Azul Ltda. Ambas operam em escala reduzida e com baixa representação no mercado (1% e 0,2% respectivamente). Os dados da Tabela 11 foram estimados com base na arrecadação da CFEM (CFEM, 2022).

Praticamente toda a produção nacional de grafite, em 2020, teve como origem o estado de Minas Gerais, nas minas de Tejuco Preto, no município de Itapeçerica, da Paca, em Pedra Azul; e Califórnia, em Salto da Divisa.

3.1.8.12. Porte dos projetos em andamento e/ou previstos e geração de Empregos na cadeia produtiva da grafita

Há sinais de mudança no cenário empresarial dos produtores de grafita no Brasil. A empresa Sayona Mining assinou um acordo de opção com a Brasil Grafite referente ao projeto Itabela, na Bahia, com produção inicial estimada em 18.000 toneladas por ano e expansão para 36.000, com vida útil de 23 anos segundo a Frontera Minerals. A Paringa Resources detém os empreendimentos de grafite São Fidélis e Santo Antônio, ambos no Rio de Janeiro. A australiana Paradigm Metals avalia o projeto Canindé em parceria com a Lara Exploration, com teores da ordem de 20% de C (carbono grafítico). Segundo a mineradora australiana, a brasileira Nacional de Grafite produz na mina de Pedra Azul com teor entre 6,5% e 7% de C e na mina Salto da Divisa com teor de 4,5% a 5% de C. A Magnesita Refratários possui o projeto Almenara/MG, que possui teor médio de 2,2% de carbono grafítico e anunciou que este projeto será postergado devido ao porte e vida útil (inicialmente avaliada em seis anos e 40.000 t/ano) obtidos nos estudos de viabilidade econômica, aquém da sua estratégia de produção. A canadense DNI Metals assinou uma carta de intenção com um consórcio liderado pela Atlântica Geologia e Mineração para avaliar, por 90 dias, as ocorrências de grafita no Brasil. (Sumário Mineral, 2017)

A Tabela 12 apresenta um panorama dos projetos em andamento e/ou previstos oficialmente para a produção de grafita no Brasil, com o ano de início, conforme seu porte em termos de produção, e listando ainda os estados da federação onde estão instaladas as suas operações e os números de empregos diretos e indiretos previstos.

Os projetos de médio porte prevalecem na indústria da grafita no Brasil. O Estado da Bahia concentra 69% da capacidade de produção projetada dos novos projetos de grafita no Brasil, o que desloca a concentração da produção atual de 100% em Minas Gerais. A geração de empregos pode ser considerada pouco expressiva em termos nacionais. Entretanto, analisando dentro de um contexto local ou até mesmo regional, as gerações de emprego e sua manutenção ao longo da vida útil do empreendimento podem ser de expressivo significado, principalmente na hipótese de uma mais intensa integração *down stream* da cadeia produtiva, mediante a viabilização de novos empreendimentos geradores de maior valor agregado. Os estados da Bahia e do Ceará, em que se localizam os novos projetos ora em curso, deverão ser os mais beneficiados.

Tabela 12. Panorama dos projetos em andamento e/ou previstos para a produção de grafita no Brasil, por porte de produção, no ano de 2022.

Projetos de Médio Porte				
Empresa e Ano de início do projeto	Produção ROM Prevista	Estado	Empregos diretos previstos*	Empregos indiretos previstos*
South Star, 2024 (ampliação)	286 kta adicionais	BA	53 (adicionais)	71 (adicionais)
Graphcoa	286 kta*	BA	53	71
Buxton	286 kta*	CE	53	71
Total	858 kta	Brasil	159	213
Projetos de Pequeno Porte				
Empresa e Ano de início do projeto	Produção ROM Prevista	Estado	Empregos diretos previstos	Empregos indiretos previstos
South Star, 2022	71 kta	BA	52	69
Total	71 kta	Brasil	52	69
Total dos Projetos Previstos				
Porte dos Projetos	Produção ROM Prevista	Estado	Empregos diretos previstos	Empregos indiretos previstos
Médio	858 kta	BA, CE	159	213
Pequeno	71 kta	BA	52	69
Total	929 kta	Brasil	211	282

Fonte: South Star (2022), Graphcoa (2022), Buxton (2022)

(*) Estimado com base nos dados da South Star

3.1.8.13. Projeções até 2050 da Grafita, em 3 Cenários Hipotéticos

As projeções para o Brasil, até 2050, considerando um cenário otimista, são apresentados na Tabela 13 e na Figura 8.

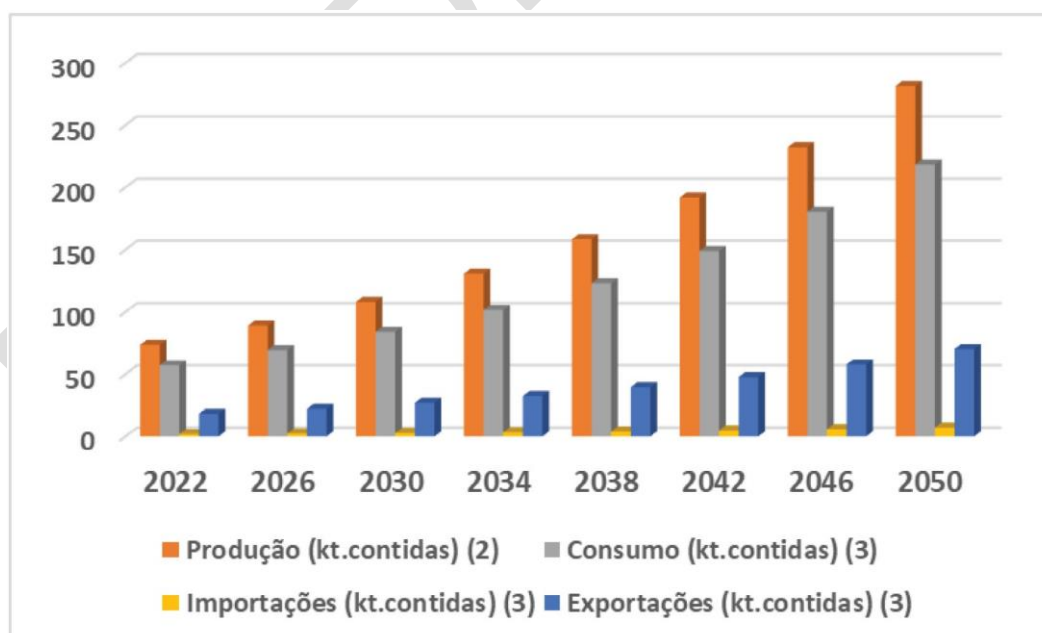
Tabela 13. Projeções do mercado brasileiro da grafita, até 2050, em cenário otimista*.

	2020	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Reservas Medidas (kt. contidas) (1)	4.900	4.959	5.042	5.062	5.000	4.833	4.529	4.052	3.357
Produção (kt.contidas) (2)	67	74	89	108	131	159	192	232	281
Consumo (kt.contidas) (3)	52	57	69	84	102	123	149	180	218
Importações (kt.contidas) (3)	1,7	2	2	3	3	4	5	6	7
Exportações (kt.contidas) (3)	17	18,4	22,3	26,9	32,6	39,5	47,8	57,9	70,1
Empregos diretos (4)	711	762	874	1.003	1.151	1.321	1.516	1.739	1.996
Empregos indiretos (4)	1282	1.373	1.576	1.808	2.075	2.381	2.733	3.136	3.598

*Notas:

1. Considerando as reservas pela estimadas pela USGS (2022), de 70 Mt, com teor médio assumido de 7%, e uma reposição de 2% das reservas, a cada ano.
2. Considerando que as produções das empresas já em operação e os novos projetos divulgados, voltados ao crescimento da produção acompanharão o crescimento mundial, de 4.9% aa, até 2050, conforme previsões globais da Roskill (2021).
3. Considerando que o consumo nacional acompanhará o crescimento global médio do mercado.
4. Considerando que as importações acompanharão o crescimento do mercado mundial.
5. Considerando que o excedente de produção será exportado.
6. Considerando acréscimo de produção e empregos com a entrada dos novos projetos, no percentual 3,5% aa, em função do aumento da produtividade da mão de obra.

Figura 8. Projeções da produção, do consumo, das importações e das exportações para o Brasil, em kt/a até 2050, em cenário otimista.



As projeções para o mundo, até 2050, são apresentadas na Tabela 14 e na Figura 9, sendo considerado apenas um cenário conforme dados internacionais.

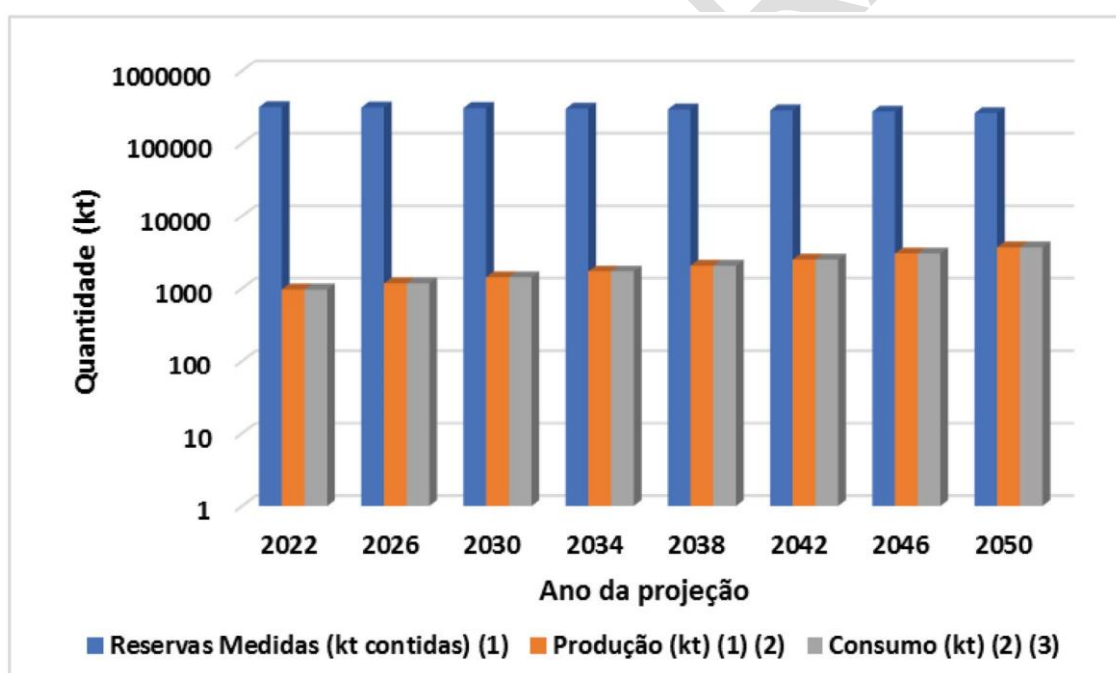
Tabela 14. Projeções para o mundo, até 2050.

	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Reservas Medidas (kt contidas) (1)	320.000	315.843	310.808	304.713	297.332	288.394	277.571	264.466
Produção (kt) (1) (2)	966	1.170	1.416	1.715	2.077	2.515	3.045	3.687
Consumo (kt) (2) (3)	966	1.170	1.416	1.715	2.077	2.515	3.045	3.687

Notas:

1. Considerando a produção global e as reservas estimadas pela USGS, 2022
2. Considerando crescimento global médio do mercado de 4.9% aa até 2050 (conforme previsões globais da Roskill, 2021).
3. Considerando que a produção acompanhará o consumo.

Figura 9. Projeções da grafita para o mundo, até 2050.



As projeções de produção e consumo evidenciam uma perspectiva de crescimento próxima de 300% em 30 anos (Roskill, 2021). Várias empresas de países como Tanzânia, Moçambique, Madagascar, Canadá, Austrália, entre outros, estão se esforçando para melhor aproveitar tal significativo aumento da demanda mundial de grafita.

Diante ao atual quadro de reservas e recursos de grafita, para alcançar confortavelmente o cenário otimista, o Brasil deve adotar medidas de estímulo à atração de investimentos visando o desenvolvimento e inserção competitiva de sua cadeia produtiva da grafita no mercado mundial. Dentre outras medidas, faz-se necessário assegurar o acesso a direitos minerários em províncias e áreas de boa favorabilidade geológica, mediante simplificações de procedimentos e mais efetiva ação regulatória, bem como intensificação dos processos de disponibilidade.

As projeções para o Brasil, até 2050, considerando um cenário conservador, são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15. Projeções do mercado brasileiro de grafita, até 2050, em cenário conservador.*

	2020	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Reservas Medidas (kt. contidas) (1)	4.900	4.765	4.477	4.166	3.830	3.465	3.071	2.644	2.182
Produção (kt.contidas) (2)	67	70	75	82	88	96	104	112	121
Consumo (kt.contidas) (3)	52	54	59	63	69	74	80	87	94
Importações (kt.contidas) (4)	1,7	2	2	3	3	4	5	6	7
Exportações (kt.contidas) (5)	17	17,5	19,2	21,0	23,1	25,4	28,1	31,0	34,3
Empregos diretos (6)	711	725	755	785	817	850	885	921	958
Empregos indiretos (6)	1.282	1.308	1.361	1.416	1.474	1.533	1.596	1.661	1.728

**Notas:*

1. Considerando as reservas pela estimadas pela USGS (2022), de 70 Mt, com teor de 7%, e sem reposição.
2. Considerando as produções das empresas já em operação e os novos projetos divulgados, com um percentual de crescimento de 2% aa, inferior ao mercado mundial.
3. Considerando crescimento global médio do mercado de 4.9% aa até 2050, conforme previsões globais da Roskill (2021) e um crescimento do consumo nacional em 2% aa.
4. Considerando que as importações acompanharão o crescimento do mercado mundial, em função da necessidade de formas especiais da grafita.
5. Considerando que o excedente de produção será exportado.
6. Considerando acréscimo de produção e empregos com a entrada dos novos projetos previstos para 2021/2022, com um crescimento médio de empregos de 1% aa.

As projeções para o Brasil, até 2050, considerando um cenário intermediário, são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16. Projeções do mercado brasileiro de grafita, até 2050, em cenário intermediário*.

	2020	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Reservas Medidas (kt. contidas) (1)	4.900	4.861	4.752	4.593	4.375	4.089	3.722	3.263	2.694
Produção (kt.contidas) (2)	67	72	82	95	108	124	143	164	188
Consumo (kt.contidas) (3)	52	56	64	73	84	97	111	127	146
Importações (kt.contidas) (3)	1,7	2	2	3	3	4	5	6	7
Exportações (kt.contidas) (3)	17	17,9	20,7	23,9	27,6	31,9	36,8	42,6	49,2
Empregos diretos (4)	711	740	801	867	938	1.015	1.099	1.190	1.288
Empregos indiretos (4)	1.282	1.334	1.444	1.563	1.692	1.831	1.982	2.145	2.322

*Notas:

1. Considerando as reservas publicadas pela ANM e estimadas pela USGS, e uma reposição de 1% das reservas, a cada ano.
2. Considerando as produções das empresas já em operação e os novos projetos divulgados, com um percentual de crescimento de 3,5% aa, inferior ao mercado mundial.
3. Considerando crescimento global médio do mercado de 4,9% aa até 2050, conforme previsões globais da Roskill (2021) e um crescimento do consumo nacional em 3,5% aa.
4. Considerando que as importações acompanharão o crescimento do mercado mundial, em função da necessidade de formas especiais da grafita.
5. Considerando que o excedente de produção será exportado.
6. Considerando acréscimo de produção e empregos com a entrada dos novos projetos previstos para 2021/2022, com um crescimento médio de empregos de 2% aa.

3.1.8.14. Usos e Aplicações da grafita

Produtos à base de grafita são demandados, principalmente, pelas indústrias de refratários, baterias/acumuladores de energia, lubrificantes, metalurgia e veículos automotores, assim como também na agricultura. As propriedades únicas do mineral, resultantes de sua distinta estrutura em camadas e sua inércia química, fazem dele o material escolhido para muitas aplicações: excelente condutividade elétrica e térmica/alta estabilidade; excelentes propriedades lubrificantes (lubrificante sólido), particularmente sob elevada temperatura e pressão; alta resistência à oxidação e durabilidade em ambientes quimicamente agressivos; ambientalmente amigável e não apresenta riscos à saúde; permite que moléculas químicas sejam intercaladas entre as camadas da grafita (entre os grafenos). O mercado de grafita está em alta, devido à expectativa de uma verdadeira revolução promovida i) pelo uso de baterias de lítio na indústria automobilística; ii) pela utilização de acumuladores de energia que integram os sistemas de distribuição de energia renovável de caráter intermitente; e iii) pelo desenvolvimento do grafeno e suas aplicações. A grafita é componente essencial dos anodos de baterias e acumuladores de energia, que consomem duas vezes mais grafita do que carbonato de lítio. A título de exemplo, cita-se o carro elétrico que possui, em média, 50 kg de grafita em suas baterias. (Mathias Heider, 2017)

Conforme suas características, a grafita natural tem as seguintes aplicações, segundo Mathias Heider, (2017):

i) Flocos Cristalinos- refratários; baterias; escovas de carbono; catalisadores; coberturas; cadinhos; laminados; materiais de fricção; células a combustíveis; lubrificantes; lápis; plásticos e resinas.

(ii) Microcristalina ou Amorfa- aditivos de carbono; coberturas; materiais de fricção; lubrificantes; lápis; refratários. A grafita tratada encontra aplicações variadas:

(iii) Esfolheada/Expandida- baterias; coberturas; laminados; gaxetas; isolantes; lubrificantes; pinturas; vedações.

(iv) Coloidal- baterias; filmes resistentes de carbono; catalisadores; suspensões condutivas; lubrificantes; ligas metálicas; agentes liberadores de molde.

(v) Grafita Sintética- baterias; aditivos de carbono; eletrodos; células combustíveis; sistemas de aquecimento.

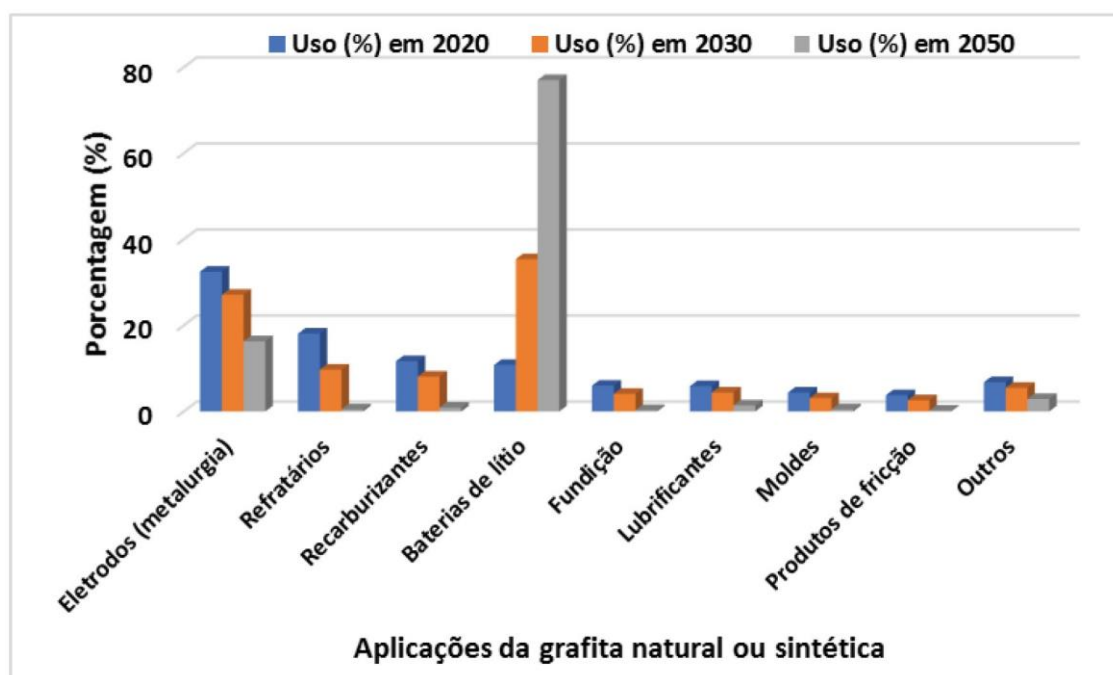
A Tabela 17 apresenta as principais aplicações dos produtos da cadeia da grafita e seus percentuais relativos de uso, enquanto a Figura 10 mostra um resumo das contribuições de cada aplicação para o total do uso da grafita. É importante comentar que a grafita sintética detém aproximadamente 60% do mercado (Fact, 2021), sendo empregado em várias das aplicações abaixo listadas, de maneira que oferta e preço são determinantes para a expansão do mercado de grafita natural, embora ela apresente maior nível de cristalinidade, demandado para alguns usos.

Tabela 17. Aplicações e percentuais de uso dos produtos da cadeia da grafita.

Produto	Aplicação	Uso (%) em 2020	Uso (%) em 2030	Uso (%) em 2050*
Grafita natural ou sintética	Eletrodos (metalurgia)	32,5	27,1	16,3
	Refratários	18,1	9,7	0,5
	Recarburizantes	11,7	8,1	0,9
	Baterias	10,8	35,4	77,0
	Fundição	6,0	4,1	0,3
	Lubrificantes (inclusive agrícola)	5,9	4,4	1,4
	Moldes	4,4	3,1	0,5
	Produtos de fricção	3,8	2,6	0,2
	Outros	6,8	5,5	2,9

Fonte: Roskill, (2021), *Estimativa do autor

Figura 10. Resumo das contribuições de cada aplicação para o total do uso da grafita.



Fonte: Roskill, (2021), *Estimativa do autor

A aplicação de grafita em baterias consome atualmente 10,8% da grafita produzida e esse percentual tende a se elevar a 35,4% até 2030. A queda na participação em outros usos é, basicamente, consequência do aumento da proporção de uso em baterias e acumuladores de energia.

3.1.8.15. Padrão Tecnológico da Cadeia da Grafita

As principais tecnologias utilizadas no Brasil na cadeia da grafita são apresentadas na Tabela 18, juntamente com as tecnologias benchmark internacionais. A Figura 11 apresenta um fluxograma simplificado da rota tecnológica predominante no Brasil para a cadeia da grafita e as principais rotas alternativas.

Tabela 18. Principais tecnologias utilizadas no Brasil na cadeia da grafita e as tecnologias benchmark internacionais. (do autor)

Produto	Tecnologia Produtiva no Brasil	Tecnologia Ambiental no Brasil	Benchmark Tecnológico Produtivo	Benchmark Tecnológico Ambiental
Concentrado de grafita	flotação	deposição de rejeito a úmido	flotação	deposição de rejeito a seco
Grafita purificada e esférica	Inexiste em escala industrial	-	purificação, esferoidização, etc.	desafio: uso e descarte de ácido fluorídrico
Componentes de bateria	inexiste	-	gigafactories	-
Automóveis elétricos	inexiste	-	novas fábricas	-

Processo produtivo do concentrado de grafita

Resumidamente, apresentamos algumas das etapas presentes na produção do concentrado de grafita admitindo variações específicas para as diversas empresas.

Mineração

O minério de grafita é extraído das minas com o uso de máquinas escavadeiras que carregam caminhões basculantes com o minério bruto. Todo o processo de extração segue um plano de lavra, facilitando a seleção do minério mais adequado aos produtos finais.

Homogeneização

A deposição do minério no pátio de alimentação é sistematizada para formar pilhas de alimentação em camadas. O objetivo é reduzir a variabilidade natural do minério.

Concentração Mecânica

O minério é submetido a sucessivas moagens e processo de separação mecânica das impurezas presentes na grafita. A concentração mecânica objetiva a máxima recuperação da grafita presente no minério, preservando suas características físicas.

Concentração Química

A concentração química é utilizada na remoção de impurezas remanescentes na grafita concentrada mecanicamente. Técnicas de tratamento dos resíduos da concentração química são adotadas de forma minimizar o impacto ambiental.

Filtragem e Secagem

Após a concentração química, a grafita é lavada intensamente com água desmineralizada, atingindo pH neutro. Em filtros tipo prensa e secadores rotativos, a umidade restante é removida.

Classificação

Técnicas de peneiramento são utilizadas para classificar as partículas da grafita concentrada, atingindo a distribuição granulométrica desejada.

Moagem

A moagem da grafita concentrada é praticada até que seja atingido o tamanho desejado. As partículas moídas são classificadas possibilitando controlar a distribuição granulométrica do produto. Os diferentes métodos de moagem e classificação permitem modelar a partícula, dando à grafita características distintas de densidade e de superfície específicas.

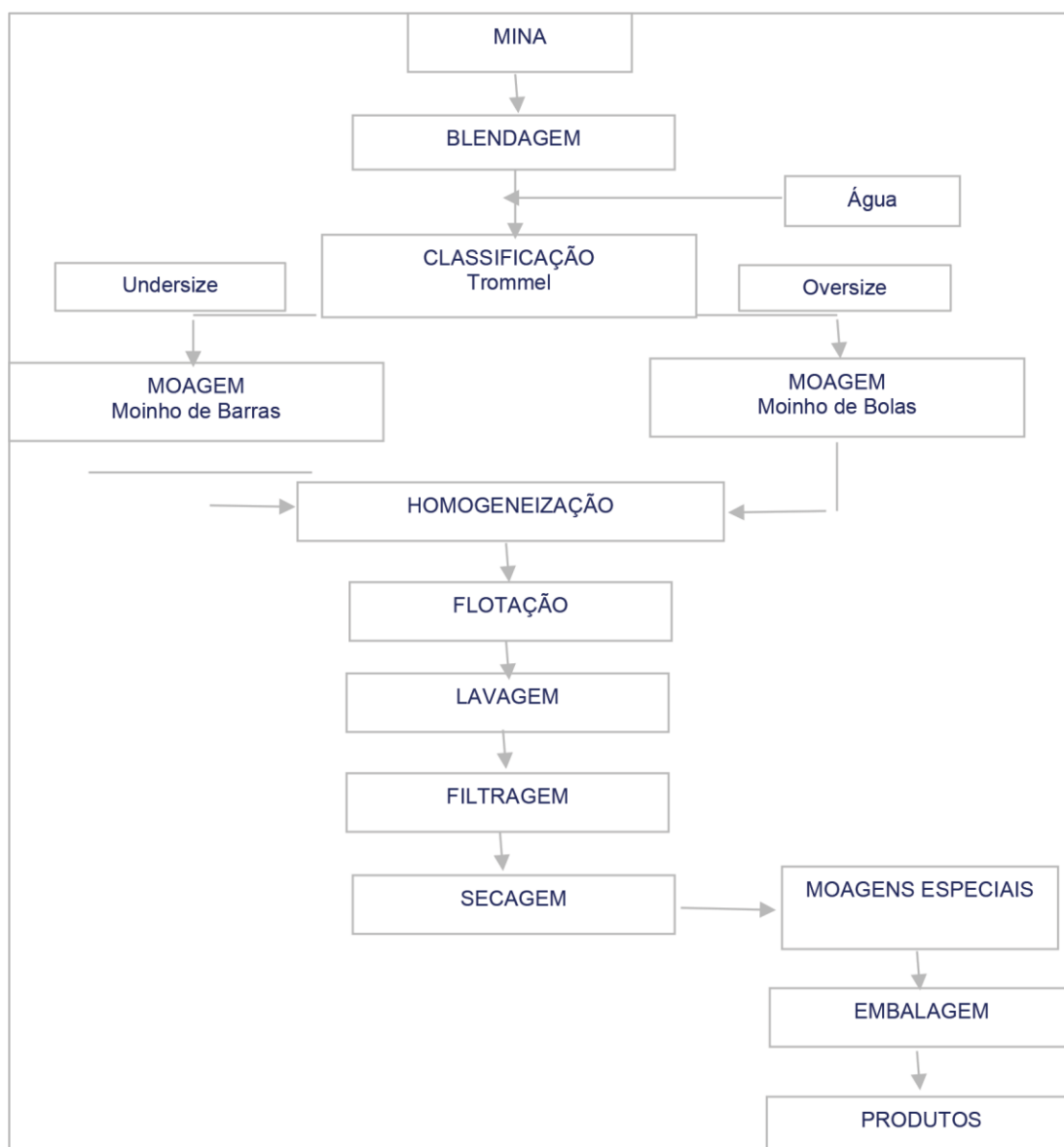
Briquetagem

Neste processo produzem-se grãos de grafita aglomerada para o uso como carburante e aditivos de carbono.

Intercalação

Devido ao elevado grau de anisotropia e à estrutura em camadas, o cristal de grafita permite que sais sejam intercalados em sua microestrutura. Aquecidos, esses sais evaporam provocando o rompimento de ligações inter planares e a expansão da grafita.

Figura 11. Fluxograma da rota tecnológica predominante no Brasil e das possíveis rotas alternativas na cadeia da grafita.



Fonte: Montado a partir de Malaquias, C. J. - (2011); Nacional de Grafite Ltda.

A maior dificuldade, em termos de cadeia produtiva e tecnologias, é a produção de grafita esférica, atualmente 100% dominada pela China. Vários países têm tentado desenvolver essa tecnologia, aparentemente sem sucesso. A dificuldade de manusear e tratar rejeitos de ácido fluorídrico é uma restrição ao desenvolvimento desse galão produtivo.

Diante do quadro da posição tecnológica brasileira, tratando-se de segmento produtivo com cadeia produtiva em formação no país, faz-se necessário adotar medidas de desenvolvimento de capacitações visando posicionar os

produtores no estado da arte em termos de estratégias de competitividade e de sustentabilidade, notadamente no que diz respeito a controle ambiental e relações com a comunidade.

No que se refere à melhoria dos sistemas de logística, deve ser considerada a possibilidade de instalar, na região do Jequitinhonha, e nos demais polos produtivos que venham a se definir, de porto seco (EADI – Estação Aduaneira Interior), visando melhorar a competitividade das exportações brasileiras, mediante a agilização do despacho aduaneiro de containeres com produtos de grafita.

A perspectiva de expansão da produção nacional de grafita deverá requerer esforços avançados de capacitação de pessoal e de desenvolvimento tecnológico, alinhados com o estado da arte em termos de padrões internacionais de saúde e segurança do trabalho, além dos melhores padrões de ESG e de economia circular.

Ao aprofundar a proposição de estímulos para o encadeamento e verticalização da cadeia produtiva da grafita no Brasil, deve-se considerar que a redução da geração de rejeitos está também associada ao aumento da utilização da grafita no atendimento a segmentos de mercado que requerem um produto (grafite) de especificações mais flexíveis (ex. baixo teor de carbono).

3.1.8.16. Análise Integrada da Cadeia Produtiva da Grafita

A cadeia produtiva atual é aquela estabelecida e consolidada por empresa brasileira, fundada em 1939, a Nacional de Grafite. Ela atua na mineração e no beneficiamento da grafita natural cristalina de alta qualidade: beneficia o minério, gerando cerca de 70.000 toneladas anuais de grafite de diferentes características. Os diferentes produtos presentes em diversas aplicações na indústria mundial são comercializados nos cinco continentes diretamente ou através de distribuidores. Em Itapequerica, Minas Gerais, a empresa conta com um centro de pesquisas e desenvolvimento, onde novos produtos e processos são desenvolvidos em sintonia com as necessidades do mercado. A Nacional de Grafite disponibiliza ao mercado uma linha completa de grafites de alta qualidade para todos os campos de aplicação: grafites expansíveis de alta pureza, grafite natural cristalino, grafite em flocos e em diversos teores, dispersões de grafite em água, produtos de grafite micronizado, aditivo de carbono de grafite natural cristalino de alta performance para aço e ferro fundido e lubrificantes para sementes. Trata-se, portanto, de uma cadeia produtiva integrada e de alta complexidade tecnológica.

Por outro lado, merece destaque o desenvolvimento das tecnologias associadas à produção e aplicação do grafeno. O grafeno é um cristal atômico bidimensional, formado por átomos de carbono dispostos em uma estrutura hexagonal, sendo o primeiro material bidimensional sintético. Devido à sua combinação única de propriedades, potencializa novas tecnologias e aplicações, propiciando avanços científicos e tecnológicos sem precedentes. Ele apresenta baixa densidade e altos índices de condutividade elétrica - é o melhor condutor de eletricidade que se conhece, possui condutividade 10 vezes maior do que o cobre, possui alta resistência mecânica (quase 200 vezes a mais que o aço), é impermeável – inclusive a átomos de hélio, flexível e tem alta condutividade térmica e alta estabilidade química, embora possa ser ligado a grupamentos químicos diversos. Considerado um material “bidimensional”, é ideal para aplicações que necessitam de grandes superfícies ativas. Trata-se de material mais fino - um milhão de vezes mais que um fio de cabelo humano - e muito leve - um metro quadrado de grafeno pesa cerca de 0,77 miligramas. É transparente - absorve apenas 2% da luz e, portanto, é quase invisível a olho nu. Apesar de se tratar de um material novo, já existem várias aplicações e enorme potencial para novos usos do grafeno em setores como: defesa, eletroeletrônicos, semicondutores, plásticos, televisores e smartphones, com displays flexíveis e transparentes. Além disso, estudos recentes revelam que o material também pode ser utilizado na filtragem de água.

Pesquisas recentes avaliam seu uso em baterias de íon-lítio, compósitos poliméricos, filmes finos condutores, sensores e outros dispositivos eletrônicos. Poderá contribuir, ainda, na integração de dispositivos ópticos em microchips, moduladores de luz e fotodetectores ultrarrápidos (para internet avançada). Entre as aplicações do grafeno, destacam-se: compósitos com polímeros, permitindo a criação de plásticos condutores, mecanicamente resistentes, e com barreiras, por exemplo, para umidade e oxigênio; adição a tintas e vernizes, gerando filmes e recobrimentos protetores de alto desempenho; produção de tintas; recobrimentos para eletrônica impressa e flexível; painéis fotovoltaicos e produção de filmes ativos para fabricação de sensores, inclusive biosensores; produção de baterias de íon-lítio de nova geração; produção de membranas eficientes para filtragem; dessalinização de água e permeação seletiva de moléculas orgânicas e inorgânicas; e adição a materiais estruturais para reforço de propriedades mecânicas. No campo da energia, veremos o estudo de dispositivos flexíveis, leves e portáteis, bem como aplicações em baterias, supercapacitores e células combustíveis.

No Brasil, diversas instituições de pesquisa e universidades têm investido, com pioneirismo, como por exemplo, a Universidade Mackenzie, com investimento avaliado em R\$ 100 milhões, inaugurando o MackGraphe, um Centro de Pesquisas Avançadas em Grafeno, Nanomateriais e Nanotecnologia. A Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (Codemig) realizou, em 05 de julho de 2016, o lançamento do projeto “MGgrafeno: Produção de Grafeno a partir de Grafita Natural e Aplicações”. Minas Gerais também abriga a primeira planta-piloto para a produção de grafeno em escala industrial, empreendimento do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear/Comissão Nacional de Energia. (Ref.: 16). O Projeto MGgrafeno é fruto de uma parceria entre UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais), CDTN (Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear) e CODEMGE (Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais). Seu objetivo é desenvolver tecnologia nacional para construção da primeira planta piloto do Brasil de produção de grafeno em escala industrial, reproduzível e escalável, assim como atuar junto às indústrias para incorporação do grafeno em seus produtos e processos, agregando benefícios que apenas o grafeno é capaz de proporcionar. A planta já conta com uma capacidade de produção de 1 tonelada por ano.(Ref.: 18)

O grafeno é obtido por meio da esfoliação química do grafite natural. O processo é reproduzível, escalável e com custo baixo. Todo o resíduo gerado é reutilizado ou reciclado, o ar é monitorado e 100% da água retorna ao ciclo, tornando a planta segura e sustentável.

Três tipos de produtos são desenvolvidos no Projeto MGgrafeno: grafeno de poucas camadas (1 a 5 camadas, centrada em 2); nanoplacas de grafeno (6 a 10 camadas, centrada em 6); nanografite – material com pelo menos uma dimensão em escala nanométrica. Cada produto tem aplicações específicas. A capacidade de produção anual da planta é de 300 kg de grafeno, além de 2 toneladas de nanografite/ano. Além da produção de grafeno em escala, o projeto já testou e demonstrou mais de 20 aplicações e materiais, com diversos parceiros empresariais, com destaque para:

- Refratários
- Cimentos
- Super capacitores e baterias

- Superfícies hidrofóbicas
- Lubrificantes
- Filtros
- Revestimentos anticorrosivos,
- Tintas condutoras,
- Membranas de dessalinização e separação de água e óleo
- Tecidos inteligentes
- Sensores eletroquímicos
- Elastômeros (Ref.:18)

Perspectivas muito animadoras estão se configurando com o desenvolvimento de empresas brasileiras com foco na produção de grafeno – produto de elevado conteúdo tecnológico e estratégico, considerando os diversos campos abertos ou em desenvolvimento para a sua aplicação. Prevê-se que nos próximos 20 anos o grafeno estará cada vez mais presente no nosso dia a dia. Para se ter uma visão do cenário futuro basta inferir a importância do impacto do número de patentes que vêm sendo registradas mundo afora. Dados de 2020 registram cerca de 2.204 patentes para a China, seguida pelos EUA, com 1.754, e pela Coreia do Sul, com 1.160. Apenas a Samsung (gigante sul-coreana de tecnologia) tem mais de 500 patentes.

Atualmente, no Brasil, fábricas em Minas Gerais e no Rio Grande do Sul colocam o país entre os produtores globais do material. As duas primeiras plantas industriais brasileiras de grafeno entraram em escala produtiva recentemente e trabalham para conquistar os primeiros clientes.

Uma das fábricas pioneiras do material no Brasil é da estatal Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (Codemge), resultado do Projeto MGgrafeno–parceria UFMG e Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN). A outra unidade industrial é o UCSGraphene, fruto de um projeto do Parque de Ciência, Tecnologia e Inovação da Universidade de Caxias do Sul (TecnoUCS), no Rio Grande do Sul.

A produção da Codemge está localizada em Belo Horizonte. A fabricação experimental de grafeno teve início em 2018, produzindo 150 quilos (kg) por ano, quantidade que, desde o final de 2019, aumenta gradualmente.

No Rio Grande do Sul, a unidade UCSGraphene é resultado de investimento bancado pela Universidade de Caxias do Sul (UCS) com produção inicial de 500 kg por ano. A produção de grafeno resulta de um projeto da UCS de mais de 15 anos.

Com o potencial que o Brasil tem para explorar mais reservas de grafite descobrindo novos depósitos, estimulado pela valorização da grafita no mercado futuro e das novas aplicações que surgem para o grafeno, é vital avançar na cadeia produtiva investindo em PD&I.

A China foi responsável pelo grande declínio nos preços da grafita nos anos 1990, disponibilizando muito material no mercado para gerar divisas. Porém, atualmente, suas minas são mais profundas (com esgotamento dos depósitos de óxido superficial), mais antigas e de custo mais elevado. Por outro lado, o crescimento fenomenal da indústria siderúrgica doméstica chinesa aumentou a demanda interna que não existia na década de 1990. Estima-se que a produção chinesa de flocos diminuiu quase 30% em 2012, devido ao fechamento de minas antieconômicas e à política agressiva de modernização e consolidação da indústria mineira no país, com eliminação de produtores marginais e ilegais. A fim de proteger sua indústria e incentivar o processamento com melhoria de valor agregado, a China instituiu um tributo de 20% sobre a exportação de grafite, bem como um IVA (Imposto sobre o Valor Acrescentado) de 17% e um sistema de licenciamento de exportação. Todos esses fatores estão criando sérios problemas de abastecimento para o resto do mundo. Tanto a União Europeia (EU), como os Estados Unidos (EUA) declararam que a grafita é um mineral crítico e essencial. (Mathias Heider, 2017)

O aumento da demanda de flocos foi quase inteiramente impulsionado pelas indústrias siderúrgicas e automotivas tradicionais e pelas economias emergentes. Esses fatores fizeram com que os preços subissem de cerca de US\$ 700/t, em 2005, para quase US\$ 3.000/t, no início de 2012. A desaceleração da economia chinesa, combinada com a falta de crescimento nos EUA/Japão/Europa reduziu a demanda e os preços caíram. Muitas minas antieconômicas fecharam ou suspenderam operações, o que indica que a China está operando no custo marginal de produção, o que deve limitar novas reduções de produção e oferta. Além disso, uma série de novas tecnologias começam a ter um impacto significativo no mercado. A demanda por essas novas tecnologias, combinada com sérios problemas de suprimento na China, permitem antever uma dinâmica de oferta/demanda muito desafiante no futuro.

A produção de grafeno a partir da grafita natural agrega muito valor e tecnologia a esse mineral: em termos gerais, uma tonelada métrica de grafeno é comercializada

por cerca de 500 vezes o preço da tonelada métrica de grafita. Dependendo da aplicação, o preço pode chegar a US\$ 100 por grama. Extrai-se, em média, de 1 kg de grafita, aproximadamente, 150 g de grafeno, segundo Mathias Heider, 2017.

Prevê-se que, nos próximos 20 anos o grafeno estará cada vez mais presente no dia a dia, dependendo de um amplo suporte de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I). O Brasil tem grande potencial de elevar suas reservas e descobrir novos depósitos, estimulados pela valorização futura da grafita e de novas aplicações para o grafeno e tem que avançar na cadeia produtiva, investindo pesadamente em PD&I nesse setor. A demanda por essas novas tecnologias, combinada com sérios problemas de suprimento na China, permitem antever novas e grandiosas oportunidades para a inserção competitiva do Brasil na cadeia mundial de usos e aplicações do grafite e particularmente do grafeno.

Lista de referências:

2016 Minerals Yearbook U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey. BRAZIL [ADVANCE RELEASE March 2021].

2017–2018 Minerals Yearbook U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey. BRAZIL [ADVANCE RELEASE] July 2022.

ANM, 2022a: Anuário Mineral Brasileiro em https://app.anm.gov.br/DadosAbertos/AMB/Producao_Beneficiada.csv.

Brasil Mineral, 2018-2021 – As maiores empresas do setor mineral.

Buxton, 2022 - <http://www.buxtonmineradora.com/site/projeto/>

CPRM, 2020 – Projeto Avaliação Potencial da Grafita no Brasil – Fase I.

COMTRADE, 2022 - <https://comtrade.un.org/data>.

DNPM, 2002-2010, Anuário Mineral Brasileiro.

DNPM/ANM 2011-2018, Sumário Mineral Brasileiro.

Fact, 2021: Graphite Market Analysis By Product Type (Natural Graphite, Synthetic Graphite), by Application (Electrodes, Refractories & Foundries, Batteries, Recarburisers, Lubricants, Friction Products) – Global Insights 2021-2031, em <https://www.factmr.com/report/graphite-market>.

Graphcoa, 2022, <https://graphcoa.com/>.

Graphite facts: <https://www.nrcan.gc.ca › minerals-metals-facts › graphite...> em <https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/minerals-mining/minerals-metals-facts/graphite-facts/24027>.

<http://www.codemge.com.br/investidores/mggrafeno/>.

<https://investingnews.com/daily/resource-investing/battery-metals-investing/graphite-investing/top-graphite-producing-countries/>.

<https://revistapesquisa.fapesp.br/grafeno-made-in-brasil/>.

<https://www.girodenoticias.com/noticias/geral/15746/empresacanadense-de-mineracao-south-star-battery-metals-lanca-oficialmente-sua-implantacao-em-itabe-02-06-2022>.

<https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/graphite-statistics-and-information>.

Ibram, 2020, Informações sobre a economia mineral brasileira 2020 – Ano base 2019.

Malaquias, C. J. – Mapeamento dos Impactos da Automação Industrial: Um Estudo de Caso em uma Mineradora de Grafite Natural Cristalino Situada na Região Centro Oeste de Minas Gerais – TCC de Engenharia de Produção, INIFORMG - 2011.

Mathias, Heider; Potencialidades da cadeia produtiva da grafita no Brasil: do recurso mineral ao grafeno. inthemine 9 - www.inthemine.com.br . Março 2017/.

Roskill, 2021, Tendências de Mercado e Crescimento da Demanda de Minerais Tecnológicos: Lítio, Grafita, Terras-Raras, Nióbio e Vanádio, Simexmin, 2021.

South Star, 2019, NI 43-101 Technical Report, Resources and Reserves Assessment, Santa Cruz Graphite Project, Bahia, Brazil.

South Star, 2022, <https://www.southstarbatterymetals.com/pt/projects/> e contato na empresa.

SUMÁRIO MINERAL 2017 ANM. ISSN 0101-2053. VOL 37.

USGS, 2012-2022 - Mineral Commodities Summaries, Graphite (Natural), <https://pubs.er.usgs.gov/publication/mcs2022>.

USGS, 2017, Critical Mineral Resources of the United States—Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply – Graphite.

PLANO NACIONAL DE MINERAÇÃO 2050

PNM 2050

CADEIA PRODUTIVA 9: Vanádio

Caderno 3: Cadeias Produtivas dos Minerais para a Transição Energética

CADEIA PRODUTIVA 9: Vanádio	262
3.1. Caracterização das Cadeias Produtivas	263
3.1.9. Cadeia Produtiva do Vanádio.....	263
3.1.9.1. Polo produtivo de Maracá, da Cadeia Produtiva do Vanádio	263
3.1.9.3. Consumo Energético e Emissão de CO ₂ , na Cadeia Produtiva	265
3.1.9.4. Utilização de Água na Cadeia Produtiva	266
3.1.9.5. Geração de Resíduos da Cadeia Produtiva	268
3.1.9.6. Geração de Resíduos Sólidos na Cadeia Produtiva	269
3.1.9.7. Produção do Vanádio	269
3.1.9.8. Consumo do Vanádio	272
3.1.9.9. Importações do Vanádio.....	273
3.1.9.10. Exportações do Vanádio.....	274
3.1.9.12. Porte dos Projetos em Andamento e/ou Previstos	276
3.1.9.13. Projeções até 2050 em 3 Cenários Hipotéticos	276
3.1.9.14. Usos e Aplicações do Vanádio.....	279
3.1.9.15. Padrão Tecnológico da Cadeia do Vanádio.....	280
3.1.9.16. Análise Integrada da Cadeia Produtiva do Vanádio.....	281

3.1. Caracterização das Cadeias Produtivas

3.1.9. Cadeia Produtiva do Vanádio

Vanádio é um metal de transição do grupo 5B e 4º período da tabela periódica. A produção brasileira de vanádio é concentrada na empresa Largo Resources (Largo Inc), atuando no estado da Bahia na região de Maracás e sediada no Canadá, colocando o Brasil como o principal exportador de vanádio-no mundo, em 2020 (World Bank, 2022). A empresa comercializa vanádio na forma de óxido (V_2O_5) para produção de aço e ligas para setor aeroespacial (89%), químicos (8%) e baterias (3%). Com a expansão do uso de baterias de fluxo redox, há uma expectativa no crescimento da produção para os próximos anos, com crescimento de até 190% até 2050, segundo trabalho do World Bank Group (2020).

3.1.9.1. Polo produtivo de Maracá, da Cadeia Produtiva do Vanádio

A Tabela 1 caracteriza o único polo produtivo existente no Brasil da cadeia produtiva do vanádio. Atualmente, a única empresa que extrai e produz vanádio no Brasil é a empresa Largo Inc., atuando no Brasil como Vanádio de Maracás S.A. A empresa tem 100% do capital do exterior (Canadá), com receita anual próxima de 200 milhões de dólares. Localizado no estado da Bahia, na região de Maracás. O empreendimento possui capacidade atual de produção de 13.250 t/ano de pentóxido de vanádio (V_2O_5). Largo, (2022)

Tabela 1. Polo produtivo de vanádio de Maracás.

Estado	Município	Empresa	Produto	Produção (t)	Receita (US\$ mil)	Capital Externo (%)	Percentual da Produção Nacional
BA	Maracás	Largo Inc.	V_2O_5	13.250	198.280	100	100%

Fonte: Largo, (2022).

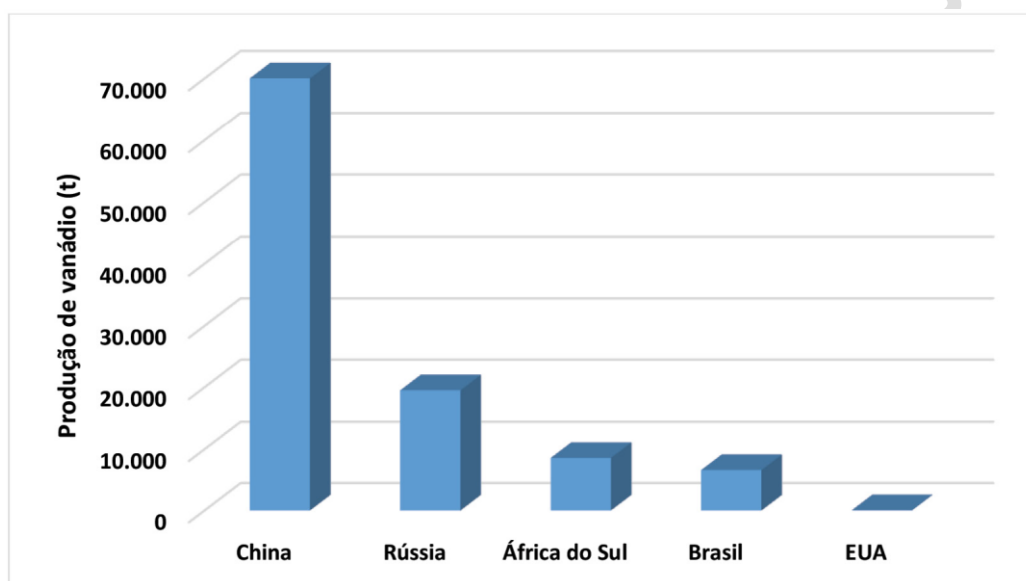
O Brasil ocupou, no ano de 2020 a 4º posição no ranking mundial dos maiores produtores de vanádio, conforme mostrado na Tabela 2 e na Figura 1, juntamente com os demais 4 países produtores. A China se coloca como o principal produtor de vanádio, seguido por Rússia e África do Sul.

Tabela 2. Ranking dos principais produtores mundiais de Vanádio, no ano de 2020.

Colocação/País	Produção (toneladas)
1° China	70.000
2° Rússia	19.500
3° África do Sul	8.580
4° Brasil	6.620
5° EUA	17

Fonte: USGS, (2022).

Figura 1. Principais produtores mundiais de Vanádio, no ano de 2020.



Fonte: USGS, (2022).

3.1.9.2. Parque Produtivo no Brasil do Vanádio

O parque produtivo brasileiro do vanádio é caracterizado por uma única empresa cuja capacidade, localização e tipologia de produção minero-industrial, juntamente com a caracterização das integrações a montante e a jusante e logísticas associadas podem ser vistas na Tabela 3.

Tabela 3. Caracterização do parque produtivo brasileiro.

	Empre- sa	Local	Produ- tos	Produ- ção (kt)	Opera- ção Mon- tante	Logis- tica	Distân- cia	Opera- ção Juzan- te	Logis- tica	Distân- cia
Lavra	Largo	BA	ROM	1.900	-	Tr. interno	-	Extra- ção Meta- lurgia	Cami- nhão	25km
Extra- ção Meta- lúrgica	Largo	BA	V ₂ O ₅	13,2 (V ₂ O ₅)	Lavra	Tr. interno	-	Merca- do	Tr. interno	-

Fonte: Largo, (2022).

Em 2019, foi implementado pela Largo um projeto de expansão, aumentando a capacidade de processo para 1.900.000 t/ano de ROM e a capacidade de produção de V₂O₅ para 12.000 t/ano. Em 2020, foram produzidas 11.825 toneladas de V₂O₅, com 81,5% de recuperação de óxido. Em 2021, melhorias na ustulação redutora e no sistema de queima aumentaram a capacidade de produção para 13.200 t/ano de V₂O₅. (Largo, 2020)

O fluxograma de processo atual compreende três estágios de britagem, um estágio de moagem, dois estágios de separação magnética, calcinação de concentrado magnético, lixiviação de vanádio, precipitação de metavanadato de amônio (AMV), filtração de AMV, calcinação de AMV e fusão para floco de V₂O₅, como produto final. A empresa também planeja desenvolver uma fábrica de titânio na cidade de Camaçari, Estado da Bahia, para produção de TiO₂ para pigmentos. (Largo, 2020)

3.1.9.3. Consumo Energético e Emissão de CO₂, na Cadeia Produtiva

O consumo energético e a emissão de CO₂ no Brasil, na cadeia produtiva vanádio, incluindo as principais fontes energéticas utilizadas, e as estimativas do percentual de auto suprimento de energia, do tratamento das emissões gasosas, do grau de automação nas empresas e das tecnologias para energia limpa, são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. Consumo energético e emissão de CO₂ no Brasil, na cadeia produtiva

	Empre- sa	Local	Con- sumo Energé- tico por tonela- da	Fon- tes de Energia	Auto- -Gera- ção (%)	Emis- são de CO ₂ por tonela- da de V ₂ O ₅	Trat. de gases (%)	Tecno- lo- gias para Energia Limpa	Grau de Auto- ma-ção
Todas as ope- rações	Largo	BA	98.56 GJ/t V ₂ O ₅	Óleo, diesel, gasoli- na, gás lique- feito de petróleo, energia elétrica do SIN	0%	7,0 ton	-	Hidrelé- tricas e Eólicas*	-

* A maior parte da energia da mina é eletricidade limpa, da rede do Sistema Interligado Nacional (SIN), que é 62% de energia hidrelétrica e quase 10% de energia eólica.

Fonte: Largo, (2022).

As principais fontes de energia para os equipamentos de lavra e para os fornos são óleo combustível pesado, óleo B1 (HFO), diesel e gás liquefeito de petróleo (GLP). De acordo com o Relatório de Sustentabilidade da Largo, de 2020, foi aprovado um projeto de substituição de diesel por GLP em caldeira, secador flash e forno de fusão. O novo equipamento foi instalado em janeiro de 2021. A ideia é diminuir o impacto na geração de gases de efeito estufa. Outro exemplo é o uso de uma perfuratriz elétrica de exploração, para substituir o diesel.

Cerca de 44% das emissões de gases de efeito estufa da Largo são geradas pelo forno rotativo e, embora alternativas tenham sido exploradas, de acordo com o relatório de sustentabilidade, não foram encontradas tecnologias com menor impacto para substituí-lo. Baseado na produção de 11,8 mil toneladas de V₂O₅ em 2020, a geração de CO₂ equivalente foi de 7 toneladas. (Largo, 2020)

3.1.9.4. Utilização de Água na Cadeia Produtiva

A utilização e tratamento de água, na cadeia produtiva do vanádio no Brasil, é mostrada na Tabela 5.

Tabela 5. Utilização de água no Brasil, da cadeia produtiva do vanádio.

Local de captação da água: Rio das Contas
Captação: 100m ³ /h
Tratamento de água
46.575m ³ /mês, para planta de tratamento mineral
1.544m ³ /mês, para água potável
4.582m ³ /mês, para osmose reversa e operação WTP
Tratamento de esgoto
80m ³ /dia

Fonte: Largo, (2022).

O abastecimento de água, a capacidade e disponibilidade hídrica são heterogêneas e diversas no município. Em Maracás e no distrito de Porto Alegre, comunidades que recebem a maioria dos migrantes, a capacidade instalada atualmente está sendo submetida a uma demanda adicional. O aumento populacional nas aldeias de Caldeirãozinho, Pindobeiras, Jacaré, Água Branca e Lagoa Comprida, que dependem do abastecimento de água por meio de caminhões e cisternas, exige abastecimento adicional de água. Isso resultou em um estresse adicional para a oferta atualmente limitada. A vila de Pé de Serra é abastecida por um poço artesiano, com razoável disponibilidade de água.

Foi construída e comissionada para a mina uma tubulação de água de 10 polegadas de diâmetro e 33 km de comprimento, que leva água bruta da barragem de Rio de Contas para uma estação de tratamento de água no local, para uso industrial e humano. A capacidade do sistema é projetada para 250m³/h, mas atualmente a demanda é de apenas 100m³/h.

De acordo com o Relatório de Sustentabilidade da Largo de 2020, o reservatório da Pedra tem capacidade para fornecimento de 56.044m³/mês, sendo que 915 m³/mês são para atendimento do vilarejo Água Branca, 5.371 m³/mês para perfuração e supressão de particulados da estrada de terra, 1.597 m³/mês para atendimento com água potável para banheiros, cozinhas e lavatórios, e 48.161 m³/mês para lavra e processamento metalúrgico, sendo 95% da água reciclada e perda de apenas 5% por evaporação.

3.1.9.5. Geração de Resíduos da Cadeia Produtiva

A geração de resíduos no Brasil, da cadeia produtiva do vanádio, bem como uma pré-qualificação e potencial de aproveitamento dos resíduos em outros segmentos ou em obras de infraestrutura, juntamente com as práticas de prevenção ou mitigação de impactos ambientais, é mostrada na Tabela 6.

Tabela 6. Geração de resíduos no Brasil, na cadeia produtiva do Vanádio.

	Empresa	Local	Geração de Resíduos (kg/ produto)	Natureza e Classificação dos Resíduos	Potencial de Aproveitamento (setor e %)	Práticas de Mitigação de Impactos Ambientais
Resíduos diversos*	Largo	BA	52,0	Perigosos e não-perigosos	50%	Disposição em aterros
Beneficiamento	Largo	BA	957,1	Perigosos	0	Disposição em barragens

* Todos os resíduos gerados pela empresa, exceto rejeitos de mineração (etapa de beneficiamento)

Fonte: Largo, (2022).

Os resíduos são separados no local, pesados e embalados conforme necessário. Diferentes empresas de serviços transferem os resíduos para seu destino final em veículos ou contêineres, incluindo as licenças para resíduos perigosos. Como a cidade de Maracás não recicla, os materiais recicláveis são transportados para centros de reciclagem. Resíduos não perigosos, que não podem ser reciclados, são levados para o aterro sanitário da cidade de Maracás.

Materiais quimicamente contaminados (resíduos perigosos Classe I) são transportados para um aterro industrial próximo à capital do estado, Salvador. Esta instalação armazena os resíduos em células revestidas com mantas geotêxteis impermeáveis de alta densidade para evitar a contaminação do solo. Excluindo os resíduos de rocha e rejeitos (que são a maior quantidade de resíduos gerados), mais de 50% dos resíduos gerados em 2020 foram desviados da disposição e sendo então reciclados. Os resíduos que não fazem parte do beneficiamento são, conforme Largo 2020:

- Materiais contaminados com óleo ou produtos químicos – descarte industrial
- Resíduos da clínica de atenção primária no local – incinerados e descartados
- Resíduos regulares - disposição em aterros sanitários
- Metais, borracha, baterias, plástico, e papel cartão
- Material orgânico compostável – compostado no local

3.1.9.6. Geração de Resíduos Sólidos na Cadeia Produtiva

A geração de resíduos sólidos no Brasil, da cadeia produtiva do vanádio, bem como uma pré-qualificação e potencial de aproveitamento dos resíduos gerados em outras cadeias produtivas, é mostrada na Tabela 7.

Tabela 7. Geração de resíduos sólidos no Brasil na cadeia produtiva

	Empresa	Local	Geração de Resíduos (kg/t)	Natureza e Classificação dos Resíduos	Grau de Reciclagem (%)	Uso de Sucatas e Resíduos Eletroeletrônicos
Lavra	Largo	BA	842,4	Inerte	-	-
Beneficiamento	Largo	BA	114,8	Perigosos	0	-

Fonte: Largo, (2022).

Os maiores fluxos de resíduos sólidos são rochas estéreis e rejeitos do processamento de minério. Para reduzir o consumo de água, reduziu-se seu uso no processamento, e após o armazenamento a água é bombeada e reutilizada. Isso já levou ao descomissionamento de uma instalação de rejeitos, que foi convertida para abrigar um tipo diferente de rejeitos. Algumas das instalações de rejeitos foram construídas em uma depressão que foi deixada propositalmente no meio da pilha de estéril, e alguns estéreis também foram usados para construir outras instalações. Desta forma, o estéril foi usado como material de construção. Pequenas quantidades são usadas em estradas e outras infraestruturas construídas no local.

O resíduo não-magnético é rico em ilmenita, que pode ser considerado para uso futuro de recuperação de titânio e vanádio. Uma planta piloto funcionou em 2020 e o projeto foi aprovado no primeiro trimestre de 2021. Resíduos ricos em ferro têm também potencial uso comercial, a depender dos custos de transporte. (Largo, 2020)

3.1.9.7. Produção do Vanádio

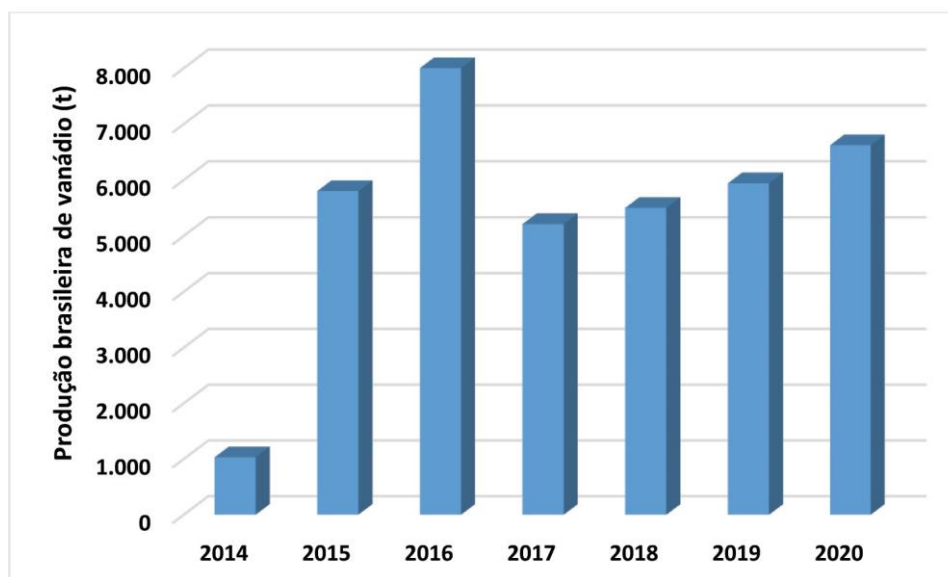
A produção brasileira de vanádio, no período de 2014 a 2020, é apresentada na Tabela 8 e no gráfico da Figura 2.

Tabela 8. Produção brasileira, no período 2014 a 2020

Estado	Produção (toneladas)						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
BA	1.030	5.800	8.000	5.210	5.500	5.940	6.620

Fonte: USGS, (2022).

Figura 2. Produção brasileira, no período 2014 a 2020.



Fonte: USGS, (2022).

Até 2013, não há dados sobre a produção de vanádio no Brasil, mas a partir de 2014, a produção brasileira experimentou aumento significativo, de maneira que o vanádio é hoje o 9º produto metálico em exportação do Brasil. Com a tendência mundial de aumento em 190% de demanda para o setor energético, a produção brasileira poderá aumentar, acompanhando o cenário global.

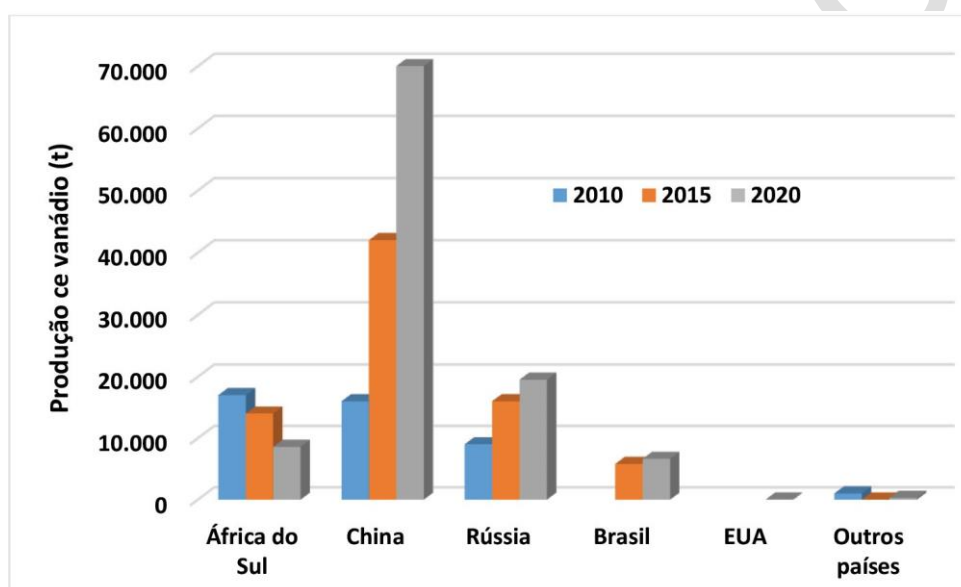
Em 2020 o Brasil se colocou na 4ª posição no ranking mundial de produtores de vanádio. A Tabela 9 e a Figura 3 apresentam a evolução do ranking mundial, com os países maiores produtores.

Tabela 9. Ranking dos principais produtores mundiais de óxidos e hidróxidos de vanádio, em 2010, 2015 e 2020.

Colocação País 2010	Produção (t)	Colocação País 2015	Produção (toneladas)	Colocação País 2020	Produção (toneladas)
1° África do Sul	17.000	1° China	42.000	1° China	70.000
2° China	16.000	2° Rússia	16.000	2° Rússia	19.500
3° Rússia	9.000	3° África do Sul	14.000	3° África do Sul	8.580
4° Outros países	1.000	4° Brasil	5.800	4° Brasil	6.620
				5° EUA	17
Total (mundo)	43.000	Total (mundo)	77.800	Total (mundo)	104.717

Fonte: USGS, (2022).

Figura 3. Principais produtores mundiais de vanádio, em 2010, 2015 e 2020.



Fonte: USGS, (2022).

A participação brasileira no mercado global de vanádio aumentou ao longo dos anos, devido à atuação da Largo Mineração. Desde 2015, o Brasil é o 4° principal produtor global de Vanádio. A China é o principal produtor, seguido por Rússia e África do Sul, enquanto os EUA aparecem entre os principais produtores apenas em 2020. Não há outros produtores no mundo. (USGS, 2022).

3.1.9.8. Consumo do Vanádio

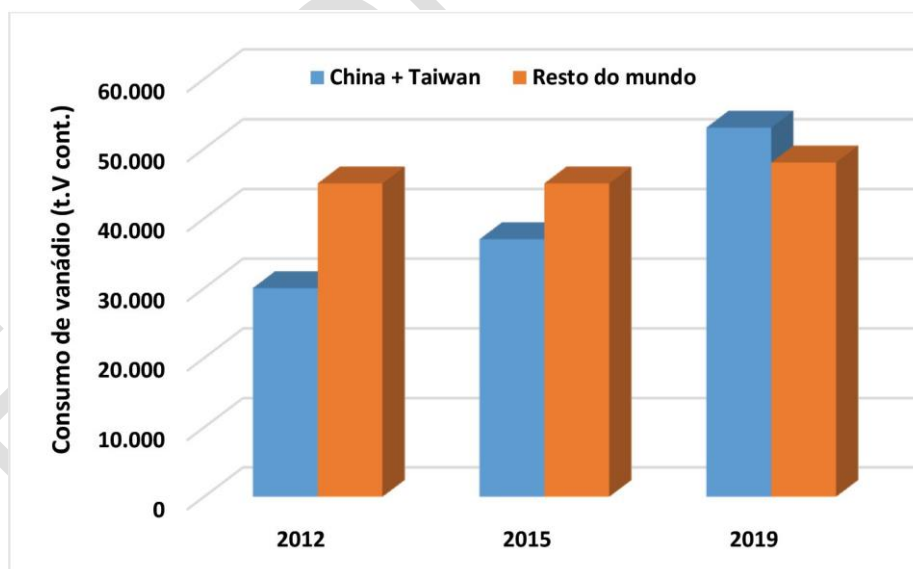
O consumo brasileiro de vanádio está próximo de 150 toneladas anuais (com base nos dados de importação), sendo que a quase totalidade da produção nacional é exportada para fabricação de produtos contendo vanádio, tais como ferro-ligas. Os principais consumidores globais são China e Taiwan, como mostram a Tabela 10 e a Figura 4, com a evolução no ranking mundial. O crescimento no consumo global de vanádio deve-se principalmente ao aumento do uso em aplicações de vergalhões de aço chineses.

Tabela 10. Ranking dos principais consumidores mundiais de vanádio (em toneladas do metal contido)

Colocação País 2012	Consumo (tonelada V contido)	Colocação País 2015	Consumo (tonelada V contido)	Colocação País 2019	Consumo (tonelada V contido)
China + Taiwan	30.000	China + Taiwan	37.000	China + Taiwan	53.000
Resto do mundo	45.000	Resto do mundo	45.000	Resto do mundo	48.000

Fonte: Ferro-Alloy Resources Group, (2022).

Figura 4. Principais consumidores mundiais de vanádio (em toneladas do metal contido)



Fonte: Ferro-Alloy Resources Group, (2022).

3.1.9.9. Importações do Vanádio

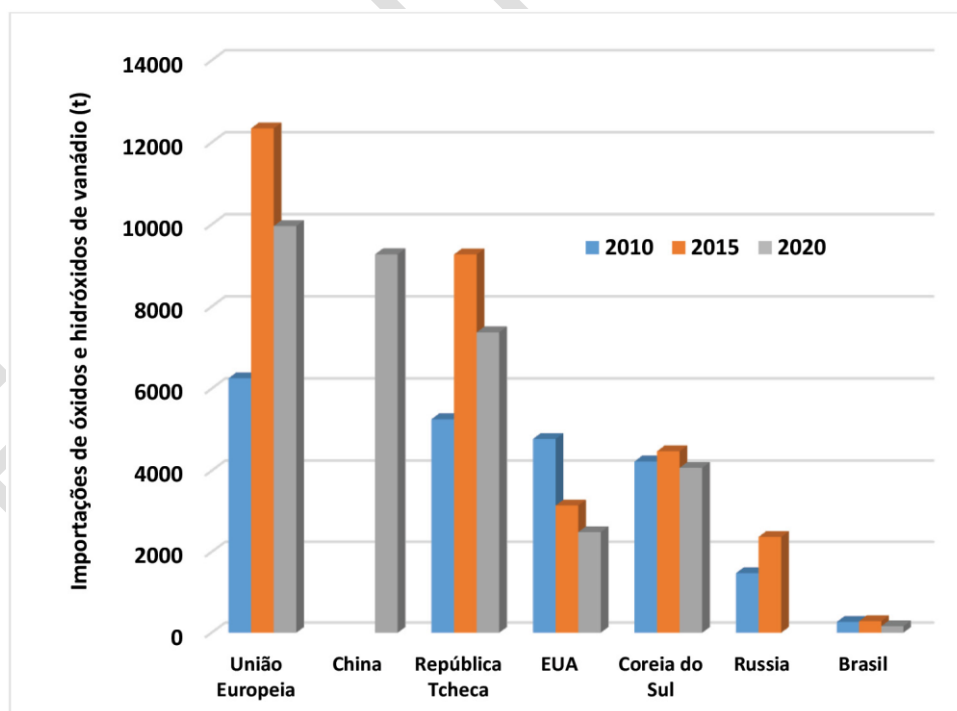
Em 2020 o Brasil se colocou na 14ª posição no ranking mundial de importadores de vanádio. A Tabela 12 e a Figura 5 mostram a evolução do ranking mundial, juntamente com os 5 países maiores importadores.

Tabela 11. Ranking dos principais importadores mundiais de óxidos e hidróxidos de vanádio

Colocação País 2010	Importações (t)	Colocação País 2015	Importações (t)	Colocação País 2020	Importações (t)
1º União Europeia	6.250,59	1º União Europeia	12.340,80	1º União Europeia	9.960,49
2º República Tcheca	5.254,29	2º República Tcheca	9.269,25	2º China	9.271,52
3º EUA	4.772,70	3º Coreia do Sul	4.472,12	3º República Tcheca	7.371,11
4º Coreia do Sul	4.223,54	4º EUA	3.146,84	4º Coreia do Sul	4.070,15
5º Rússia	1.473,10	5º Rússia	2.368,84	5º EUA	2.487,15
10º Brasil	264,54	11º Brasil	280,674	14º Brasil	156,60

Fonte: WB, (2022).

Figura 5. Ranking dos principais importadores mundiais de óxidos e hidróxidos de vanádio.



Fonte: WB, (2022).

A União Europeia atualmente é o principal importador de vanádio, seguida pela China, República Tcheca e Coreia do Sul, que são importantes mercados desde 2010. O Brasil caiu no ranking de importação de 10º para 14º, por ter parte de sua demanda interna atendida pela produção nacional.

3.1.9.10. Exportações do Vanádio

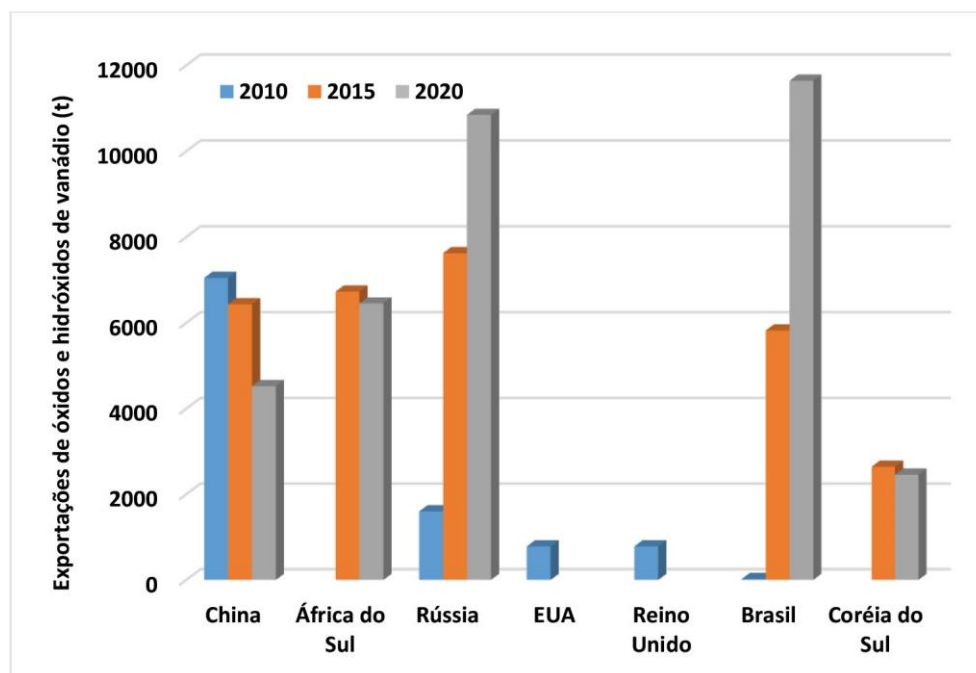
Em 2020 o Brasil se colocou na 1º posição no ranking mundial de exportadores de vanádio. A Tabela 12 e a Figura 6 mostram a evolução do ranking mundial, juntamente com os 5 países maiores exportadores.

Tabela 12. Ranking dos principais exportadores de óxidos e hidróxidos de vanádio, nos anos 2010, 2015 e 2020.

Colocação País 2010	Exportações (t)	Colocação País 2015	Exportações (t)	Colocação País 2020	Exportações (t)
1º China	7.045	1º China	6.434,03	1º Brasil	11.640,80
2º África do Sul	(sem informações)	2º África do Sul	6.727,44	2º Rússia	10.844,20
3º Rússia	1.600,34	3º Rússia	7.624,00	3º África do Sul	6.451,20
4º EUA	780,545	4º Brasil	5.821,11	4º China	4.524,58
5º Reino Unido	780,545	5º Coreia do Sul	2.643,67	5º Coreia do Sul	2.459,40
18º Brasil	20,63				

Fonte: WB, (2022).

Figura 6. Principais exportadores de óxidos e hidróxidos de vanádio, nos anos 2010, 2015 e 2020.



Fonte: WB, (2022).

O Brasil atua como principal exportador de vanádio no mundo, sendo a China o principal parceiro comercial, seguido por Rússia e África do Sul. Apesar de ser o principal importador no mundo, a China também exporta parte de sua produção para outros mercados, tornando o país o 4º no mundo em exportações de vanádio.

3.1.9.11. Porte das Empresas e Geração de Empregos

A Tabela 13 caracteriza a única empresa produtora de vanádio no Brasil, Largo Resources (Largo Inc), no estado da Bahia, informando o seu porte, em termos de produção, e os números de empregos diretos gerados.

Tabela 13. Caracterização da única empresa produtora de vanádio no Brasil em 2021.

Empresas de Grande Porte de Produção (t)					
Empresa	Produção	Produto	Estado	Empregos diretos	Empregos indiretos
Largo Inc	12.750	V ₂ O ₅	BA	379	-

(Largo, 2022)

3.1.9.12. Porte dos Projetos em Andamento e/ou Previstos

A Tabela 14 apresenta um panorama dos projetos em andamento e/ou previstos pela Largo Resources Inc. na Bahia para aumentar a extração de óxido de vanádio, além da produção de concentrado e pigmento de titânio a partir do rejeito não magnético do processamento de vanádio, com o ano de início, conforme seu porte, em termos de produção.

Tabela 14. Panorama dos projetos em andamento e/ou previstos para a produção de vanádio no Brasil, por porte de produção, a partir de 2022.

Empresas de Grande Porte de Produção				
	Empresa	Produção	Produtos	Estado
2022-2023	Largo Resources Inc.	150 mil t/ano	Concentrado de ilmenita	BA
2022-2023		30 mil t/ano	Pigmento de titânio	
2024-2025		60 mil t/ano	Pigmento de titânio	
2024-2025		425 mil t/ano	Concentrado de ilmenita	
2032		+ 2.800 t/a	V ₂ O ₅	

Fonte: (Largo, 2022)

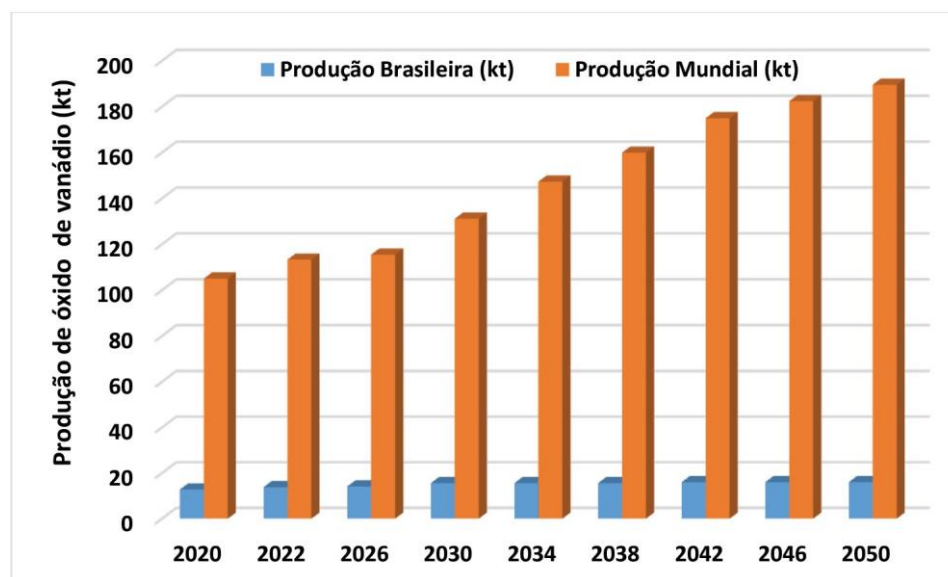
3.1.9.13. Projeções até 2050 em 3 Cenários Hipotéticos

As projeções de produção nacional e mundial de vanádio até 2050, considerando os três cenários, são apresentados nas Tabelas 15a, 15b e 15c e nas Figuras 7a, 7b e 7c. Para o Brasil, foi considerada apenas uma empresa nacional atuando no setor. A perspectiva conservadora é que o crescimento da produção de vanádio acompanhe apenas o seu consumo em aços especiais e, dessa forma, a previsão é que, ao longo do período 2023 a 2050, venha a ocorrer uma produção 5% menor do que a do cenário intermediário, para cada quadriênio.

Tabela 15a. Projeção da produção nacional e mundial de óxido de vanádio no cenário conservador (kt de óxido de vanádio).

	2020	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Produção Brasileira	12,75	13,77	14,05	15,55	15,55	15,55	15,99	15,99	15,99
Produção Mundial	105,0	113,25	115,43	131,1	147,25	159,89	174,91	182,35	189,53

Figura 7a. *Projeção da produção nacional e mundial de óxido de vanádio no cenário conservador.*

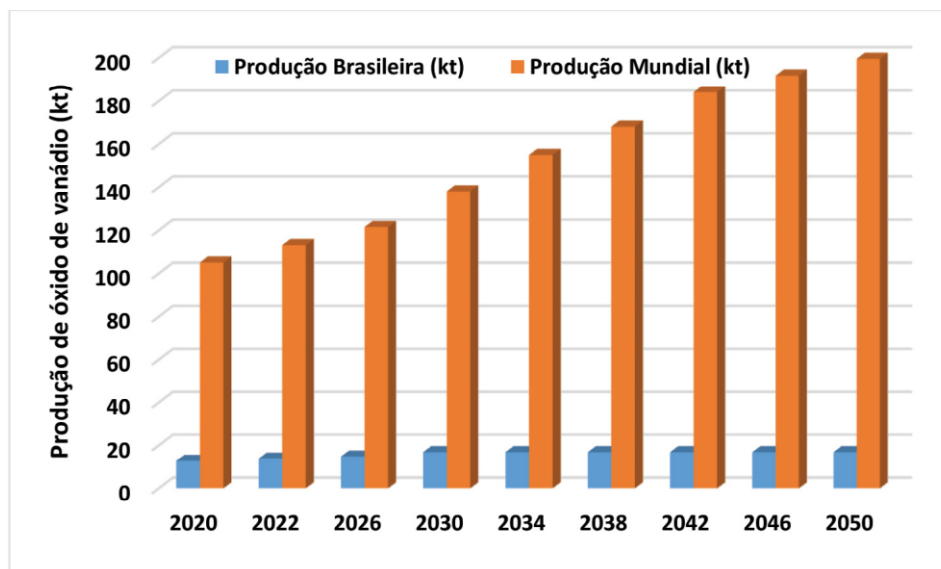


O cenário intermediário considera praticamente duplicar a produção global até 2050, que é a previsão com que trabalha a empresa instalada no Brasil. Com o aumento da demanda, deve haver consequente aumento dos preços do vanádio, estimulando investimentos e viabilizando os novos projetos previstos.

Tabela 15b. *Projeção da produção nacional e mundial de óxido de vanádio no cenário intermediário (kt de óxido de vanádio).*

	2020	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Produção Brasileira	12,75	13,77	14,79	16,83	16,83	16,83	16,83	16,83	16,83
Produção Mundial	105,00	113,25	121,50	138,00	155,00	168,30	184,12	191,81	199,50

Figura 7b. Projeção da produção nacional e mundial de óxido de vanádio no cenário intermediário.

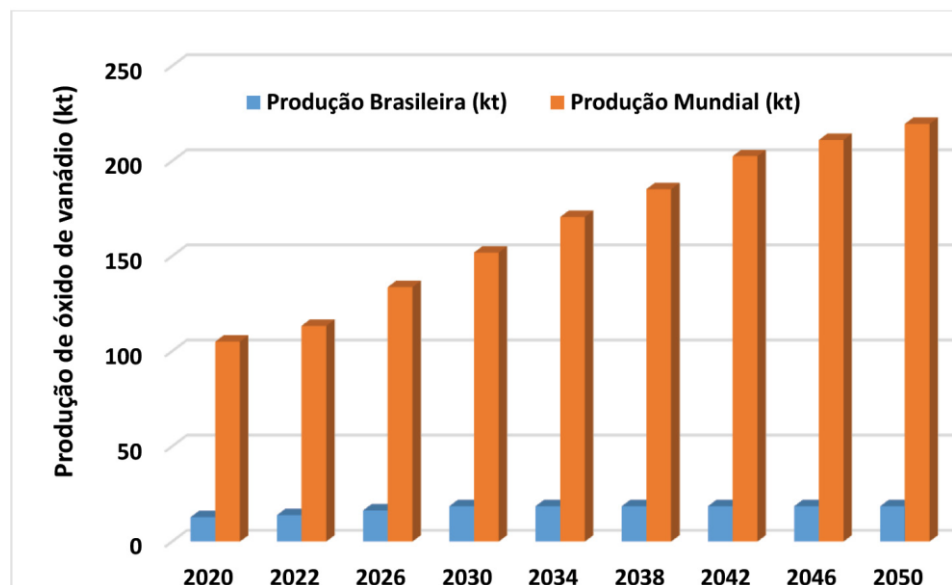


O cenário otimista é baseado no uso crescente do vanádio em acumuladores de energia para o setor automotivo, com previsão de consumo até 10% maior que o cenário intermediário, em cada quadriênio.

Tabela 15c. Projeção da produção nacional e mundial de óxido de vanádio no cenário otimista (kt de óxido de vanádio).

	2020	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Produção Brasileira	12,75	13,77	16,27	18,51	18,51	18,51	18,51	18,51	18,51
Produção Mundial	105,00	113,25	133,65	151,80	170,50	185,13	202,50	211,00	219,45

Figura 7c. Projeção da produção nacional e mundial de óxido de vanádio no cenário otimista.



3.1.9.14. Usos e Aplicações do Vanádio

A Tabela 16 mostra as principais aplicações dos produtos da cadeia do vanádio e seus percentuais relativos de uso. A principal aplicação (89%) é para aços de alta resistência e baixa liga, seguido por ligas para o setor aeroespacial (8%) e baterias de fluxo-redox (3%). O mercado de baterias é o principal responsável pela estimativa de aumento de demanda, para os próximos anos.

Tabela 16. Aplicações e percentuais de uso dos produtos da cadeia do vanádio.

Produto	Aplicação	Uso (%)
Aço	Produção de aço de alta resistência e baixa liga e outros aços de alto desempenho	89%
Químicos e aeroespacial	Criação de ligas de titânio para o mercado final aeroespacial e como catalisador de oxidação no controle de poluição e processos de produção química	8%
Baterias	Aplicações de armazenamento de energia em rede e portátil	3%

Fonte: (Strategic Resources, 2022)

3.1.9.15. Padrão Tecnológico da Cadeia do Vanádio

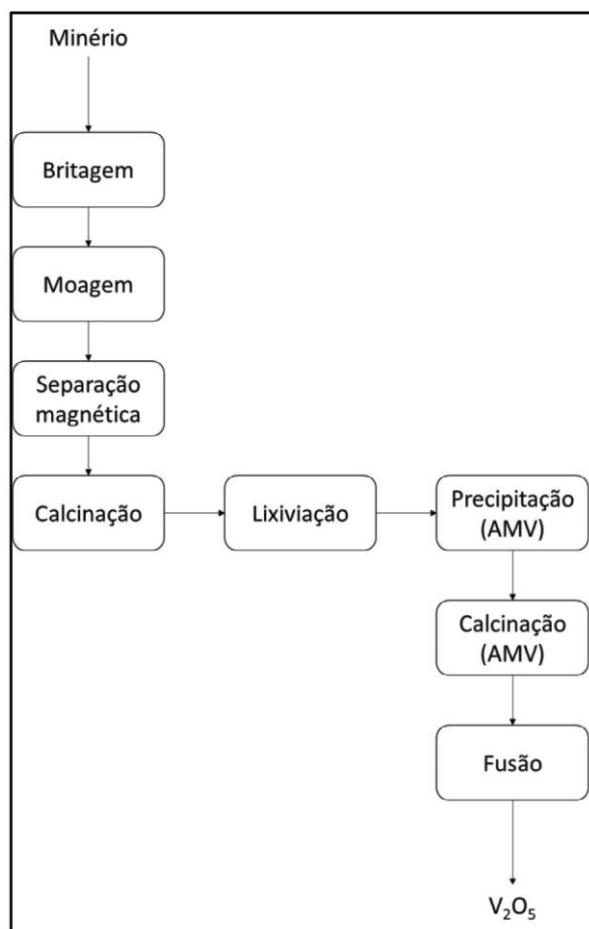
As principais tecnologias utilizadas no Brasil na cadeia no vanádio são apresentadas na Tabela 17. A Figura 8 apresenta um fluxograma simplificado da rota tecnológica predominante no Brasil, para a cadeia do vanádio.

Tabela 17. Principais tecnologias utilizadas no Brasil na cadeia no vanádio, juntamente com as tecnologias benchmark internacionais. (Largo, 2022)

Produto	Tecnologia Produtiva no Brasil	Tecnologia Ambiental no Brasil	Benchmark Tecnológico Produtivo	Benchmark Tecnológico Ambiental
V_2O_5	Lixiviação, precipitação, calcinação e fusão	-	Largo Resources Inc.	-

A produção do V_2O_5 começa, após a lavra, com três estágios de britagem e um estágio de moagem. A separação magnética ocorre em duas etapas, para aumentar o teor de vanádio no concentrado magnético, que segue então para a calcinação e, por fim, para a etapa de lixiviação. As etapas de purificação são a precipitação e a filtragem do metavanadato de amônio (AMV), que segue então para a segunda calcinação e então para a obtenção do V_2O_5 por fusão.

Figura 8. Fluxograma da rota tecnológica predominante no Brasil, na Cadeia do Vanádio.
(Largo)



3.1.9.16. Análise Integrada da Cadeia Produtiva do Vanádio

Não houve aporte de informação, por parte de empresas produtoras, que permitisse a elaboração de um fluxograma simplificado da cadeia do vanádio, contendo detalhes de consumos e participações nos custos de cada etapa de produção.

Lista de referências:

. Ferro-Alloy Resources Group, 2022

<http://www.ferro-alloy.com/en/vanadium/TTP%20Squared%20market%20summary203%20April%202020.pdf>. Acesso em 25 de abril de 2022, às 11h33.

. <https://strategic-res.com/site/assets/files/1/vanadium-facts.pdf>. Acesso em 26 de abril de 2022, às 08h37.

.<https://tm2.com/market/technology-metals-pipeline/vanadium/#:~:text=Vanadium%20demand%20in%20the%20steel,approximately%20138%2C000%20tonnes%20by%202029>. Acesso em 24 de abril de 2022, às 14h22.

<https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/ALL/year/2010/tradeflow/Importers/partner/WLD/product/282530>. Acesso em 25 de abril de 2022, às 11h21.

.<https://www.largoinc.com/Our-business/marac-s-menchen-mine/default.aspx>
https://s29.q4cdn.com/562286712/files/doc_financials/2021/q4/Largo-Dec-31,-2021-FS-v-FINAL.pdf. Acesso em 25 de abril de 2022, às 07h58.

.<https://www.statista.com/statistics/1264891/forecast-global-mineral-demand-increase-for-energy-technologies-in-the-two-degree-scenario/>. Acesso em 24 de abril de 2022, às 18h44.

.<https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/vanadium-statistics-and-information>. Acesso em 25 de Abril de 2022, às 09h13.

. Largo, 2020 – Relatório de Sustentabilidade

. Largo, 2022

. Statista, 2022

. Strategic Resources, 2022

. TM2, 2022:

. USGS, 2022:

. World Bank

. World Bank Group (2020) - Minerals for Climate Action The Mineral Intensity of The Clean Energy Transition, p 73



PLANO NACIONAL DE MINERAÇÃO 2050

PNM 2050

CADEIAS PRODUTIVAS 10: URÂNIO**Caderno 3: Cadeias Produtivas dos
Minerais para a Transição Energética**

CADEIAS PRODUTIVAS 10: URÂNIO	283
3.1. Caracterização das Cadeias Produtivas	284
3.1.10. Cadeia Produtiva do Urânio	284
3.1.10.1. Polos produtivos minero-industriais no Brasil, da Cadeia Produtiva do Urânio	284
3.1.10.2. Parque Produtivo de Urânio no Brasil	287
3.1.10.3. Consumo Energético e Emissão de CO ₂ , da Cadeia Produtiva do Urânio	288
3.1.10.4. Utilização de Água, da Cadeia Produtiva do Urânio	288
3.1.10.5. Geração de Resíduos, da Cadeia Produtiva do Urânio	289
3.1.10.6. Geração de Resíduos Sólidos, da Cadeia Produtiva do Urânio	290
3.1.10.7. Produção de Urânio	290
3.1.10.8. Consumo de Urânio	292
3.1.10.9. Importações de Urânio	295
3.1.10.10. Exportações de Urânio	296
3.1.10.11. Porte das Empresas e Geração de Empregos	298
3.1.10.12. Porte dos Projetos em Andamento e/ou Previstos	299
3.1.10.13. Projeções até 2050 do Urânio, em 3 Cenários Hipotéticos	300
3.1.10.14. Usos e Aplicações do Urânio	304
3.1.10.15. Padrão Tecnológico da Cadeia produtiva do Urânio	305
3.1.10.16. Análise Integrada da Cadeia Produtiva do Urânio	306

3.1. Caracterização das Cadeias Produtivas

3.1.10. Cadeia Produtiva do Urânio

O urânio é um metal relativamente comum, encontrado em concentrações não econômicas em rochas e na água do mar.. As quantidades de recursos minerais são maiores do que comumente reconhecidas, as quais estão relacionadas com os custos de extração e aos preços do mercado. Os recursos de urânio conhecidos no mundo aumentaram em pelo menos um quarto na última década devido ao aumento da exploração mineral (WNA, 2022). Entretanto, houve um crescimento de apenas 1% a partir de 2017 (NEA-IAEA, 2021). O principal mercado para o urânio são os reatores nucleares das centrais núcleo-elétricas.

Observação 1: Neste levantamento foram considerados dados relativos à etapa de produção do concentrado de urânio. As etapas subsequentes do ciclo do combustível nuclear não foram consideradas.

Observação 2: Embora a classificação brasileira de recursos e reservas tenha sido alterada - mediante norma da CBRR, adotada pela ANM (Art. 9, parágrafo 4º, do Decreto 9.406 de 2018 e Resolução ANM 94, de 07/02/2022) – a nova classificação entra em vigor em agosto (180 dias contados da data da resolução), a partir de quando se iniciará um gradativo processo de transição. Dentro do referido período de transição, e em consonância com os respectivos critérios e procedimentos vigentes, a classificação anterior (Reservas Medidas, Indicadas e Inferidas) permanece em vigor.

3.1.10.1. Polos produtivos mínero-industriais no Brasil, da Cadeia Produtiva do Urânio

Os polos produtivos no Brasil da cadeia produtiva do urânio, até 2021, juntamente com nível de concentração da produção, percentual de participação de capital nacional/estrangeiro e nível ou padrão organizacional e gerencial do segmento, com distribuição no território nacional são apresentados na Tabela 1. Devido ao monopólio da União, previsto no Artigo 177 da Constituição, só existe uma empresa no Brasil, a INB – Indústrias Nucleares do Brasil, que executa a lavra e a industrialização do urânio.

Tabela 1. Polos produtivos no Brasil da cadeia produtiva do URÂNIO até 2021 (capacidade instalada de produção)

Estado	Muni- cípio	Empre- sa	Produ- tos	Produ- ção	Recei- ta	Capital Nacio- nal (%)	Capital Exter- no (%)	Per- centu- al da Produ- ção Nacio- nal	Nível Gerenc- ial	Ref.
BAHIA	Caetitê	INB	con- centra- do de urânio	260 tU ₃ O ₈ /a*	US\$ 27,8 milhões **	100	0	100%	ESTA- TAL FEDE- RAL	INB, 2022
TOTAL				260 tU ₃ O ₈ /a*	US\$ 27,8 milhões **	100	0	100		

Fonte: INB, (2022A).

(*) tU₃O₈/a: Tonelada de U₃O₈ por ano. A unidade de medida para massa de urânio é padronizada em U₃O₈, de modo que a produção da unidade da INB em Caetitê/BA é de 260 t/a em U₃O₈ (ou 260 tU₃O₈/a).

Para expressar o resultado em U, deve-se utilizar o fator de conversão 0,8480 (que desconta a contribuição do oxigênio no composto U₃O₈). Assim, por exemplo, a produção da URA seria de 0,8480 x 260 = 220 t/a em U (ou 220 tU/a).

(**) Valor estimado de acordo com a cotação internacional

A única mina de urânio atualmente em atividade no Brasil está localizada em Caetitê, no Estado da Bahia, onde se encontram recursos minerais estimados em 99,1 mil toneladas de urânio (INB, 2022A). Nessa área já foram identificadas mais de 38 anomalias (áreas de grande concentração de urânio), por isso ela é denominada de província uranífera. Este polo tem capacidade de produzir cerca de 400 toneladas de U₃O₈ / ano, podendo chegar a 800 toneladas de U₃O₈ / ano (INB, 2022A), (INB, 2022B).

Em 2020 a produção nacional alcançou apenas 15 tU (INB, 2022B), colocando o Brasil na 14^a posição no ranking mundial na produção de urânio, conforme mostrado na Tabela 2 e na Figura 1, juntamente com os 15 países com maiores produções no mundo. Em 2021, com o avanço da lavra na mina de Engenho, a produção brasileira dobrou para cerca de 29 tU (INB, 2022B).

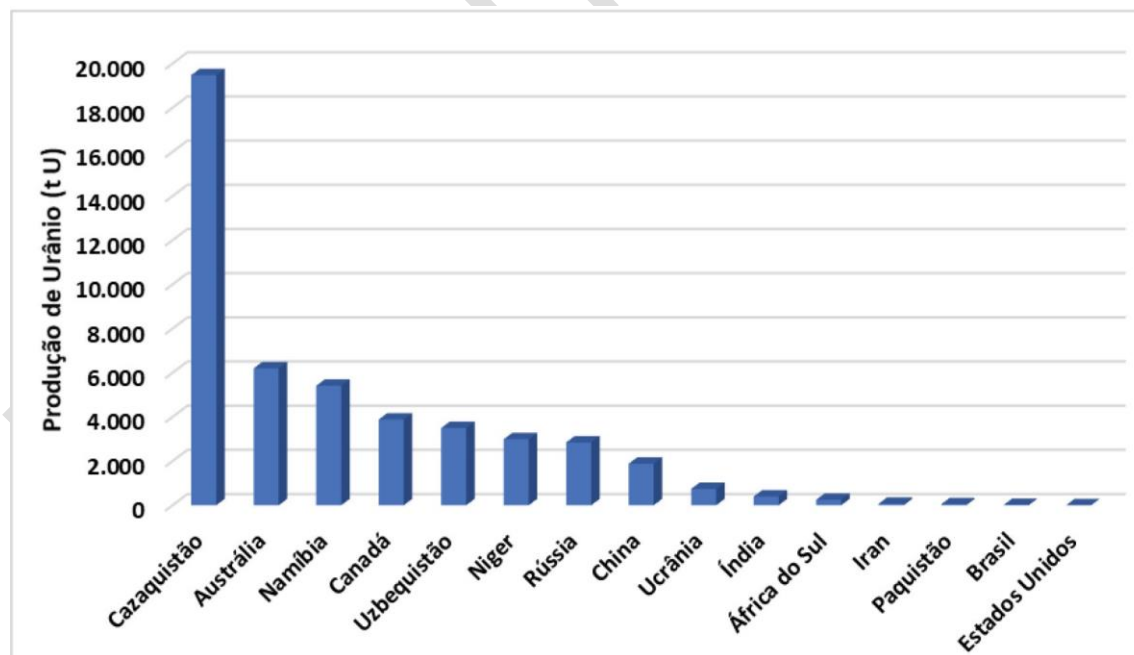
Tabela 2. Ranking dos principais produtores mundiais de urânio, no ano de 2020.

Colocação/ País	Produção t U	Receita* US\$	Exportação (%)*
1º Cazaquistão	19.477	1.700.000.000	56
2º Austrália	6.203	541.412.949	7,21
3º Namíbia	5.413	472.459.824	DADO NÃO DISPONÍVEL
4º Canadá	3.885	339.092.263	33,6
5º Uzbequistão	3.500	305.488.525	DADO NÃO DISPONÍVEL
6º Níger	2.991	261.061.765	DADO NÃO DISPONÍVEL
7º Rússia	2.846	248.405.812	0,003
8º China	1.885	164.527.391	DADO NÃO DISPONÍVEL
9º Ucrânia	744	64.938.132	2,6
10º Índia	400	34.912.974	0,0003
11º África do Sul	250	21.820.609	0,3
12º Iran	71	6.197.053	DADO NÃO DISPONÍVEL
13º Paquistão	45	3.927.710	DADO NÃO DISPONÍVEL
14º Brasil	15	1.309.236	0
15º EUA	5	436	7

* Receitas estimadas com base na receita do Cazaquistão

Fonte: WORLD NUCLEAR ASSOCIATION (2022); WTEX, (2022) e OEC, (2022).

Figura 1. Principais produtores mundiais de urânio, no ano de 2020.



Fonte: WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, (2022); WTEX, (2022) e OEC, (2022).

Mais de dois terços da produção mundial de urânio de minas são do Cazaquistão, Canadá e Austrália. Uma crescente quantidade de urânio, atualmente mais de 50%, é produzida por lixiviação “in situ”. A produção de urânio de minas foi responsável, em 2020, por 74% da demanda por urânio, sendo o restante proveniente de fontes secundárias (estoques estratégicos de certos países, reprocessamento de combustível nuclear já utilizado, entre outros). Mais da metade da produção de urânio de minas é feita por empresas estatais, algumas das quais priorizam a cadeia de fornecimento seguro em relação a considerações de mercado. Em 2020 as 10 principais empresas produtoras de urânio contribuíram com mais de 85% da produção mundial de urânio.

3.1.10.2. Parque Produtivo de Urânio no Brasil

O parque produtivo no Brasil do urânio, incluindo empresa, capacidade, localização e tipologia das unidades de produção que integram a cadeia de sua produção minero-industrial, juntamente com a caracterização das integrações a montante e a jusante, bem como de facilidades locacionais e logísticas associadas às integrações existentes, é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Caracterização do parque produtivo brasileiro do urânio.

	Empresa	Local	Produtos	Produção	Operação Jusante	Logística	Distância
Lavra e Beneficiamento	INB	Caetité - BA	concentrado de urânio	260 tU ₃ O ₈ /a	ENVIO PARA O PORTO DE SALVADOR	TRANSPORTE TERRESTRE	358 Km

Fonte: INB, 2022.

Na unidade de concentração de urânio em Caetité, BA, são realizadas as duas primeiras etapas do ciclo do combustível nuclear: a mineração e o beneficiamento do minério, que resulta no *concentrado de urânio* ou “*yellowcake*”. A unidade ocupa uma área de 1.700 hectares. De 2000 a 2015, a INB – Indústrias Nucleares do Brasil produziu 3.760 toneladas de concentrado de urânio a partir da Mina Cachoeira, em Caetité. Em 2020 entrou em operação a Mina do Engenho. O concentrado de urânio produzido pela INB é transportado para a Europa através do porto de Salvador - BA, onde é convertido em um gás (hexafluoreto de urânio) para a etapa de enriquecimento. Parte desse gás retorna ao Brasil para ser enriquecido na unidade de Resende da INB e parte é enriquecido na Europa antes de retornar ao Brasil (INB, 2022A), (INB, 2022B).

3.1.10.3. Consumo Energético e Emissão de CO₂, da Cadeia Produtiva do Urânio

Não há dados públicos específicos sobre as operações no Brasil. Com base no trabalho de Parker (2015) em três minas no Canadá, pode ser feita uma estimativa preliminar considerando a relação de teores de urânio no Brasil e no Canadá. Estima-se que a geração no Brasil seria da ordem de 79 kgCO₂/kgU₃O₈. Conforme o estudo deste autor, 90% das emissões são devidas às operações de cominuição das rochas.

3.1.10.4. Utilização de Água, da Cadeia Produtiva do Urânio

A utilização de água, da cadeia produtiva do urânio no Brasil, incluindo o percentual de recirculação da água utilizada e o tratamento do efluente líquido, é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4. Utilização de água no Brasil, da cadeia produtiva do urânio.

	Empresa	Local	Consumo de Água (m³/h)	Reutilização (%)	Tratamento de Efluentes
Lavra (*)	INB	CAETITÉ - BA	2,0	0,0	-
Lixiviação do minério			12,5	0,0	-
Processos industriais			2,0	0,0	-
Consumo humano, banho, sanitários e cozinha			1,5	0,0	-
Aspersão e irrigação			0,4	0,0	-
Média no Brasil			18,4	0,0	-

(*) Aspersão e Irrigação

Fonte: INB, (2022B)

OBSERVAÇÃO: A vazão reportada nesta tabela refere-se apenas à fração de água nova (make up) que alimenta a usina de beneficiamento e não ao montante total de líquido utilizado no processo (onde a fração complementar e majoritária é constantemente reutilizada). Sendo assim, pode-se dizer que a fração de água nova (make up) é consumida integralmente, não sendo reutilizada (essa quantidade de água é perdida por evaporação e por incorporação aos resíduos e rejeitos do processo produtivo).

Todos os resíduos líquidos do processo de extração de urânio do minério são reutilizados, não havendo liberações de líquidos para o meio ambiente. Os rejeitos da mineração são depositados em áreas específicas, com recolhimento dos líquidos oriundos de águas de chuva que podem carrear finos, direcionando-

os a bacias para posterior utilização na usina. Os resíduos líquidos das áreas de mineração podem ser liberados para a barragem de águas de chuva, desde que atendam aos limites estabelecidos pela CNEN/ANSN e pelo IBAMA.

3.1.10.5. Geração de Resíduos, da Cadeia Produtiva do Urânio

A geração de resíduos, da cadeia produtiva do urânio no Brasil, bem como uma pré-qualificação e potencial de aproveitamento dos resíduos em outros segmentos ou em obras de infraestrutura juntamente com as práticas de prevenção ou mitigação de impactos ambientais, é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5. Geração de resíduos no Brasil, da cadeia produtiva do urânio entre 2000 e 2015.

	Em- presa	Local	Geração de Resíduos (t/ tU ₃ O ₈)	Natureza e Classifi- cação dos Resíduos	Potencial de Aproveitamento (setor e %)	Práticas de Mitigação de Impactos Am- bientais
Lavra	INB	CAETITÉ - BA	4.446	Estéril	-	Disposição na unidade de concentração
Lixiviação			0,53	Minério lixi- viado	-	
			-	Resíduo líquido da lixiviação	100	Reciclagem para a lixivia- ção
Trata- mento de água			40,02	Polpa do tratamento do resíduo líquido	-	Disposição na unidade de concentração
Média no Brasil	OBSERVAÇÃO: A INB É A ÚNICA EMPRESA DO BRASIL QUE ATUA NESTE RAMO					

Fonte: BRAZIL REPORT 2017 FOR THE JOINT CONVENTION, (2017).

Os resíduos gerados na planta de Caetité são estocados na própria planta, salvo liberações de efluentes líquidos que, quando atendem às normas da ANSN e do IBAMA, são lançados no meio ambiente. Os inventários de resíduos estocados são informados aos órgãos de controle nacionais e internacionais.

3.1.10.6. Geração de Resíduos Sólidos, da Cadeia Produtiva do Urânio

A geração de resíduos sólidos, da cadeia produtiva do urânio no Brasil, bem como uma pré-qualificação e potencial de aproveitamento dos resíduos gerados em outras cadeias produtivas, juntamente com grau de reciclagem e panorama de utilização de sucatas e de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6. Geração de resíduos sólidos no Brasil, da cadeia produtiva do urânio

	Empresa	Local	Geração de Resíduos (t/t U)	Natureza e Classificação dos Resíduos	Grau de Reciclagem (%)	Uso de Sucatas e Resíduos Eletroeletrônicos
Lavra	INB	CAETITÉ	4.446	Resíduos de rochas	-	Disposição na Unidade de Concentração
Lixiviação			0,53	Minério lixiviado	-	
Resíduos diversos			<0,05	Sucatas etc.	-	
Média no Brasil			4.447			

Fonte: INB, (2022B)

Todos os resíduos sólidos gerados ficam dispostos na unidade de concentração em Caetité. A maior parte da geração de resíduos sólidos (99,9%) ocorre na lavra, uma vez que a concentração de urânio no minério é considerada de baixo a moderado (de 800 a 1200 ppm).

3.1.10.7. Produção de Urânio

A produção no Brasil do urânio, a cada ano, desde 1970 até 2021, está indicada na Tabela 7, por estado da federação, com os totais consolidados para o país.

Tabela 7. Produção brasileira, por estado, do urânio, desde 1970 até o ano de 2021.

	Produção (tU ₃ O ₈)					
Estado	1982 a 1995	1996 a 2000	2000 a 2015	2016 a 2019	2020	2021
MG	827	0	0	0	0	0
BA	0	0	3.760	0	18	34
Total	827	0	3.760	0	18	34

Fonte: INB, (2022B)

Caderno 3 Item 1 – Cadeias Produtivas dos Minerais para a Transição Energética

Atualmente somente o estado da Bahia produz concentrado de urânio, proveniente da mina localizada em Caetité. Devido ao monopólio da união, a INB, uma empresa estatal, é a única empresa que tem autorização para produzir o concentrado de urânio. A unidade de Caetité tem capacidade para produzir 400 toneladas de urânio por ano.

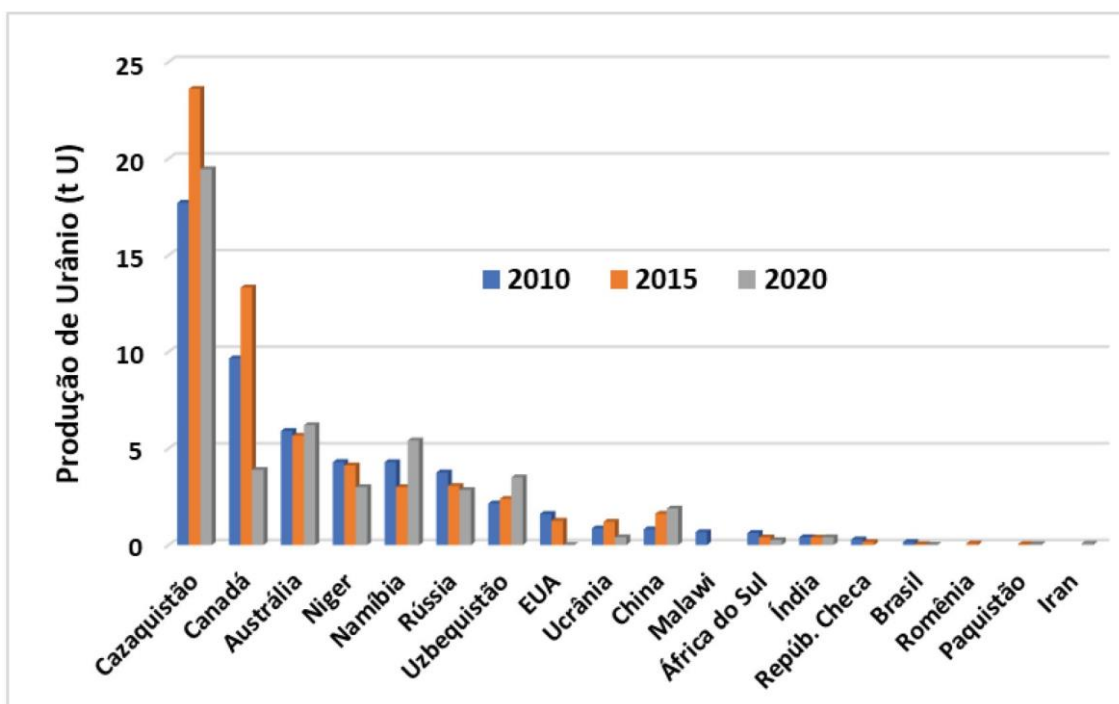
A sua produção coloca o Brasil, no ano de 2020, na 14ª posição no ranking mundial de produtores de urânio. A Tabela 8 e a Figura 2 apresentam sua evolução no ranking mundial, juntamente com os 15 países com maiores produções no mundo.

Tabela 8. Evolução do ranking dos principais produtores mundiais de urânio.

Colocação País 2010	Produção (ktU)	Colocação País 2015	Produção (ktU)	Colocação País 2020	Produção (ktU)
1º CAZAQUIS-TÃO	17,709	1º CAZAQUIS-TÃO	23,607	1º CAZAQUIS-TÃO	19,447
2º CANADÁ	9,659	2º CANADÁ	13,325	2º AUSTRÁLIA	6,203
3º AUSTRÁLIA	5,903	3º AUSTRÁLIA	5,654	3º NAMÍBIA	5,413
4º NÍGER	4,293	4º NÍGER	4,116	4º CANADÁ	3,885
5º NAMÍBIA	4,290	5º RÚSSIA	3,055	5º UZBEQUIS-TÃO	3,500
6º RÚSSIA	3,756	6º NAMÍBIA	2,993	6º NÍGER	2,991
7º UZBEQUIS-TÃO	2,146	7º UZBEQUIS-TÃO	2,385	7º RÚSSIA	2,846
8º EUA	1,610	8º CHINA	1,616	8º CHINA	1,885
9º UCRÂNIA	0,861	9º EUA	1,256	9º UCRÂNIA	0,400
10º CHINA	0,813	10º UCRÂNIA	1,200	10º ÍNDIA	0,400
11º MALAWI	0,667	11º AFRICA DO SUL	0,393	11º AFRICA DO SUL	0,250
12º AFRICA DO SUL	0,622	12º ÍNDIA	0,385	12º IRAN	0,071
13º ÍNDIA	0,400	13º REPUB. CHECA	0,155	13º PAQUISTÃO	0,045
14º REPUB. CHECA	0,287	14º ROMÊNIA	0,077	14º BRASIL	0,015
15º BRASIL	0,148	15º PAQUISTÃO	0,045	15º EUA	0,006
		16º BRASIL	0,040		

Fonte: WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, (2022).

Figura 2. Evolução do ranking dos principais produtores mundiais de urânio.



Fonte: WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, (2022).

Cazaquistão, Canadá e Austrália concentram dois terços da produção mundial de urânio de minas., Namíbia e Níger são importantes produtores mundiais. O Brasil não produziu urânio nos anos de 2016, 2017, 2018 e 2019. A produção foi retomada a partir de 2020 com a entrada em operação da Mina do Engenho em Caetité.

3.1.10.8. Consumo de Urânio

Observação: No caso do urânio, é usual informar a necessidade do urânio, ao invés do consumo. A necessidade é a quantidade de urânio dentro do núcleo dos reatores das centrais núcleo-elétricas. O consumo é aproximadamente um terço da necessidade, dependendo do histórico de operação das centrais núcleo-elétricas no período.

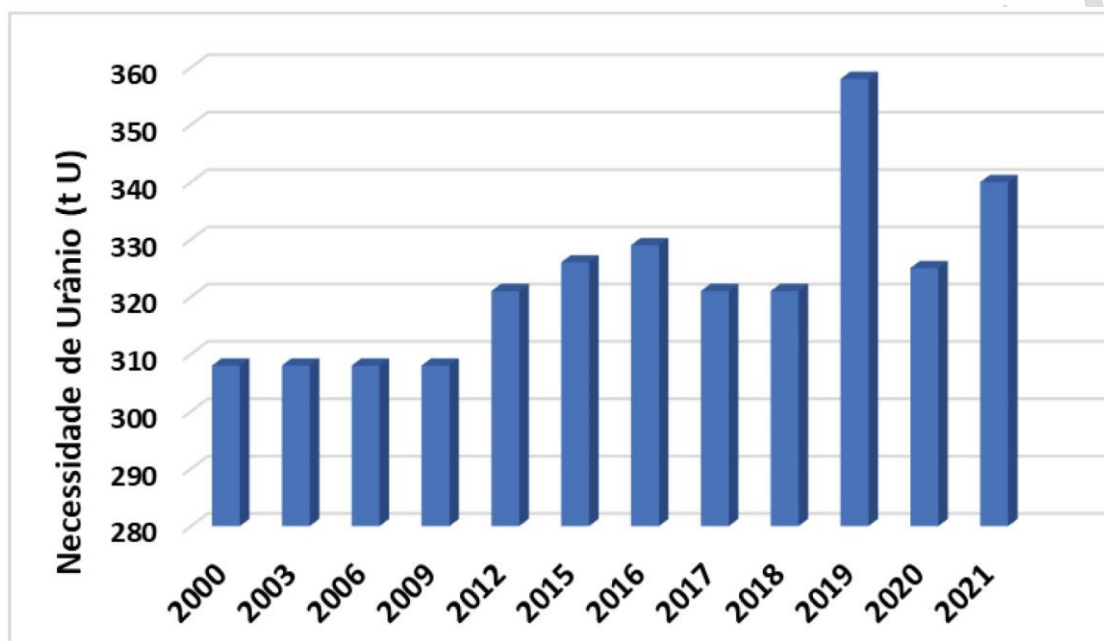
A necessidade do Brasil de urânio, a cada ano, desde 2000 até 2021, é apresentada na Tabela 9, por estado da federação, e no gráfico da Figura 3, com os totais consolidados para o país.

Tabela 9. A necessidade, por estado, do urânio, desde 2000 até o ano de 2021.

Estado	Necessidade de Urânio do Brasil (tU)											
	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
RJ	308*	308*	308*	308	321	326	329	321	321	358	325	340
TOTAL	308	308	308	308	321	326	329	321	321	358	325	340

Fonte: WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, (2022).

Figura 3. Necessidade brasileira, por ano, do urânio, desde 2000 até o ano de 2021.



Fonte: WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, (2022).

O único Estado do Brasil que necessita de urânio para produção de energia elétrica é o Rio de Janeiro, onde se encontram as centrais nucleares de Angra 1 e Angra 2. A necessidade nominal é de 440 toneladas por ano. Ela se mantém, no entanto, entre 310 e 340 toneladas por ano de urânio enriquecido, dependendo do histórico de operação das centrais núcleo-elétricas. No estado do Rio de Janeiro também se encontra a fábrica de combustíveis nucleares da INB – Indústrias Nucleares do Brasil, que são fornecidos para as centrais nucleares brasileiras.

Em 2019 o Brasil ocupou a 16ª posição no ranking mundial de necessidade de urânio. A Tabela 10 e a Figura 4 apresentam sua evolução no ranking mundial, juntamente com os 20 países maiores consumidores no mundo.



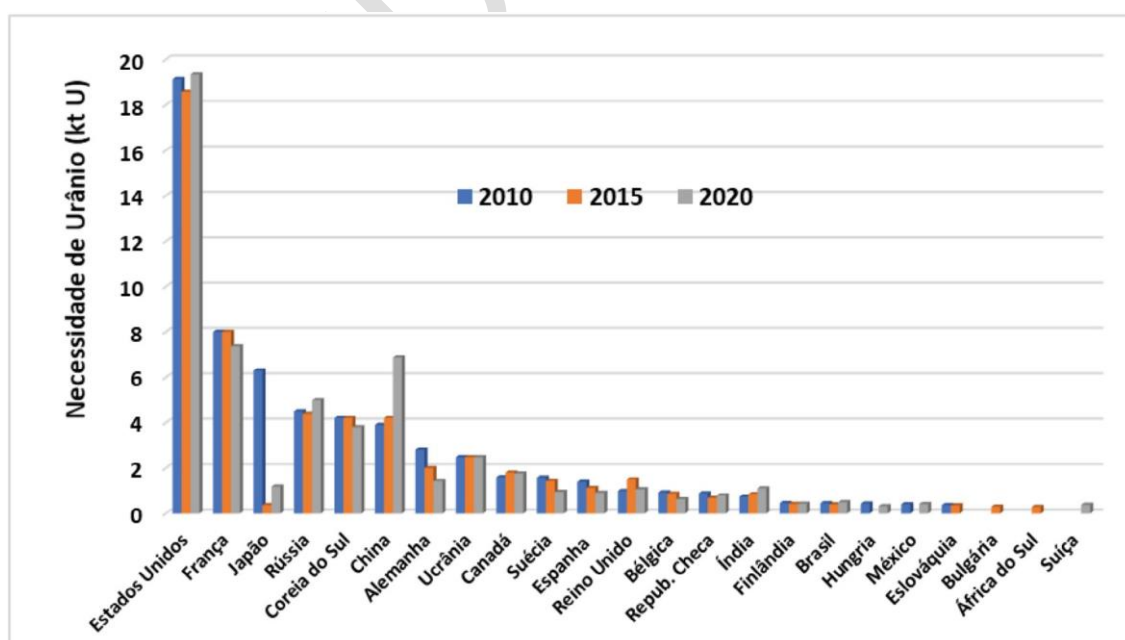
Tabela 10. Ranking das principais necessidades mundiais de urânio.

Colocação País 2010	Necessidade (ktU)	Colocação País 2015	Necessidade (ktU)	Colocação País 2019	Necessidade (ktU)
1º EUA	19,140	1º EUA	18,575	1º EUA	19,340
2º FRANÇA	8,000	2º FRANÇA	8,000	2º FRANÇA	7,370
3º JAPÃO	6,295	3º RÚSSIA	4,400	3º CHINA	6,865
4º RÚSSIA	4,500	4º CHINA	4,200	4º RÚSSIA	5,000
5º COREIA DO SUL	4,200	5º COREIA DO SUL	4,200	5º COREIA DO SUL	3,800
6º CHINA	3,900	6º UCRÂNIA	2,480	6º UCRÂNIA	2,480
7º ALEMANHA	2,800	7º ALEMANHA	2,000	7º CANADÁ	1,760
8º UCRÂNIA	2,480	8º CANADÁ	1,800	8º ALEMANHA	1,420
9º CANADÁ	1,600	9º REINO UNIDO	1,500	9º JAPÃO	1,180
10º SUÉCIA	1,580	10º SUÉCIA	1,430	10º ÍNDIA	1,100
11º ESPANHA	1,390	11º ESPANHA	1,120	11º REINO UNIDO	1,065
12º REINO UNIDO	0,985	12º BÉLGICA	0,870	12º SUÉCIA	0,950
13º BÉLGICA	0,925	13º ÍNDIA	0,850	13º ESPANHA	0,910
14º REPUB. CHECA	0,885	14º REPUB. CHECA	0,680	14º REPUB. CHECA	0,795
15º ÍNDIA	0,735	15º FINLÂNDIA	0,425	15º BÉLGICA	0,630
16º FINLÂNDIA	0,455	16º BRASIL	0,400	16º BRASIL	0,500
17º BRASIL	0,450	17º JAPÃO	0,370	17º FINLÂNDIA	0,430
18º HUNGRIA	0,435	18º ESLOVAQUIA	0,360	18º MÉXICO	0,420
19º MÉXICO	0,405	19º BULGÁRIA	0,300	19º SUÍÇA	0,385
20º ESLOVAQUIA	0,370	20º ÁFRICA DO SUL	0,290	20º HUNGRIA	0,325

Observação: Os números desta Tabela se referem às necessidades nominais de urânio.

Fontes: NUCLEAR ENERGY AGENCY, (2022) e NEA, (2022).

Figura 4. Evolução do ranking das principais necessidades mundiais de urânio.



Fontes: NUCLEAR ENERGY AGENCY, (2022) e NEA, (2022).

Os EUA têm, de longe, a maior necessidade de urânio, com 34% da necessidade mundial em 2019. A França, que tem a segunda maior necessidade, teve uma participação de 13%, seguida de perto pela China, com 12%. Os cinco países com as maiores necessidades (EUA, França, China, Rússia e Coreia do Sul) foram responsáveis por 79% da necessidade mundial. Nota-se um acelerado crescimento da China na última década, de 76% entre os anos 2010 e 2019. Entretanto, a necessidade mundial sofreu um decréscimo de 7% nesse período, por conta do desligamento de parte dos reatores nucleares no Japão após o acidente de Fukushima.

3.1.10.9. Importações de Urânio

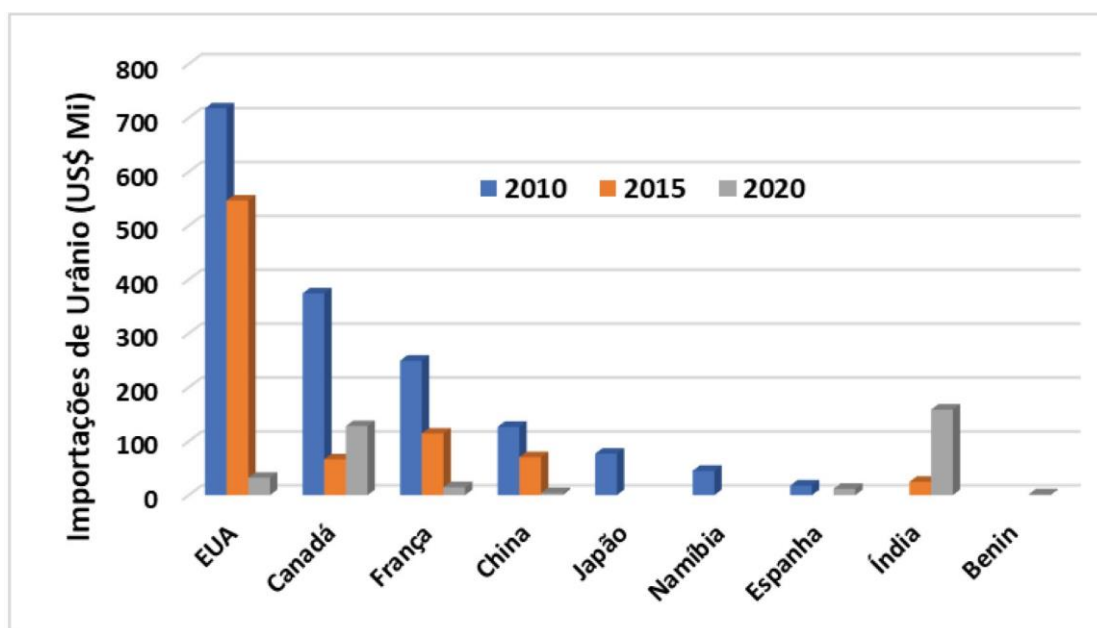
A situação envolvendo o urânio é bastante específica no Brasil. A União tem o monopólio da extração e beneficiamento do urânio. O País já importou concentrado de urânio e atualmente importa urânio convertido (UF_6) para suprir as demandas das centrais núcleo-elétricas que não são atendidas pela produção nacional. Toda a tecnologia do ciclo do combustível está dominada, desde a mineração até a montagem do elemento combustível. Somente a conversão e parte do enriquecimento do urânio têm sido realizadas no exterior por questões de escala. A Tabela 11 e a Figura 5 apresentam a evolução no ranking mundial dos países com as maiores importações de urânio.

Tabela 11. Evolução do ranking dos principais importadores mundiais de concentrado de urânio.

Colocação País 2010	Importações (% do mercado mundial – US\$1,62 Bi)	Colocação País 2015	Importações (% do mercado mundial – US\$822 Mi)	Colocação País 2020	Importações (% do mercado mundial – US\$360 Mi)
1º EUA	44,3	1º EUA	66,5	1º ÍNDIA	44,1
2º CANADÁ	23,1	2º FRANÇA	13,9	2º CANADÁ	35,6
3º FRANÇA	15,4	3º CHINA	8,55	3º EUA	8,97
4º CHINA	7,82	4º CANADÁ	8,08	4º FRANÇA	4,08
5º JAPÃO	4,75	5º ÍNDIA	3,01	5º ESPANHA	3,27
6º NAMÍBIA	2,79	-	-	6º CHINA	1,06
7º ESPANHA	1,10	-	-	7º BENIN	0,43

Fonte: OBSERVATORY OF ECONOMIC COMPLEXITY, OEC, (2022).

Figura 5. Evolução do ranking dos 7 principais importadores mundiais de concentrado de urânio.



Fonte: OBSERVATORY OF ECONOMIC COMPLEXITY, OEC, (2022).

O “ranking” dos importadores de concentrado de urânio varia bastante de ano para ano, pois isso depende dos estoques de cada país e do preço, além do histórico de operação das usinas nucleares. O Canadá, importante produtor de urânio, também importa urânio da Namíbia e do Níger.

3.1.10.10. Exportações de Urânio

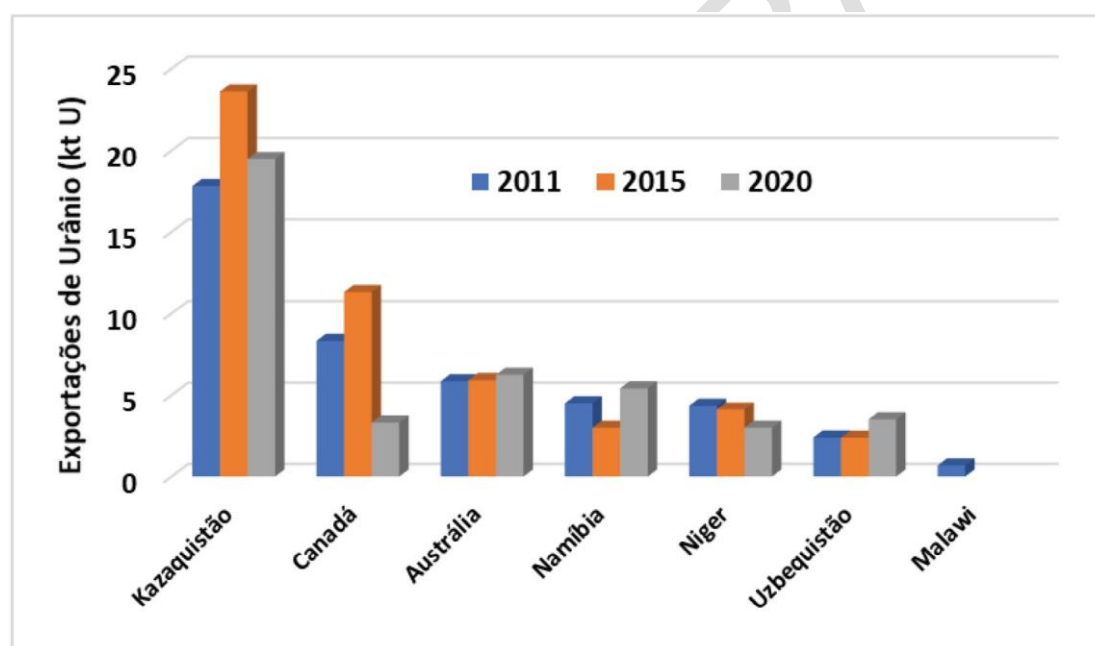
O Brasil não exporta concentrado de urânio para outros países. O concentrado de urânio brasileiro é enviado para a Europa para beneficiamento e retornado ao Brasil. A Tabela 12 e a Figura 6 apresentam a evolução dos países no ranking mundial de exportações de urânio.

Tabela 12. Evolução do ranking dos principais exportadores mundiais de urânio.

Colocação País 2011	Exportações (ktU)	Colocação País 2015	Exportações (ktU)	Colocação País 2020	Exportações (ktU)
1º KAZAQUIS-TÃO	17,813	1º KAZAQUIS-TÃO	23,607	1º KAZAQUIS-TÃO	19,477
2º CANADÁ	8,327	2º CANADÁ	11,322	2º AUSTRÁLIA	6,234
3º AUSTRÁLIA	5,841	3º AUSTRÁLIA	5,909	3º NAMÍBIA	5,413
4º NAMÍBIA	4,502	4º NÍGER	4,116	4º UZBEQUIS-TÃO	3,500
5º NÍGER	4,351	5º NAMÍBIA	2,994	5º CANADÁ	3,302
6º UZBEQUIS-TÃO	2,400	6º UZBEQUIS-TÃO	2,385	6º NÍGER	2,991
7º MALAWI	0,670				

Fonte: WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, (2022).

Figura 6. Evolução do ranking dos principais exportadores mundiais de urânio.



Fonte: WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, (2022).

Mais de dois terços da produção de urânio de minas é do Cazaquistão, Canadá e Austrália. Entre os principais exportadores, além destes países, Namíbia, Níger e Uzbequistão também se destacam. O principal exportador é o Cazaquistão, com uma participação no mercado mundial em torno de 40%. Uma quantidade crescente de urânio, atualmente mais de 50%, é produzida pela lixiviação “*in situ*”.

3.1.10.11. Porte das Empresas e Geração de Empregos

A Tabela 13 apresenta um panorama das empresas produtoras de urânio no Brasil no ano de 2020, conforme seu porte, em termos de produção, e o estado da federação onde estão instaladas suas operações e os números de empregos diretos e indiretos gerados.

Tabela 13. Panorama das empresas produtoras de urânio no Brasil, por porte de produção, no ano de 2020.

Empresas de Médio Porte de Produção (<1Mta e > 100kta)*						
	Empresa	Produção	Produtos	Estado	Empregos diretos	Empregos indiretos
	INB - CAETITÉ	435 kt/a*	Concentrado de Urânio	BAHIA	600	1800
	Total			Brasil		
(*) O porte da empresa é definido pelo volume de R.O.M. A capacidade da mina da INB é de médio porte, no entanto a produção efetiva em 2020 foi de apenas 5.733 t ROM, a qual deverá ser ampliada nos próximos anos.						
Total das Empresas por Porte de Produção (<100kta e < 10kta)						
	Porte	Produção	Produtos	Brasil	Empregos diretos	Empregos indiretos
	Médio	435 kt/a	Concentrado de Urânio		600	1800
	Total			Brasil		

Fonte: INB, (2022B)

Há uma única empresa envolvida com a produção de concentrado de urânio, a INB, que atua em Caetité – BA. Esta empresa também atua no enriquecimento e fabricação dos elementos combustíveis para as centrais nucleares brasileiras, na sua unidade situada em Resende – RJ. A produção de concentrado de urânio pode ser considerada pequena, devido à capacidade de produção de concentrado instalada, porém a operação mineira tem capacidade para médio porte de lavra.

Devido ao porte da unidade de Caetité - BA, são gerados números pequenos de empregos diretos (600) e indiretos (1800), incluindo todas as fases da operação. Porém, trata-se de uma atividade importante para o município.

A sede da INB se encontra na cidade do Rio de Janeiro, onde também é gerado um pequeno número de empregos relacionados com a mineração de urânio.

3.1.10.12. Porte dos Projetos em Andamento e/ou Previstos

A Tabela 14 apresenta um panorama dos projetos em andamento e/ou previstos para a produção de urânio no Brasil, com o ano de início, conforme seu porte, em termos de produção, e listando ainda os estados da federação onde suas operações estão instaladas e os números de empregos diretos e indiretos previstos.

Tabela 14. Panorama dos projetos em andamento e/ou previstos para a produção de URÂNIO no Brasil

Empresas de Grande Porte de Produção						
Início	Empresa	Produção	Produtos	Estado	Empregos diretos	Empregos indiretos
2024 a 2025	INB - Consórcio Santa Quitéria	3,866 Mt/a	Concentrado de Urânio	CE	538 (fase de operação)	2300 (fase de operação)
2026	INB - Engenho	435 kt/a	Concentrado de Urânio	BA	500	1000
Total		4,216 Mt/a		Brasil		
Total das Empresas por Porte de Produção						
	Porte	Produção	Produtos	Brasil	Empregos diretos	Empregos indiretos
2024 a 2027	Grande	4,216 Mt/a	Concentrado de urânio	Brasil	1038	3300
Total		4,216 Mt/a		Brasil	1038	3300

Fonte: INB, (2022B).

A INB exerce, em nome da União, o monopólio da extração e do beneficiamento de urânio no Brasil. Esta empresa atua na cadeia produtiva do urânio da mineração à fabricação do combustível nuclear para produção de energia elétrica nas usinas nucleares. Com a ampliação das operações em Caetité – BA e a implantação da operação em Santa Quitéria – CE e de Engenho, o Brasil terá uma capacidade de produção próxima de 3.100 t/ano de urânio.

A INB Caetité tem capacidade de produzir cerca de 400 toneladas/ano, podendo chegar a 800 toneladas/ano com a lavra da Mina do Engenho, da mina subterrânea e a duplicação da capacidade de produção da unidade. Para aumentar a produção de urânio a INB formou, em parceria com o Grupo Galvani, o consórcio Santa Quitéria para explorar a jazida de Itataia, no município de Santa Quitéria, no Ceará, onde o minério se encontra associado ao fosfato. Ali

os recursos estão estimadas em 80 mil toneladas. Quando em operação, a mina produzirá anualmente 2.300 toneladas de concentrado de urânio.

Estima-se que a ampliação da operação de Caetité - BA vai gerar 500 empregos diretos e 1.000 empregos indiretos. A implantação da operação em Santa Quitéria vai gerar 538 empregos diretos e 2.300 empregos indiretos.

3.1.10.13. Projeções até 2050 do Urânio, em 3 Cenários Hipotéticos

As estimativas das projeções para o Brasil, até 2050, considerando o consumo de urânio e o investimento em novas instalações (minas e centrais nucleares) em cenários conservador, intermediário e otimista, estão apresentados nas Tabelas 15, 16 e 17. Os dados mundiais, que também estão apresentados nestas Tabelas, consideram apenas um cenário, conforme estimativas de agências internacionais para a taxa de crescimento. As Figuras 7a, 7b e 7c mostram o cenário conservador.

Tabela 15. Estimativas das projeções do urânio, até 2050, considerando um cenário conservador.

	2020	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Produção Brasileira de concentrado de urânio (tU/a)	17,8	260	2.530	2.530	2.530	2.530	2.530	2.530	2.530
Investimentos no Brasil (US\$M)	dados não disponíveis (ND)								
Produção Mundial (tU/a)	47.480	46.008	63.655	70.063	70.693	61.870	50.105	50.105*	50.105*
Necessidade Interna ^o (tU _{enr} /a)	455	455	757	757	757	757	757	757	757
Importações (tU/a)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Consumo Externo (tU/a)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Exportações (tU/a)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Empregos diretos	600	600	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100
Empregos indiretos	1.800	1.800	3.300	3.300	3.300	3.300	3.300	3.300	3.300

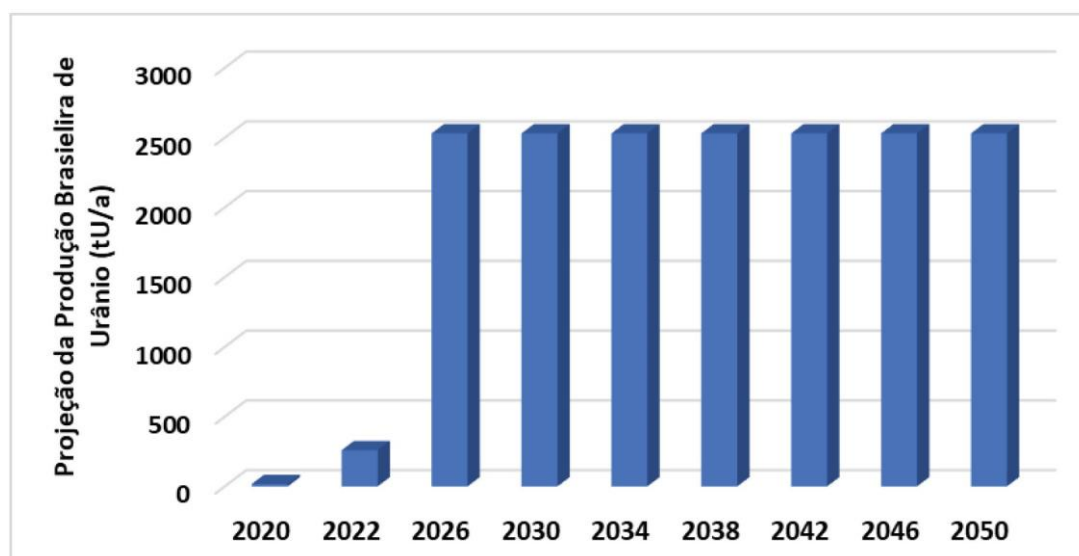
Fontes: INB, (2022), (WNA,2021), (WNA,2022).

*Mntido constante, por ausência de projeções oficiais.

**O consumo de urânio é aproximadamente um terço da necessidade. O urânio enriquecido, utilizado nas centrais núcleo-elétricas, corresponde a cerca de 10% da massa de urânio no concentrado.

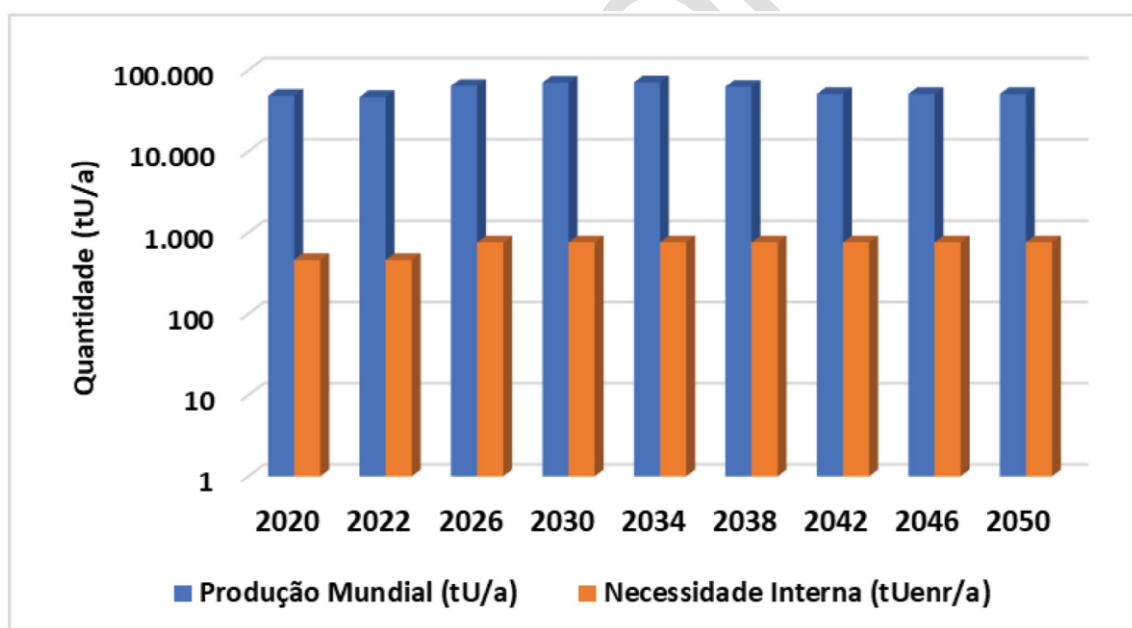
Premissas para o cenário conservador: Central Nuclear de Angra 3 concluída em 2026 e unidades de Caetité e Santa Quitéria fornecendo todo o urânio necessário para operação das Centrais Nucleares de Angra 1, 2 e 3.

Figura 7a. Evolução da produção brasileira do urânio, em um cenário conservador.



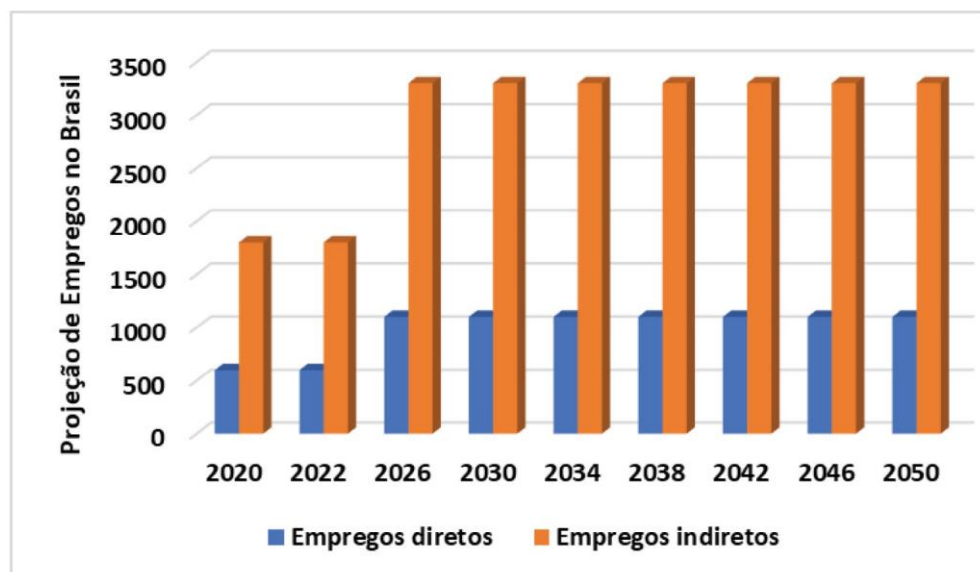
Fontes: INB, (2022) e WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, (2022).

Figura 7b. Evolução da produção mundial e necessidade interna do urânio, em um cenário conservador.



Fontes: INB, (2022) e WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, (2022).

Figura 7c. Evolução dos empregos gerados na cadeia do urânio no Brasil, em um cenário conservador.



Fontes: INB, (2022) e WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, (2022).

Tabela 16. Estimativas das projeções do URÂNIO, até 2050, considerando um cenário intermediário.

	2020	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Produção Brasileira (tU/a)	17,8	260	2.330	3.100	3.100	3.862	3.862	3.862	3.862
Investimentos no Brasil (US\$M)	DADOS NÃO PUDEAM SER OBTIDOS								
Produção Mundial (tU/a)	47.480	46.008	63.655	70.063	70.693	61.870	50.105	-	-
Necessidade Interna* (tU/a)	455	455	757	757	1.060	1.363	1.363	1.363	1.163
Importações (tU/a)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Consumo Externo (tU/a)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Exportações (tU/a)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Empregos diretos	600	600	1.760	1.760	1.760	2.190	2.190	2.190	2.190
Empregos indiretos	1.800	1.800	5.280	5.280	5.280	6.570	6.570	6.570	6.570

Fonte: (INB,2022B), (WNA,2021), (WNA,2022).

*O consumo é aproximadamente um terço da necessidade. O urânio enriquecido, utilizado nas centrais nucleares, corresponde a cerca de 10% da massa de urânio no concentrado.

Premissas para o cenário intermediário: Central Nuclear de Angra 3 concluída em 2026, quarta usina núcleo-elétrica concluída em 2035, unidades de Caetité e de Santa Quitéria operando com plena capacidade, prospecção de novas jazidas de urânio realizadas e monopólio do urânio flexibilizado.

Os dados de estimativas das projeções para o Brasil, até 2050, considerando um cenário de plenos consumo e investimentos, são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17. Estimativas das projeções do URÂNIO, até 2050, considerando um cenário otimista de plenos consumo e investimentos.

	2020	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Produção Brasileira (tU/a)	17,8	260	2.330	3.100	3.100	3.862	5.386	5.386	5.386
Investimentos no Brasil (US\$M)	DADOS NÃO PUDEAM SER OBTIDOS								
Produção Mundial (tU/a)	47.480	46.008	63.655	70.063	70.693	61.870	50.105	-	-
Necessidade Interna (tU/a)	455	455	757	757	1.060	1.060	1.664	1.664	1.664
Importações (tU/a)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Consumo Externo (tU/a)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Exportações (tU/a)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Empregos diretos	600	600	1.760	1.760	1.760	2.190	3.060	3.060	3.060
Empregos indiretos	1.800	1.800	5.280	5.280	5.280	6.570	9.180	9.180	9.180

Fonte: (INB,2022), (WNA,2021), (WNA,2022).

*O consumo é aproximadamente um terço da necessidade. O urânio enriquecido, utilizado nas centrais nucleares, corresponde a cerca de 10% da massa de urânio no concentrado.

Premissa para o cenário otimista: Usina de Angra 3 concluída em 2026, quarta usina núcleo-elétrica concluída em 2035 e mais duas usinas concluídas em 2042; unidades de Caetité e de Santa Quitéria operando com plena capacidade, prospecção de novas jazidas de urânio realizadas, uma nova mina de urânio operacional até 2040, e monopólio do urânio flexibilizado.

Com a entrada da usina nuclear de Angra 3, o Brasil passará a ter uma necessidade de 757 toneladas de urânio por ano. Isso corresponde a uma produção de aproximadamente 2.520 toneladas de concentrado de urânio por ano. Considerando que a unidade de Caetité - BA ampliada terá uma capacidade de produção de 800 toneladas de urânio por ano e a unidade de Santa Quitéria - CE terá uma capacidade de 2.300 toneladas de urânio, o Brasil terá uma capacidade de produção de 3.100 toneladas por ano, suficiente para atender as usinas de Angra 1, 2 e 3. Entretanto, o plano nacional de energia 2050 prevê a implantação

de 8 a 10 Gw de usinas nucleares no Brasil, incluindo Angra 3. Esta previsão vai demandar uma necessidade adicional de produção de concentrado de urânio de 6.100 a 7.620 toneladas. Considerando o tempo necessário para prospecção e implantação de novas unidades produtoras de concentrado de urânio, um enorme esforço terá que ser feito para não deixar o país dependente de importações de urânio. No cenário de plenos consumo e investimento, acima traçado, prevê-se um aumento da produção de concentrado de urânio de aproximadamente metade da previsão do plano nacional de energia 2050, com a implantação de mais três usinas nucleares além de Angra 3. A flexibilização do monopólio da exploração do urânio pode trazer novos atores para a implementação de outros projetos para produção de concentrado de urânio. Além disso, o país pode se tornar exportador ou importador de concentrado de urânio, dependendo da conjuntura do mercado internacional.

3.1.10.14. Usos e Aplicações do Urânio

A Tabela 18 apresenta a principal aplicação dos produtos da cadeia do urânio e seus percentuais relativos de uso.

Tabela 18. Aplicações e percentuais de uso dos produtos da Cadeia do Urânio.

Produto	Aplicação	Uso (%)
Concentrado de urânio “yellow cake”	Produção de combustível nuclear para centrais nucleares	100

Fonte: INB,(2022B)

Além das centrais nucleares, uma pequena parcela do concentrado de urânio também pode ser utilizada para atender o programa nuclear da Marinha do Brasil, que prevê a fabricação de submarinos nucleares, e a produção de radioisótopos, com a implantação do reator de multipropósitos em Iperó – SP, pela Comissão Nacional de Energia Nuclear.

3.1.10.15. Padrão Tecnológico da Cadeia produtiva do Urânio

As principais tecnologias utilizadas no Brasil na cadeia do urânio são apresentadas na Tabela 19, juntamente com as tecnologias benchmark internacionais. A Figura 8 apresenta um fluxograma simplificado da rota tecnológica predominante no Brasil para a cadeia do urânio e as principais rotas alternativas.

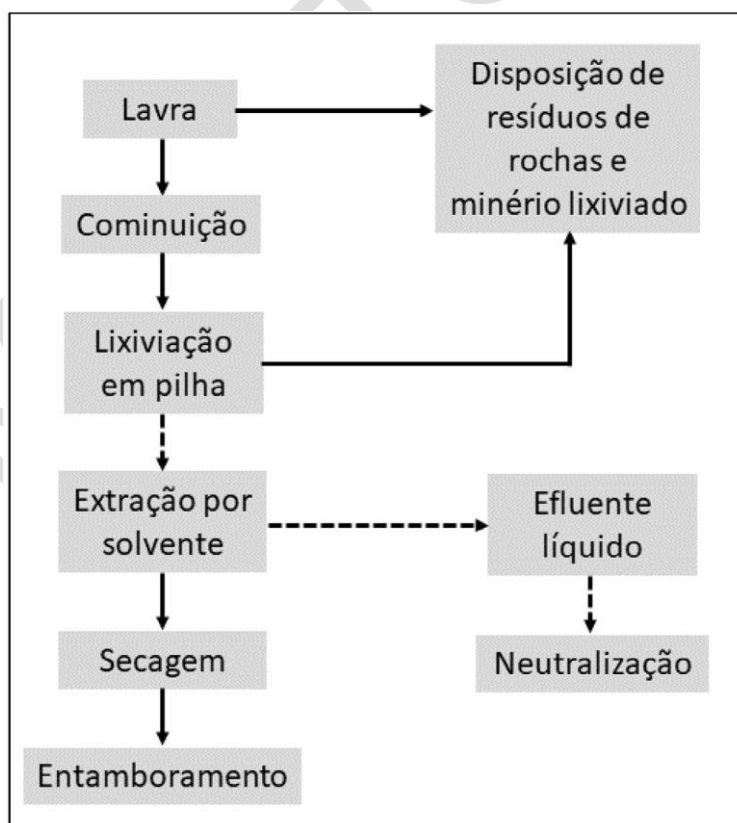
Tabela 19. Principais tecnologias utilizadas no Brasil na cadeia no URÂNIO, juntamente com as tecnologias benchmark internacionais.

Produto	Tecnologia Produtiva no Brasil	Tecnologia Ambiental no Brasil	Benchmark Tecnológico Produtivo	Benchmark Tecnológico Ambiental
Concentrado de urânio	Lixiviação em pilha*	Recomendações internacionais	Lixiviação in situ	Recomendações internacionais
Concentrado de urânio e fostato	Calcinação e lixiviação ácida		Não há	

Fonte: NEA-IAEA, (2021)

(*) Os depósitos de urânio da região de Lagoa Real (metassomáticos hospedados em granitos, pouco permeáveis e com porosidade controlada por fraturas) não são aptos para aplicação da metodologia de Lixiviação in situ, que é apropriada para depósitos hospedados em rochas com alta porosidade e permeabilidade (depósitos hospedados em rochas sedimentares, por exemplo, como os do Cazaquistão).

Figura 8. Fluxograma da rota tecnológica predominante no Brasil para produção do concentrado de urânio.



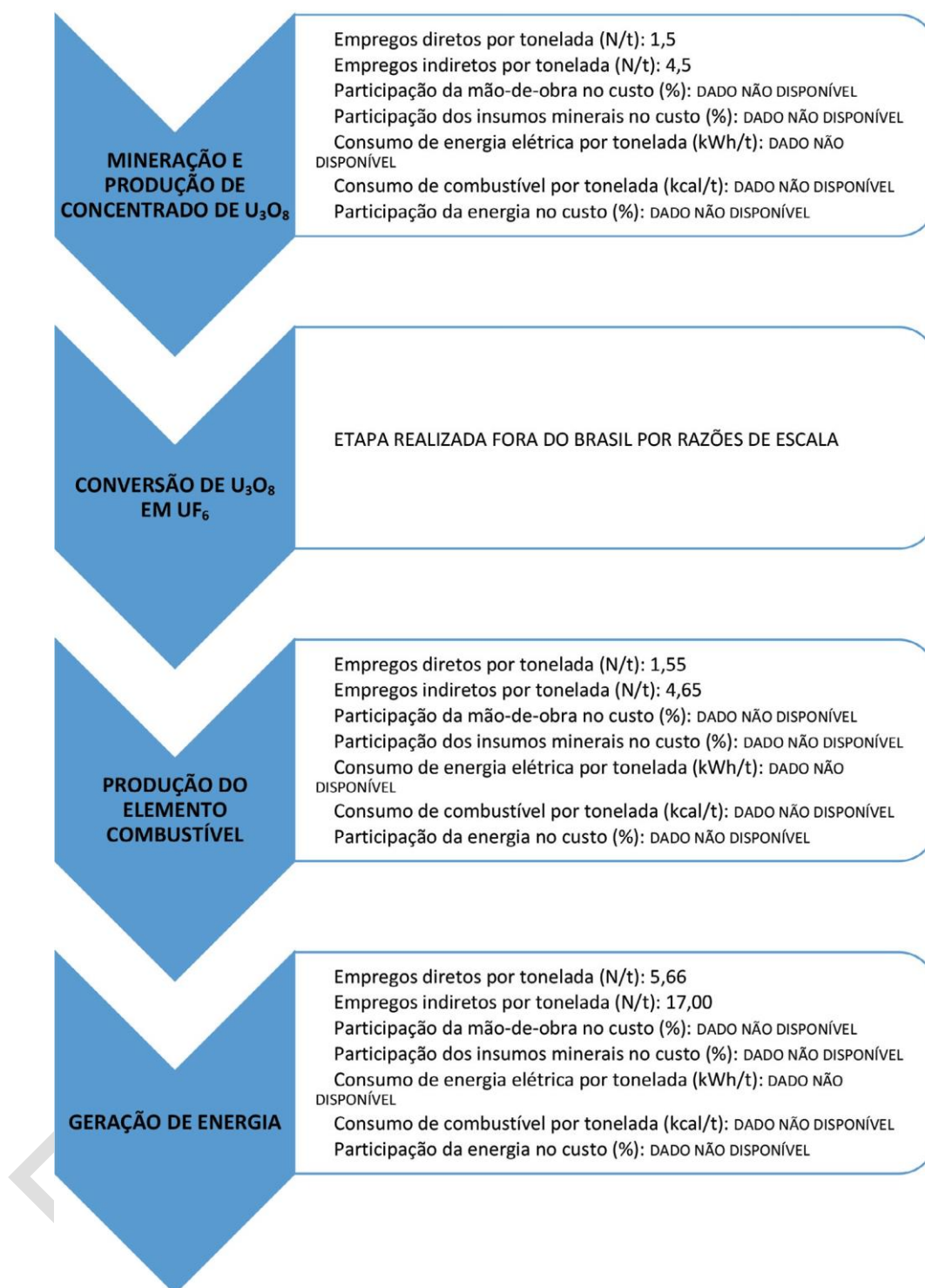
Fonte: Adaptado de COSTA E LIMA, (2006)

O processo de produção de concentrado de urânio utilizado no Brasil, no momento (lixiviação em pilha), também é muito utilizado no mundo. Para o novo empreendimento, a ser implantado em Santa Quitéria – CE, será utilizado um processo inovador no mundo (calcinação e posterior lixiviação ácida), com produção simultânea de produtos fosfatados para a agricultura e concentrado de urânio.

3.1.10.16. Análise Integrada da Cadeia Produtiva do Urânio

A Figura 9 apresenta um fluxograma simplificado da Cadeia do Urânio, especificando, para cada etapa, estimativas médias de geração de empregos/t (diretos e terceirizados permanentes), estimativa de sua participação (%) no custo de produção, estimativa de participação (%) dos insumos minerais no custo de produção, energia elétrica (kWh/t), combustível (kcal/t) e total (tep/t) e estimativa de participação (%) no custo de produção.

Figura 9. Fluxograma simplificado da cadeia do urânio.



Fonte: INB e ELETRONUCLEAR

Lista de referências:

Costa, F. L., Lima, H. M. - Plano conceitual de fechamento para a unidade de concentrado de urânio da INB em Caetité, Bahia. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 59(4):403-408, out. dez. 2006. <https://www.scielo.br/j/rem/a/MC3mHbxQtxdwhHcbJBxMYxR/?lang=pt>.

(INB, 2022A) INB – Indústrias Nucleares do Brasil, www.inb.gov.br.

(INB, 2022B) INB – Diretoria de Recursos Minerais.

(NEA, 2022) NEA – Nuclear Energy Agency. www.oecd-nea.org/jcms/odi_5007/home.

(NEA-IAEA, 2021) Uranium 2020 Resources, Production and Demand. https://oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2020-12/7555_uranium_-_resources_production_and_demand_2020__web.pdf.

(OEC, 2022) OEC – Observatory of Economic Complexity. www.oec.world/en/resources/about.

PARKER, D. J. - Life cycle analysis of greenhouse gas emissions from the mining and milling in Saskatchewan. Ph Thesis. 2015. 109 pages. University of Saskatchewan, Canada.

(Report 2017 for the Joint Convention, 2017) National Report of Brazil for the 6th Review Meeting, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. October 2017. www.iaea.org/default/files/national_report_of_brazil_for_the_6th_review_meeting_english.pdf.

(WNA, 2021) World Nuclear Association. The Nuclear Fuel Report. Global Scenarios for Demand and Supply Availability 2021-2040 <https://www.world-nuclear.org/our-association/publications/global-trends-reports/nuclear-fuel-report.aspx>

(WNA, 2022) World Nuclear Association. Supply of uranium. <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/supply-of-uranium.aspx>

(WTEX, 2022) World's Top Exports, www.worldstopexports.com/uranium_exports_by_country.

Oficina: Minerais para a Transição Energética
Proposta Inicial de Ações.

SGM/MME/PNM2050 – Teleconferência 03/06/2022



PLANO NACIONAL DE MINERAÇÃO 2050

PNM 2050

CADEIAS PRODUTIVAS 11: MANGANÊS**Caderno 3: Cadeias Produtivas dos Minerais
para a Transição Energética**

CADEIAS PRODUTIVAS 11: MANGANÊS	309
3.1. Caracterização das Cadeias Produtivas	310
3.1.11. Cadeia Produtiva do Manganês	310
3.1.11.1. Polos produtivos minero-industriais da Cadeia Produtiva do Manganês no Brasil.....	310
3.1.11.2. Parque produtivo de ligas de ferro-manganês no Brasil.....	315
3.1.11.3. Consumo Energético e Emissão de CO ₂ , no parque produtivo de ligas de ferro-manganês no Brasil.....	317
3.1.11.4. Utilização de Água, no parque produtivo de ligas de ferro-manganês no Brasil	318
3.1.11.5. Geração de Resíduos, no parque produtivo de ligas de ferro- manganês no Brasil.....	318
3.1.11.6. Produção Brasileira de Ferro-Ligas de Manganês	319
3.1.11.7. Consumo Brasileiro de Ferro-Ligas de Manganês	322
3.1.11.8. Importações de Ferro-Ligas, Bióxido e Monóxido de Manganês....	325
3.1.11.9. Exportações de Ferro-Ligas, Bióxido e Monóxido de Manganês....	328
3.1.11.10. Porte das Empresas de Ferro-Ligas de Manganês e Geração de Empregos	331
3.1.11.11. Porte dos Projetos de Ferro-Ligas de Manganês em Andamento e/ ou Previstos e Geração de Empregos.....	333
3.1.11.12. Ferro-Ligas de Manganês: Projeções até 2050, em 3 Cenários Hipotéticos	333
3.1.11.13. Usos e Aplicações do Manganês	337
3.1.11.14. Padrão Tecnológico da Cadeia do Manganês	338
3.1.11.15. Análise Integrada da Cadeia Produtiva do Manganês	339

3.1. Caracterização das Cadeias Produtivas

3.1.11. Cadeia Produtiva do Manganês

O manganês é um elemento com emprego muito diversificado e será aqui tratado primordialmente com respeito aos segmentos a jusante das atividades de lavra e beneficiamento. Em volume, a sua principal aplicação é na indústria siderúrgica, onde ele é utilizado como agente dessulfurante e desoxidante e como elemento de liga numa vasta gama de aços e ferros-fundidos. Nestes casos, na produção de ferro gusa ele é adicionado na forma de minério e, na produção de aço e ferros-fundidos, na forma de ferro-ligas. Estas ligas são denominadas ligas de alto carbono (FeMnAC), de baixo e médio carbono (FeMnMC/BC) e ligas complexas, de silício e manganês (FeSiMn). Na forma de bióxido de manganês (Natural - NMD, Químico - CMD, Eletrolítico - EMD) ele tem um papel de relevância crescente no campo da transição energética, como componente de baterias Li-Mn para carros elétricos e híbridos. Na forma de monóxido e sulfato tem, particularmente no Brasil, uma importância crescente como micronutriente agrícola e como componente de ração animal, enquanto na forma metálica é o componente de ligas não ferrosas, com destaque para ligas de alumínio.

3.1.11.1. Polos produtivos minero-industriais da Cadeia Produtiva do Manganês no Brasil

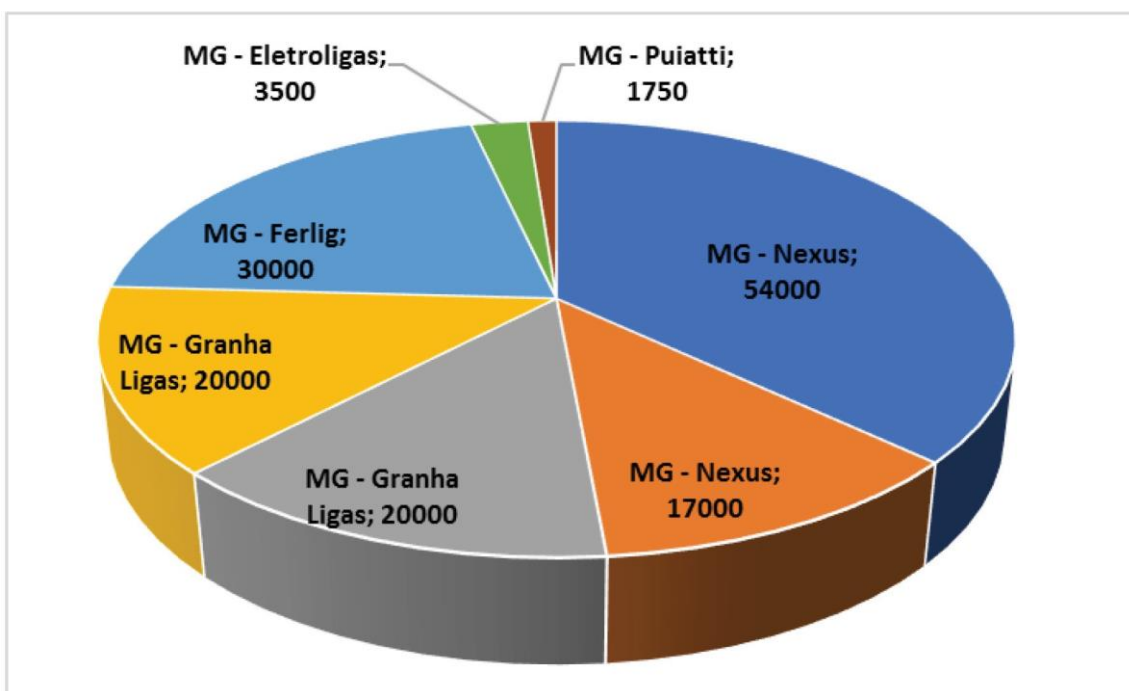
Os polos produtivos de ferroligas da cadeia produtiva de manganês no Brasil, em 2020, juntamente com nível de concentração da produção, percentual de participação de capital nacional/estrangeiro e nível ou padrão organizacional e gerencial do segmento, com distribuição por estado são apresentados na Tabela 1 e nas Figuras 1a e 1b.

Tabela 1. Polos produtivos de ferro-ligas da cadeia produtiva do Manganês no Brasil em 2020.

<i>Estado</i>	<i>Município</i>	<i>Empresa</i>	<i>Produtos</i>	<i>Produção</i> <i>(t)</i>	<i>Capital</i> <i>Nacional</i> <i>(%)</i>	<i>Percentual</i> <i>da Produ-</i> <i>ção</i> <i>Nacional</i>	<i>Nível</i> <i>Gerenci-</i> <i>al</i>
Minas Gerais	Barbacena	Nexus	FeMnAC, FeSiMn	54000	ND	18,1	SA CF
	Ouro Preto	Nexus	FeMnAC, FeSiMn	17000	ND	5,7	AS CF
	Lafaiete	Granha Ligas	FeMnAC, FeSiMn	20000	100%	6,7	Ltda
	S.J. Del Rei	Granha Ligas	FeMnAC, FeSiMn	20000	100%	6,7	Ltda
	Passatempo	Ferlig	FeMnAC, FeSiMn	30000	100%	10,1	Ltda
	S. Gotardo	Eletroligas	FeMnAC, FeSiMn	3500	100%	1,2	Ltda
	Barroso	Puiatti	FeMnAC, FeSiMn	1750	100%	0,6	Ltda
São Paulo	Itapeva	Maringá Ferro-Ligas	FeMnAC, FeSiMn	84000	100%	28,2	Ltda
Mato Grosso do Sul	Corumbá	Granha Ligas	FeSiMn	20000	100%	6,2	Ltda
Pará	Marabá	FerMar	FeMnAC, FeSiMn	48000	100%	16,1	Ltda
TOTAL				298250			

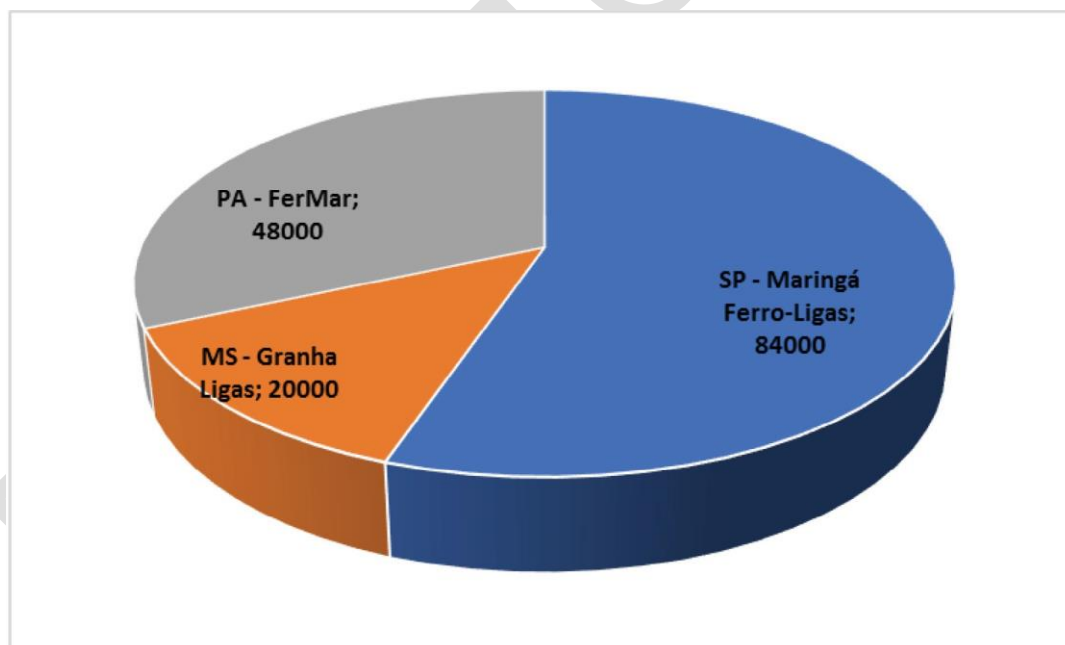
Fontes: MME Perfil das Ferro-Ligas Relatório 60; Abrafe, 2022.

Figura 1a. Empresas do polo produtivo de ferroligas de manganês em Minas Gerais e as respectivas produções, até 2020.



Fonte: MME Perfil das Ferro-Ligas Relatório 60 MME

Figura 1b. Empresas do polo produtivo de ferroligas de manganês em São Paulo, Mato Grosso do Sul e Pará e as respectivas produções, até 2020.



Fonte: MME Perfil das Ferro-Ligas Relatório 60 MME

A maior produção está em Minas Gerais, onde, além de empreendimentos maiores, há uma concentração de vários pequenos produtores de ligas de manganês. A existência destas unidades decorre da disseminação das ocorrências de minério

de manganês, que só são compatíveis com pequenos consumos, e da existência de pequenos aproveitamentos hidroelétricos, que remontam aos primórdios da eletrificação no Estado e que ficaram disponíveis com a consolidação da CEMIG. Esse binômio, associado à relativa simplicidade das instalações, alavancada pela vocação/tradição metalúrgica local, estimularam a multiplicação destes empreendimentos, alguns dos quais expandiram sua capacidade, e se tornaram empreendimentos de maior porte. Merece registro a unidade de Ouro Preto, que voltou a operar recentemente, mas está ainda com produção aquém de sua capacidade (55.000 t/a).

É interessante notar que nos estados do Pará e Mato Grosso do Sul, onde há grandes reservas de minério, há apenas uma usina em cada Estado. Completando o elenco, vem a planta da empresa Maringá Ferro-Ligas, em São Paulo, que teve duas outras unidades produtoras de ligas de manganês desativadas. Finalmente, há que se fazer menção à unidade da Bahia, em Simões Filho, que era a maior planta produtora de ligas de manganês do Brasil (200.000 t/a) e que, atualmente, está desativada.

Com respeito ao Bióxido, o Brasil produz, atualmente, o bióxido natural (NMD), pela Vale, e havia, em Itapecerica, MG, uma instalação produtora do bióxido eletrolítico (EMD), que está desativada, além de um empreendimento em Bacabal, MA, planejado para produzir o bióxido e o manganês metal, mas não chegou a operar.

A quase totalidade da produção de manganês usado como micronutriente agrícola e como componente de ração animal é feita pela Multitécnica, em Sete Lagoas, MG e Fermavi, em Varginha, MG.

O Brasil ocupou a 8ª posição no ranking mundial na produção de ligas ferro-manganês em 2021, conforme apresentado na Tabela 2 e nas Figuras 2a e 2b juntamente com os maiores produtores mundiais.

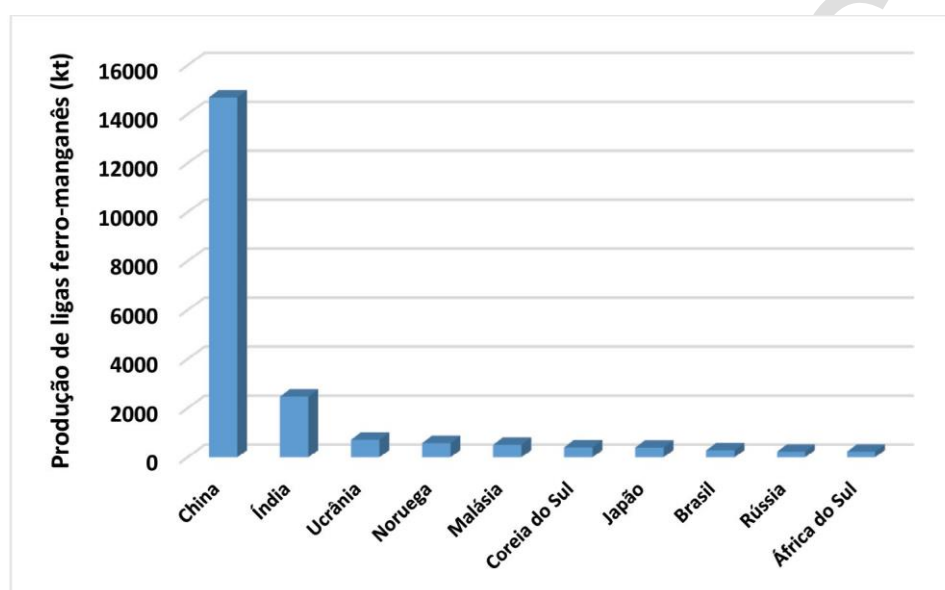


Tabela 2. Ranking dos principais produtores mundiais de ligas ferro-manganês, no ano de 2021.

Colocação/ País	Produção (kt)	Exportação (%)
China	14700	1
Índia	2480	65
Ucrânia	714	74
Noruega	580	99
Malásia	516	96
Coreia do Sul	411	0
Japão	402	0
Brasil	291	13
Rússia	238	
África do Sul	238	

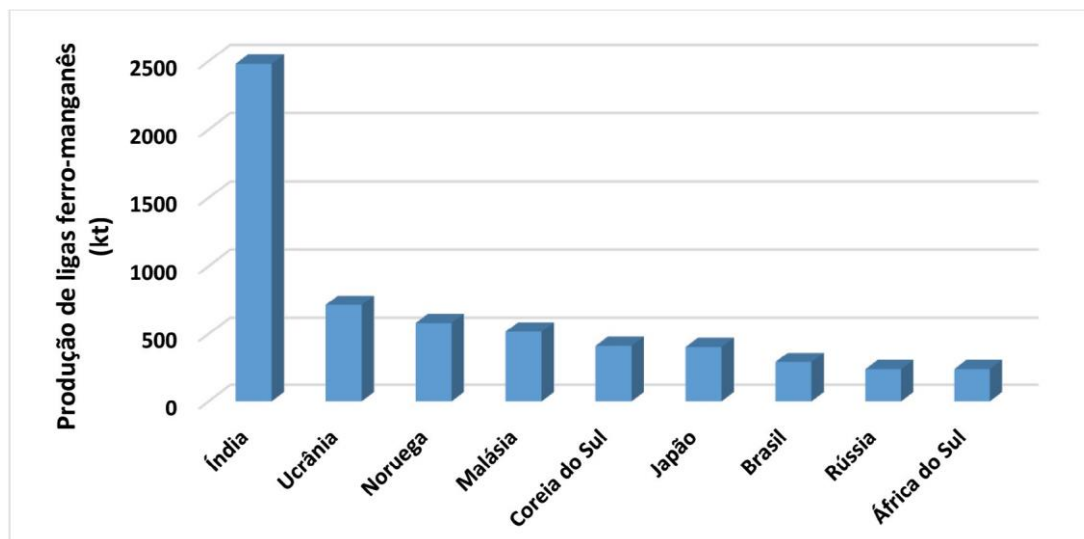
Fonte: World Steel Association, Penta Transaction.

Figura 2a. Principais produtores mundiais de ligas ferro-manganês, no ano de 2021.



Fonte: World Steel Association, Penta Transaction.

Figura 2b. Ranking dos principais produtores mundiais de ligas ferro-manganês, exceto a China, no ano de 2021.



Fontes: World Steel Association, Penta Transaction.

A China é, destacadamente, o maior produtor tanto de ferro-ligas de manganês, quanto do bióxido e do metal. Pode-se observar, ainda, que praticamente toda a produção de ligas é destinada ao consumo interno. Apesar de a maior parte da produção chinesa ser feita pela rota do forno elétrico de redução, uma boa parcela da liga de alto carbono (FeMnAC) é produzida em altos-fornos, fato que também ocorre na Rússia. De um modo geral, os grandes produtores com parcelas significativas destinadas ao mercado externo têm como principal vantagem competitiva a energia elétrica.

3.1.11.2 Parque produtivo de ligas de ferro-manganês no Brasil

O parque produtivo, incluindo número de empresas, localização e tipo das unidades de produção que integram a cadeia de sua produção minero-industrial, juntamente com a caracterização das integrações a montante e a jusante, bem como a logística associada às integrações existentes, é mostrado na Tabela 3.

Tabela 3. Caracterização do parque produtivo de ligas de ferro-mangânês no Brasil.

	Empresa	Local	Produtos	Operação Montante	Logística	Operação Juzante	Logística
Lavra / Beneficiamento	Nexus	MG	Min Mn			Nexus Barbacena, Ouro Preto	Rodovia
	Ferlig	MG	Min Mn			FERLIG Passatempo	Rodovia
	Ferlig	MT	Min Mn			FERLIG Passatempo	Rodovia
Extração	Nexus	MG	FeMnAC, FeSiMn	Mina própria, fornecedores externos	Rodovia	Mercado interno e externo	
	Nexus	MG	FeMnAC, FeSiMn	Mina própria, fornecedores externos	Rodovia	Mercado interno e externo	
	Granha Ligas	MG	FeMnAC, FeSiMn	Mina própria, fornecedores externos	Rodovia	Mercado interno e externo	
	Granha Ligas	MG	FeMnAC, FeSiMn	Mina própria, fornecedores externos	Rodovia	Mercado interno e externo	
	Ferlig	MG	FeMnAC, FeSiMn	Mina própria,	Rodovia	Mercado interno	
	Eletro ligas	MG	FeMnAC, FeSiMn	Mina própria,	Rodovia	Mercado interno	
	Puiatti	MG	FeMnAC, FeSiMn	Mina própria,	Rodovia	Mercado interno	
	Maringá Ferro-Ligas	SP	FeMnAC, FeSiMn	Mina fornecedores externos	Rodovia	Mercado interno	
	Granha Ligas	MS	FeSiMn	Fornecedor local	Rodovia Hidrovia	Mercado interno e externo	
	FerMar	MA	FeMnAC, FeSiMn	Fornecedores externos	Rodovia Ferrovia	Mercado interno e externo	

Fonte: ABRAFE, MME, Empresas citadas na tabela

Observe-se aqui que, de um modo geral, todas as usinas de ferro-ligas de Minas Gerais são abastecidas, parcial ou totalmente, por minas próprias. Isto é uma característica do Estado, pelo grande número de depósitos, de porte variável. Além disto, estes depósitos têm teores de mangânês, ganga e relações Mn/Fe variáveis, o que determina a necessidade de blendagens de acordo com as especificações das ligas produzidas, embora existam depósitos menores na

Bahia e Goiás que são utilizados em blendagens nas usinas de Minas Gerais. Em todos os casos, predomina o transporte rodoviário, tanto no de abastecimento de minério quanto na expedição do produto ferro-liga.

A título de retrospectiva, deve-se ressaltar as atividades da ICOMI, que no período 1957 a 1997, extraiu e beneficiou 65 milhões de toneladas de minério de manganês.

3.1.11.3. Consumo Energético e Emissão de CO₂, no parque produtivo de ligas de ferro-manganês no Brasil

A Tabela 4 apresenta, por Estado, o consumo energético e a emissão de CO₂, incluindo as principais fontes energéticas utilizadas, e as estimativas do percentual de auto suprimento de energia e do tratamento das emissões gasosas.

Tabela 4. Consumo energético e emissão de CO₂ na etapa de extração no parque produtivo de ligas de ferro-manganês no Brasil.

Empresa	Local	Consumo Energético por tonelada kWh/t	Fontes de Energia	Auto-Geração (%)	Emissão de CO ₂ tonelada por tonelada	Tratamento de gases (%)
Nexus	MG	3250	Hidroelétrica		2,74	Filtro de manga
Nexus	MG	3250	Hidroelétrica		2,74	Filtro de manga
Granha Ligas	MG	3250	Hidroelétrica		2,74	Filtro de manga
Granha Ligas	MG	3250	Hidroelétrica		2,74	Filtro de manga
Ferlig	MG	3250	Hidroelétrica		2,74	Filtro de manga
Eletroligas	MG	3250	Hidroelétrica		2,74	Não informado
Puiatti	MG	3250	Hidroelétrica	100%	2,74	Não informado
Maringá Ferro-Ligas	SP	3250	Hidroelétrica		2,74	Filtro de manga
Granha Ligas	MS	3710	Hidroelétrica		2,74	Filtro de manga
FerMar	MA	3250	Hidroelétrica		2,74	Filtro de manga
Média no Brasil		3250			2,74	

Fontes: EPA Metallurgical Industry e EC/IPPC Non Ferrous Metals Industries.

Tanto o consumo energético, quanto a emissão de CO₂, dependem das condições dos fornos, da qualidade do minério e da qualidade de redutor, sendo apresentado um valor médio, para todos os casos. Os valores foram calculados mediante simulação em modelo termoquímico, usando os dados disponíveis e

adotando dados de instalações similares e da literatura técnica. Sendo os fornos em operação do tipo aberto, todo gás emanado é queimado no topo da carga, não havendo aproveitamento do seu conteúdo energético. Admitiu-se, ainda, que as ligas alto carbono e sílico-manganês são produzidas na mesma proporção em todas as usinas, exceto no Mato Grosso do Sul, onde o minério local não se presta à produção da liga alto carbono.

3.1.11.4. Utilização de Água, no parque produtivo de ligas de ferro-manganês no Brasil

A Tabela 5 apresenta o consumo de água da produção de ferroligas por empresa e por Estado, incluindo o percentual de recirculação.

Tabela 5. Utilização de água no parque produtivo de ligas de ferro-manganês no Brasil.

Empresa	Local	Consumo de Água (m³/t)	Reutilização (%)
Nexus	MIG	5	80
Nexus	MIG	5	80
Granina Ligas	MIG	5	80
Granina Ligas	MIG	5	80
Ferlig	MIG	20	Circuito aberto
Eletroligas	MIG	20	Circuito aberto
Pulatti	MIG	20	Circuito aberto
Maringá Ferro-Ligas	SP	5	80
Granina Ligas	MS	5	80
Ferrial	MA	5	80

Fonte: Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals , December 2001

Basicamente, a água consumida se destina à refrigeração dos fornos e componentes e ao resfriamento da liga na área de corrida, não havendo contaminação de efluentes. Os consumos específicos adotados são os propostos pela Comissão Europeia. Nas usinas onde há circuito fechado, a fração não recirculada corresponde às perdas por evaporação.

3.1.11.5. Geração de Resíduos, no parque produtivo de ligas de ferro-manganês no Brasil

A geração de resíduos, bem como uma pré-qualificação do potencial de aproveitamento dos resíduos em outros segmentos ou em obras de infraestrutura juntamente com as práticas de prevenção ou mitigação de impactos ambientais, é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6. Geração de resíduos na etapa de extração no parque produtivo de ligas de ferro-manganês no Brasil.

Empresa	Local	Geração de Resíduos (kg/t _{produto})	Natureza e Classificação dos Resíduos	Potencial de Aproveitamento (setor e %)	Práticas de Mitigação de Impactos Ambientais
Nexus	MG	1444	Escória IIB	15% interno	Aterros Classe II
		71,4	Particulados IA IIB		Filtros de manga Aterros controlados
Nexus	MG	1444	Escória IIB	15% interno	Aterros Classe II
		71,4	Particulados IA IIB		Filtros de manga Aterros controlados
Granha Ligas	MG	1444	Escória IIB	15% interno	Aterros Classe II
		71,4	Particulados IA IIB		Filtros de manga Aterros controlados
Granha Ligas	MG	1444	Escória IIB	15% interno	Aterros Classe II
		71,4	Particulados IA IIB		Filtros de manga Aterros controlados
Ferlig	MG	1444	Escória IIB	15% interno	Aterros Classe II
		71,4	Particulados IA IIB		Filtros de manga Aterros controlados
Eletrólitas	MG	1444	Escória IIB		
		71,4	Particulados IA IIB		
Puiatti	MG	1444			
		71,4			
Maringá Ferro-Ligas	SP	1444	Escória IIB	15% interno	Aterros Classe II
		71,4	Particulados IA IIB		Filtros de manga Aterros controlados
Granha Ligas	MS	1724	Escória IIB		Aterros Classe II
		71,4	Particulados IA IIB		Filtros de manga Aterros controlados
FerMar	MA	1444	Escória IIB	15% interno	Aterros Classe II
		71,4	Particulados IA IIB		Filtros de manga Aterros controlados

Fonte: EPA, e Simulação em modelo pelo autor.

Os volumes de escória foram calculados em modelo termoquímico e para os particulados foram adotados os fatores de emissão da EPA. Com respeito à escória, considerou-se que a produção da liga alto carbono foi feita pelo processo de escória rica, que é totalmente recirculada na produção da liga sílico-manganês. A escória do ferro sílico-manganês, sendo um silicato inerte, é usada na pavimentação de vias internas, enquanto não houver aplicações mais nobres.

3.1.11.6. Produção Brasileira de Ferro-Ligas de Manganês

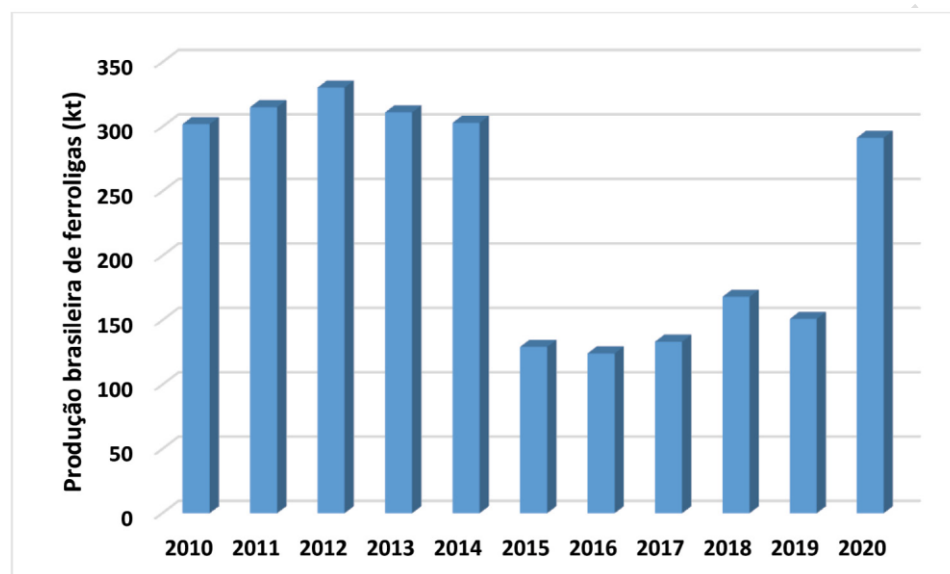
A produção brasileira de ferro-ligas de manganês de 2010 a 2020, é apresentada na Tabela 7 e no gráfico da Figura 3, com os totais consolidados para o país

Tabela 7. Produção brasileira de ferroligas de manganês, no período de 2010 a 2020.

	Produção (kt)										
Ano	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
TOTAL	302	315	330	311	303	129	124	133	168	151	291

Fontes: MME-Anuários Estatísticos de Setor Metalúrgico, Perfil das Ferro-ligas MME, (2021).

Figura 3. Produção brasileira de ferroligas de manganês, no período de 2010 a 2020.



Fontes: MME-Anuários Estatísticos de Setor Metalúrgico, Perfil da Ferro-ligas MME, (2021).

A produção de ligas de manganês sofreu uma queda drástica a partir de 2015, em parte pela crise energética e também pela desativação de unidades da Vale, que as havia assumido da antiga CPFL- Cia Paulista de Ferro Ligas. Já em 2020, observa-se uma retomada na produção, em decorrência da expansão de empreendimentos pequenos e de novas iniciativas próximas às grandes jazidas do Pará. Numa visão otimista, pode-se sugerir a possibilidade de reativações e novas implantações, tanto em Minas Gerais, quanto no Pará.

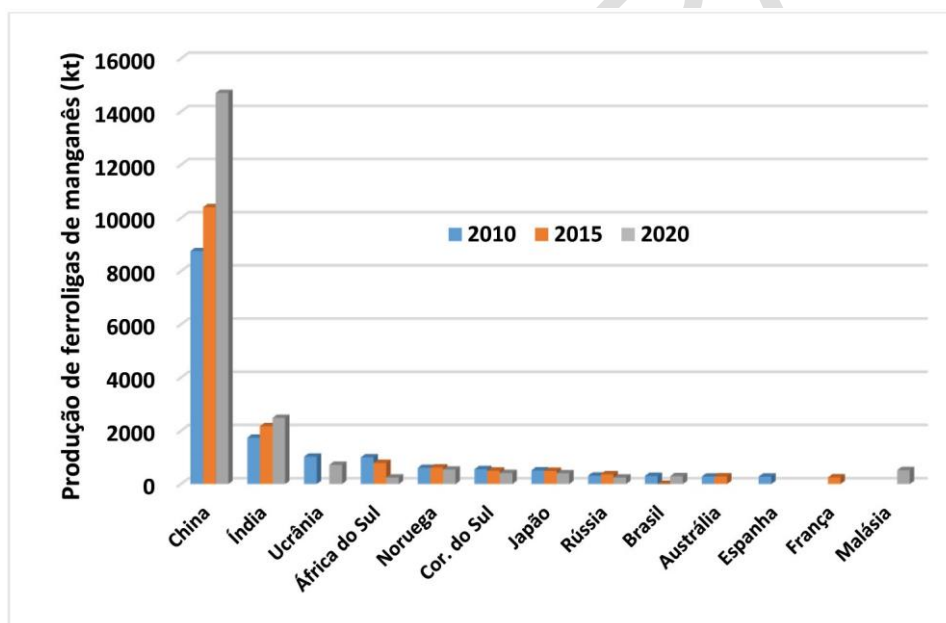
O Brasil ocupou em 2020 a 8ª posição no ranking mundial de produtores de ferroligas de manganês. A Tabela 8 e as Figuras 4a e 4b apresentam a evolução no ranking mundial, juntamente com os países com maiores produções no mundo.

Tabela 8. Ranking dos principais produtores mundiais de ferroligas de manganês.

Colocação País 2010	Produção (kt)	Colocação País 2015	Produção (kt)	Colocação País 2020	Produção (kt)
China	8750	China	10400	China	14700
Índia	1736	Índia	2168	Índia	2480
Ucrânia	1024	África do Sul	786	Ucrânia	714
África do Sul	1000	Noruega	619	Noruega	539
Noruega	604	Cor. Do Sul	500	Malásia	516
Cor. do Sul	551	Japão	488	Cor. Do Sul	411
Japão	506	Rússia	365	Japão	402
Rússia	310	Brasil	308	Brasil	291
Brasil	302	Austrália	284	Rússia	238
Austrália	276	França	244	Áfr. Do Sul	238
Espanha	272				

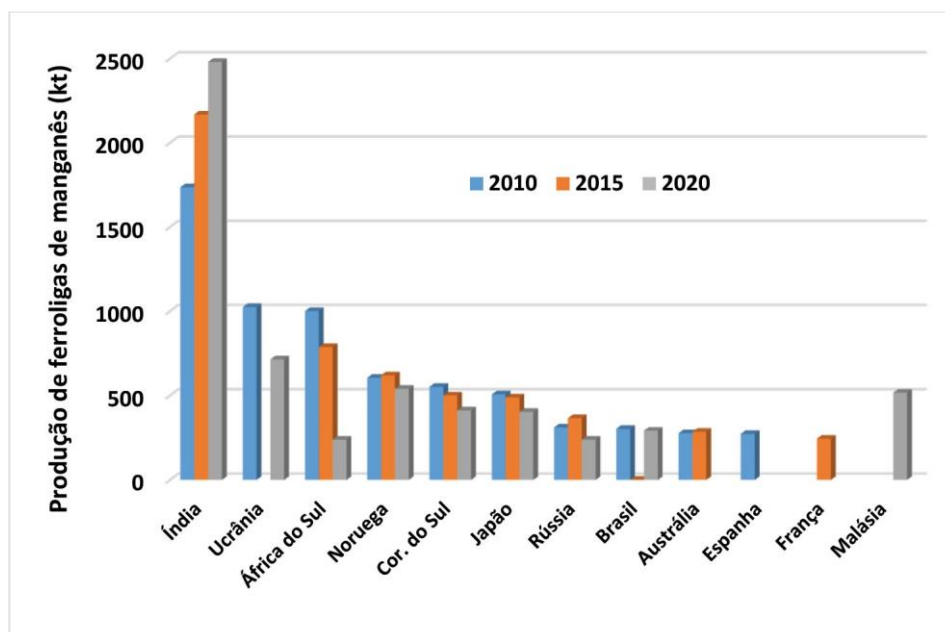
Fonte: USGS, (2022).

Figura 4a. Principais produtores mundiais de ferroligas de manganês.



Fonte: USGS, (2022).

Figura 4b. Principais produtores mundiais de ferroligas de manganês, exceto a China.



Fonte: USGS, (2022).

Diante do exposto, constata-se o acentuado crescimento da China e um crescimento moderado da Índia, enquanto a África do Sul apresentou uma queda importante na década considerada. Nos demais países a produção se manteve relativamente estável. É interessante observar a participação, até certo ponto modesta, de países detentores de grandes reservas de minério, em relação a outros sem jazidas relevantes, o que é determinado pela disponibilidade e pelo custo da energia elétrica. Observe-se que foi encontrada forte divergência entre o volume da produção brasileira de 2015, entre a informada pelo USGS (308 kt) e a apresentada nos Anuários do MME (129 kt). (MME, 2021; USGS, 2022)

3.1.11.7. Consumo Brasileiro de Ferro-Ligas de Manganês

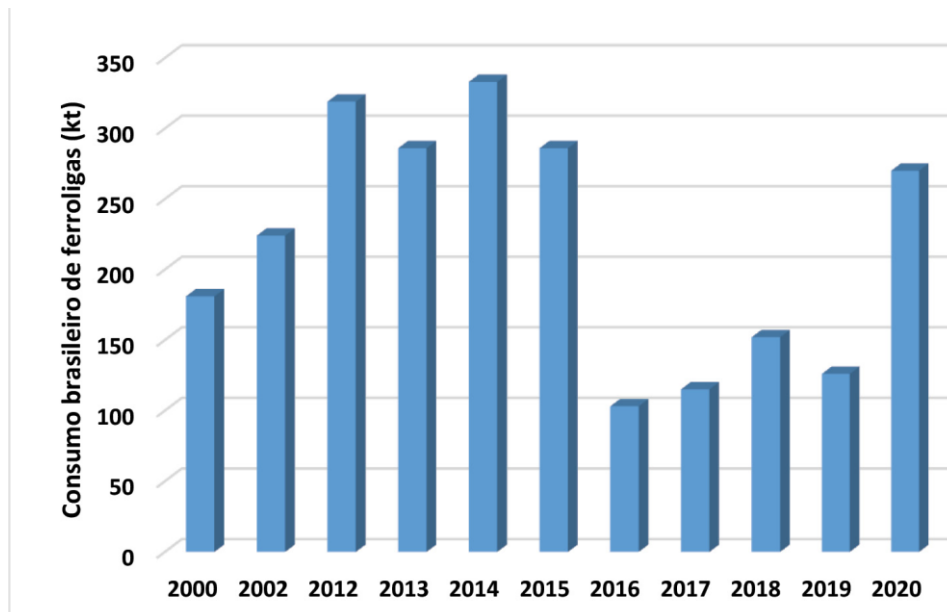
O consumo brasileiro de ferro-ligas de manganês entre 2000 e 2020, é apresentado na Tabela 9 e na Figura 5, com os totais consolidados para o país.

Tabela 9. Consumo brasileiro de ferroligas de manganês, de 2000 a 2020.

Ano	Consumo (kt)										
	2000	2002	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
TOTAL	181	224	319	286	333	286	103	115	152	126	270

Fonte: MME-Anuários Estatísticos de Setor Metalúrgico.

Figura 5. Consumo brasileiro de ferroligas de manganês, de 2000 a 2020.



Fonte: MME-Anuários Estatísticos de Setor Metalúrgico.

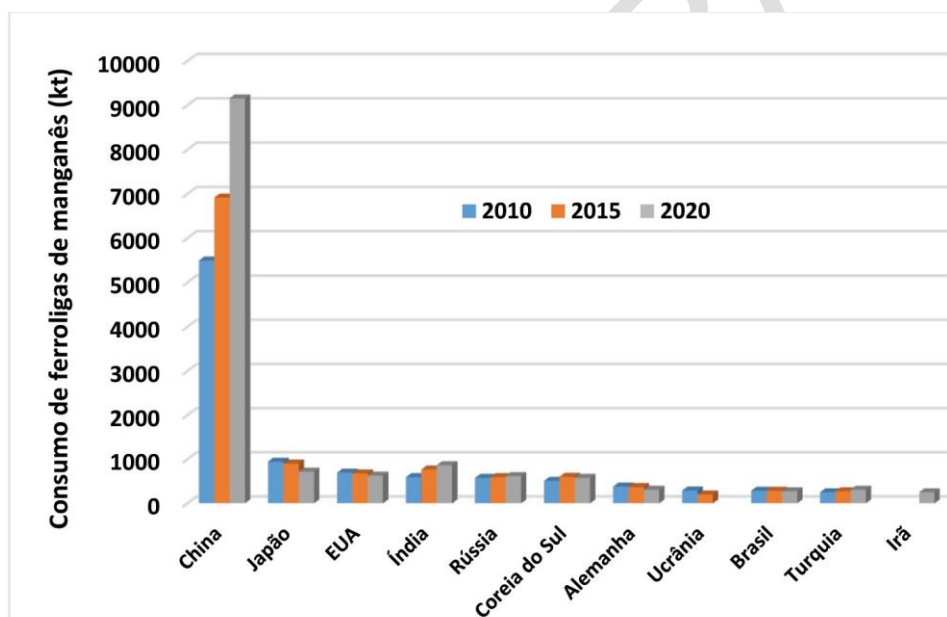
Naturalmente, o consumo de ferro-ligas está diretamente relacionado com a produção siderúrgica do País e, assim sendo, os números refletem o período de desempenho da siderurgia brasileira. Aparentemente, há uma retomada a partir de 2020, sinalizada pelos dados de 2021 e tendência de 2022, não constantes da tabela. Estes dados de consumo colocavam o Brasil, no ano de 2020, na 9ª posição no ranking mundial de consumidores de ferroligas de manganês. A Tabela 10 e as Figuras 6a e 6b apresentam a evolução no ranking mundial, juntamente com os 10 maiores consumidores no mundo.

Tabela 10. Ranking dos principais consumidores mundiais de ferroligas de manganês.

Colocação País 2010	Consumo (kt)	Colocação País 2015	Produção (kt)	Colocação País 2020	Produção (kt)
China	5.492,82	China	6.912,68	China	9.156,42
Japão	942,56	Japão	903,86	Índia	862,58
EUA	692,30	Índia	765,40	Japão	715,52
Índia	593,40	EUA	677,68	EUA	625,22
Rússia	575,34	Coreia do Sul	599,42	Rússia	615,76
Coreia do Sul	506,54	Rússia	590,82	Coreia do Sul	577,06
Alemanha	376,68	Alemanha	367,22	Turquia	307,88
Ucrânia	287,24	Brasil	286,38	Alemanha	307,02
Brasil	282,94	Turquia	270,90	Brasil	270,04
Turquia	250,26	Ucrânia	197,80	Irã	249,40

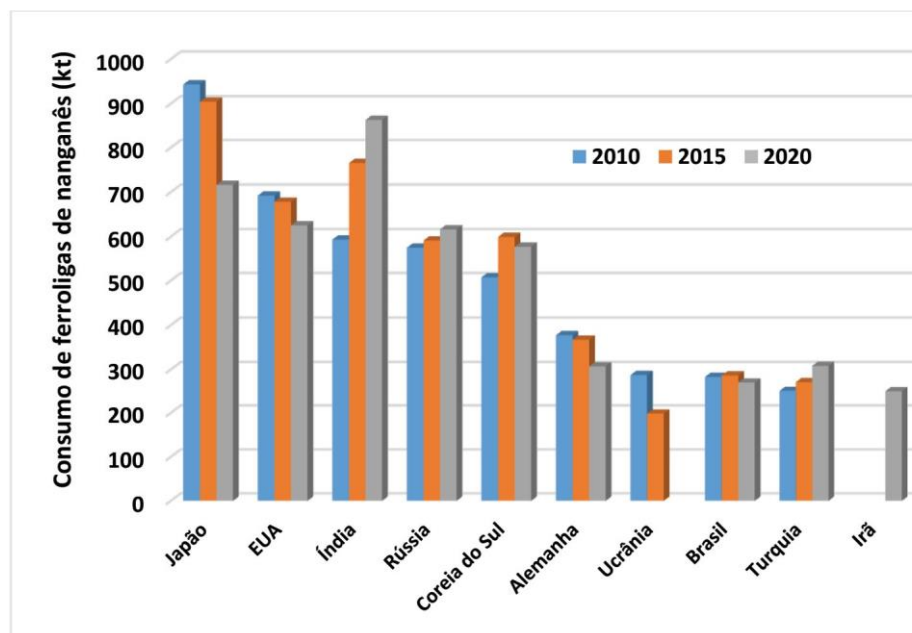
Fonte: World Bank, (2022).

Figura 6a. Principais consumidores mundiais de ferroligas de manganês.



Fonte: World Bank, (2022).

Figura 6b. Principais consumidores mundiais de ferroligas de manganês, exceto a China.



Fonte: World Bank, (2022).

Como em vários outros setores, o consumo de ferro-ligas de manganês reflete a liderança absoluta da China em termos de produção siderúrgica. Os demais produtores importantes de produtos siderúrgicos, bem abaixo da China, apresentam um cenário de estabilidade, com algumas oscilações. A exceção é a Índia, que tem registrado crescimento, o que a destaca neste segundo grupo.

3.1.11.8. Importações de Ferro-Ligas, Bióxido e Monóxido de Manganês

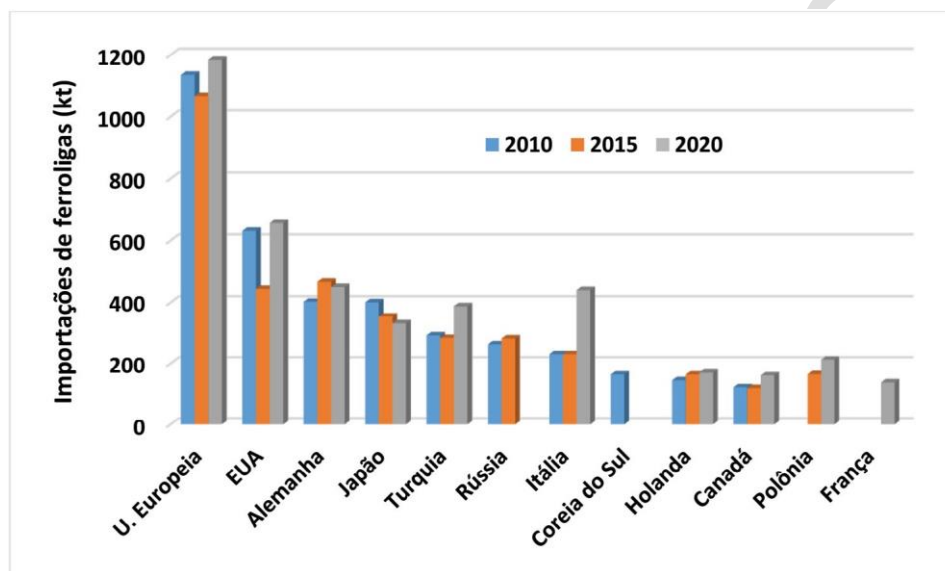
No contexto mundial, as importações de manganês do Brasil são pouco expressivas. A Tabela 11a e a Figura 7a apresentam o ranking mundial com os 10 países maiores importadores de ferro ligas de manganês, enquanto as tabelas 11b e 11c e as figuras 8b e 8c apresentam os volumes das importações do bióxido e monóxido de manganês, respectivamente.

Tabela 12a. Ranking dos principais importadores mundiais de ferroligas de manganês.

Colocação País 2010	Importações (kt)	Colocação País 2015	Importações (kt)	Colocação País 2021	Importações (kt)
U. Europeia	1135	U. Europeia	1067	U. Europeia	1183
EUA	631	Alemanha	466	EUA	656
Alemanha	402	EUA	443	Alemanha	449
Japão	400	Japão	353	Itália	439
Turquia	291	Turquia	263	Turquia	387
Rússia	262	Rússia	281	Japão	331
Itália	230	Itália	230	Polônia	212
Coreia do Sul	163	Polônia	164	Holanda	169
Holanda	144	Holanda	163	Canadá	160
Canadá	121	Canadá	118	França	137

Fonte: World Bank, (2022).

Figura 7a. Principais importadores mundiais de ferroligas de manganês.



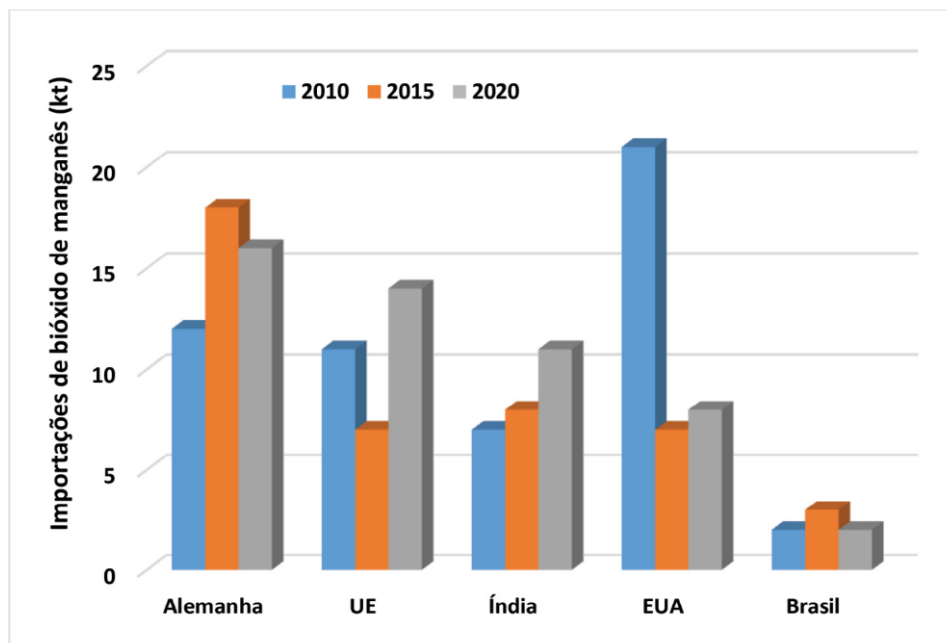
Fonte: World Bank, (2022).

Tabela 11b Ranking dos principais importadores mundiais de bióxido de manganês.

Colocação País 2010	Importações (kt)	Colocação País 2015	Importações (kt)	Colocação País 2021	Importações (kt)
Alemanha	12	Alemanha	18	Alemanha	16
UE	11	UE	7	UE	14
Índia	7	Índia	8	Índia	11
EUA	21	EUA	7	EUA	8
Brasil	2	Brasil	3	Brasil	2

Fonte: World Bank, (2022).

Figura 7b. Principais importadores mundiais de bióxido de manganês.



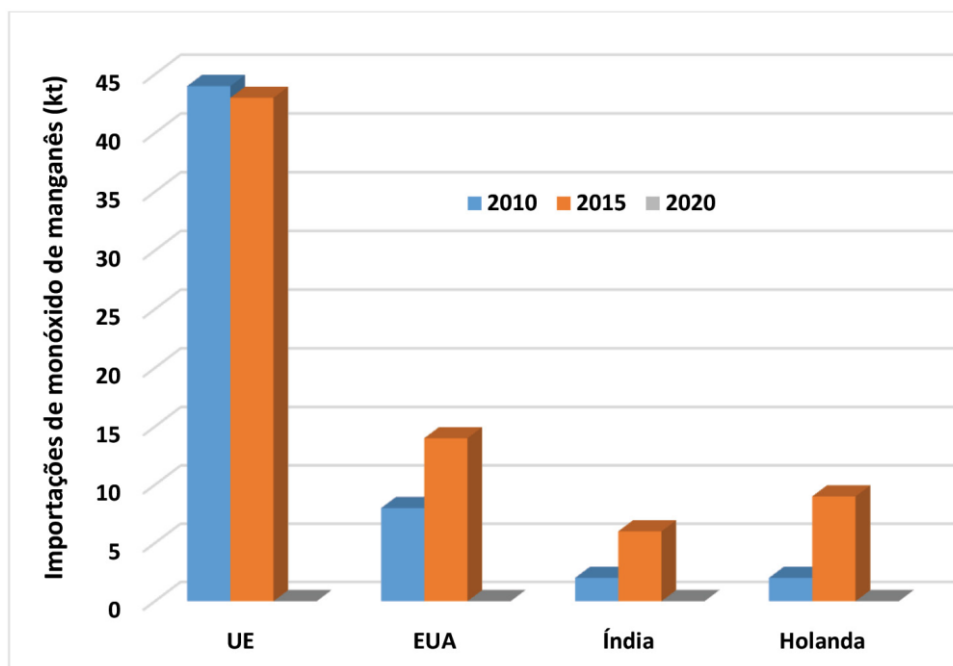
Fonte: World Bank, (2022).

Tabela 11c. Ranking dos principais importadores mundiais de monóxido de manganês.

Colocação País 2010	Importações (kt)	Colocação País 2015	Importações (kt)	Colocação País 2021	Importações (kt)
EU	44	UE	43	UE	44
EUA	8	EUA	14	EUA	24
Índia	2	Índia	6	Índia	18
Holanda	2	Holanda	9	Holanda	17

Fonte: World Bank, (2022).

Figura 7c. Principais importadores mundiais de monóxido de manganês.



Fonte: World Bank, (2022).

Os dados do comércio exterior do bióxido e monóxido de manganês foram apresentados separadamente, uma vez que a natureza e destinação destes é totalmente diversa das ferro-ligas. Observa-se, ainda, que os volumes envolvidos são bem menores que os das ligas, além de uma concentração das importações de ligas na Europa e Estados Unidos, que são regiões de alta demanda e baixa oferta. As importações do bióxido (EMD, CMD) estão relacionadas com o desenvolvimento de fontes alternativas de energia e de carros elétricos.

3.1.11.9. Exportações de Ferro-Ligas, Bióxido e Monóxido de Manganês

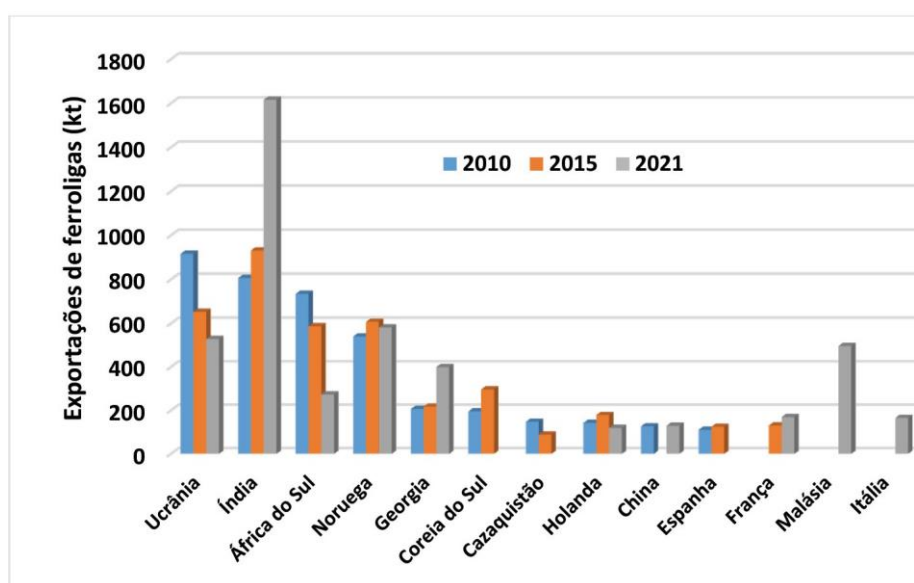
A Tabela 12a e a Figura 9a apresentam o ranking mundial com os 10 países maiores exportadores de ferro ligas de manganês, enquanto as tabelas 13b e 13c e as figuras 9b e 9c apresentam os volumes das exportações do bióxido e monóxido de manganês, respectivamente.

Tabela 12a. Ranking dos principais exportadores mundiais de ferroligas de manganês.

Colocação País 2010	Exportações (kt)	Colocação País 2015	Exportações (kt)	Colocação País 2021	Exportações (kt)
Ucrânia	916	Índia	931	Índia	1616
Índia	806	Ucrânia	652	Noruega	581
África do Sul	734	África do Sul	587	Ucrânia	528
Noruega	540	Noruega	607	Malásia	496
Geórgia	206	Coreia do Sul	296	Geórgia	399
Coreia do Sul	195	Geórgia	217	África do Sul	273
Cazaquistão	147	Holanda	178	França	169
Holanda	142	França	130	Itália	165
China	126	Espanha	124	China	129
Espanha	110	Cazaquistão	88	Holanda	119

Fonte: World Bank, (2022).

Figura 8a. Principais exportadores mundiais de ferroligas de manganês.



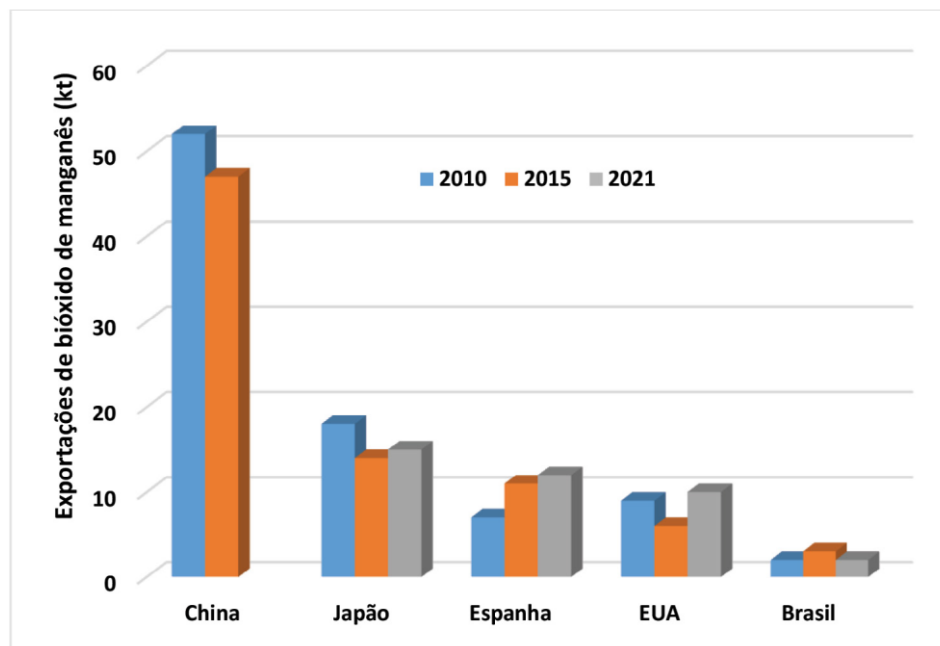
Fonte: World Bank, (2022).

Tabela 12b. Ranking dos principais exportadores mundiais de bióxido de manganês.

Colocação País 2010	Exportações (kt)	Colocação País 2015	Exportações (kt)	Colocação País 2021	Exportações (kt)
China	52	China	47	China	?
Japão	18	Japão	14	Japão	15
Espanha	7	Espanha	11	Espanha	12
EUA	9	EUA	6	EUA	10
Brasil	2	Brasil	3	Brasil	2

Fonte: World Bank, (2022).

Figura 8b. Principais exportadores mundiais de bióxido de manganês.

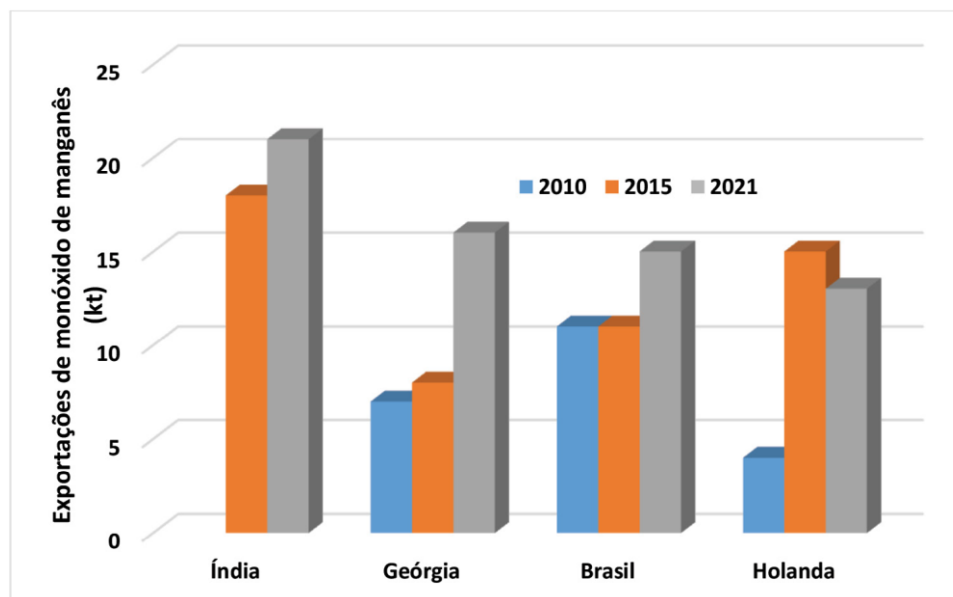


Fonte: World Bank, (2022).

Tabela 12c. Ranking dos principais exportadores mundiais de monóxido de manganês..

Colocação País 2010	Exportações (kt)	Colocação País 2015	Exportações (kt)	Colocação País 2021	Exportações (kt)
Índia	?	Índia	18	Índia	21
Geórgia	7	Geórgia	8	Geórgia	16
Brasil	11	Brasil	11	Brasil	15
Holanda	4	Holanda	15	Holanda	13

Fonte: World Bank, (2022).

Figura 8c. Principais exportadores mundiais de monóxido de manganês

Fonte: World Bank, (2022).

As exportações de bióxido de manganês são referentes ao bióxido natural (NMD). O Brasil desponta como um player de destaque no fornecimento internacional de monóxido, do qual ele é um produtor importante. As duas principais fabricantes são a Multitécnica e a Fermavi, em Minas Gerais.

3.1.11.10. Porte das Empresas de Ferro-Ligas de Manganês e Geração de Empregos

A Tabela 13 mostra um panorama das empresas produtoras de ferroligas de manganês no Brasil em 2020, conforme seu porte, em termos de produção, e os respectivos estados da federação onde estão suas operações e os números de empregos diretos e indiretos gerados.

Tabela 13. Panorama das empresas brasileiras produtoras de ferroligas de manganês, por porte de produção, em 2020.

Empresas de Médio Porte de Produção						
	Empresa	Produção kt	Produtos	Estado	Empregos diretos	Empregos indiretos
	Maringá	84,00	FeMnAC, FeSiMn	SP	800	4.000
	Granha Ligas	60,00	FeMnAC, FeSiMn	MG, MS	580	2.900
	FerMar	48,00	FeMnAC, FeSiMn	MA	460	2.300
	Nexus	71,00	FeMnAC, FeSiMn	MG	680	3.400
	FERLIG	30,00	FeMnAC, FeSiMn	MG	290	1.450
	Total	293,00		Brasil	2.810	14.050
Empresas de Pequeno Porte de Produção						
	Empresa	Produção	Produtos	Estado	Empregos diretos	Empregos indiretos
	Eletroligas	3,50	FeMnAC, FeSiMn	MG	35	160
	Puiatti	1,75	FeMnAC, FeSiMn	MG	30	150
	Total	5,25		Brasil	65	310
Total das Empresas por Porte de Produção						
	Porte	Produção	Produtos	Brasil	Empregos diretos	Empregos indiretos
	Médio	293,00	FeMnAC, FeSiMn	MG, SP, MS e MA	2.810	14.050
	Pequeno	5,25	FeMnAC, FeSiMn	MG	30	310
	Total	298,25		Brasil	2.840	14.360

Fonte: MME - Perfil das Ferro-Ligas Relatório 60.

Como as maiores empresas foram desativadas, atualmente só há as de médio porte. Dentre elas, a Maringá Ferro-Ligas já existia com este porte, a Nexus tem sua origem na reativação de duas usinas da Vale e a Granha e a Ferlig eram empresas de pequeno porte, que expandiram e tendem a crescer. As pequenas, são empresas típicas de uma configuração do passado recente, quando havia um grande número de unidades espalhadas pelo Estado de Minas Gerais. Muitas se beneficiavam da energia elétrica gerada por pequenas usinas hidroelétricas, o que compensava a escala reduzida, juntamente com a exploração de pequenas jazidas. Ressalte-se que a maior concentração de unidades em Minas Gerais decorre das atividades minerárias do Estado. Há que observar a pequena participação do Pará, apesar das suas reservas de minério de alto teor. Constata-se, também, a ausência da produção de bióxido de manganês, já que a única unidade produtora, a Eletromanganês, em Minas Gerais, foi desativada. No cálculo da mão de obra, foi adotado um índice médio para o setor (MME Perfil das Ferro-Ligas), assim como o efeito multiplicador, relativo à mão de obra indireta. Não foram considerados índices diferenciados por porte do empreendimento.

3.1.11.11. Porte dos Projetos de Ferro-Ligas de Manganês em Andamento e/ou Previstos e Geração de Empregos

Todas as empresas de médio porte consideram a possibilidade de expansões, mas não há registros oficiais. Há, também, perspectivas de reativação de grandes unidades como a da antiga Vale Manganês, na Bahia, e o religamento do forno de 24MVA da antiga Vale Ouro Preto, já com novo detentor do empreendimento. É razoável também prever a implantação de unidades produtoras de ligas de manganês de médio/grande porte no Pará e de pequeno/médio porte em Minas Gerais, embora não haja projetos divulgados. Adicionalmente, pode-se considerar a possibilidade da reativação da fábrica de bióxido de manganês (EMD) em Itapecerica (MG), em estudos ainda não divulgados.

3.1.11.12. Ferro-Ligas de Manganês: Projeções até 2050, em 3 Cenários Hipotéticos

As projeções até 2050, considerando um cenário conservador para o Brasil, são apresentadas na Tabela 14 e nas Figura 9a, 9b, 9c e 9d . Para um cenário intermediário, são apresentados na Tabela 15, e para um cenário otimista, na Tabela 16. Os dados mundiais consideram apenas um cenário, conforme estimativas de agências internacionais e projeção da taxa de crescimento segundo indicadores do Banco Mundial. As projeções brasileiras consideraram o comportamento previsível do PIB, assim como outros indicadores, segundo as diretrizes propostas no documento “Cenários Econômicos para o Setor Mineral Brasileiro”. Especificamente, para a projeção da produção das ferro-ligas de manganês, assim como as respectivas importações e exportações, levou-se em consideração as participações históricas e a avaliação das perspectivas de expansão do setor. Por sua vez, a projeção da produção mundial de bióxido de manganês foi anotada à parte, com base nas projeções da IEA (International Energy Agency). As projeções da produção do monóxido de manganês não foram consideradas por não serem relevantes para a transição energética. Ressalvada a importância crescente do bióxido de manganês na transição energética, pode-se observar a ampla predominância do uso do metal na forma de ferro-ligas.



Tabela 14. Projeções para ferro-ligas de manganês, até 2050, considerando um cenário conservador.

	2020	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Produção Brasileira (kt/a)	291,0	372,1	383,4	391,2	396,9	401,4	404,8	405,9	405,9
Produção Mundial (kt/a Ferro-ligas)	16168,0	17029,0	18069,8	19174,7	20347,1	21591,2	22911,4	24312,2	25798,8
Produção mundial (kt/a EMD, CMD, EMM)	49	59,5	87,8	129,6	191,3	282,3	416,7	614,9	907,5
Consumo Interno (kt/a)	270	330	340	347	352	356	359	360	360
Importações (kt/a)	29,0	70,9	73,0	74,5	75,6	76,5	77,1	77,3	77,3
Exportações (kt/a)	58,0	64,2	66,2	67,5	68,5	69,3	69,9	70,1	70,1
Empregos diretos	2619	3349	3450	3521	3572	3613	3643	3653	3653
Empregos indiretos	13095	16743	17251	17606	17860	18063	18215	18266	18266

Figura 9a. Projeções da produção brasileira de ferro-ligas de manganês até 2050, considerando um cenário conservador.

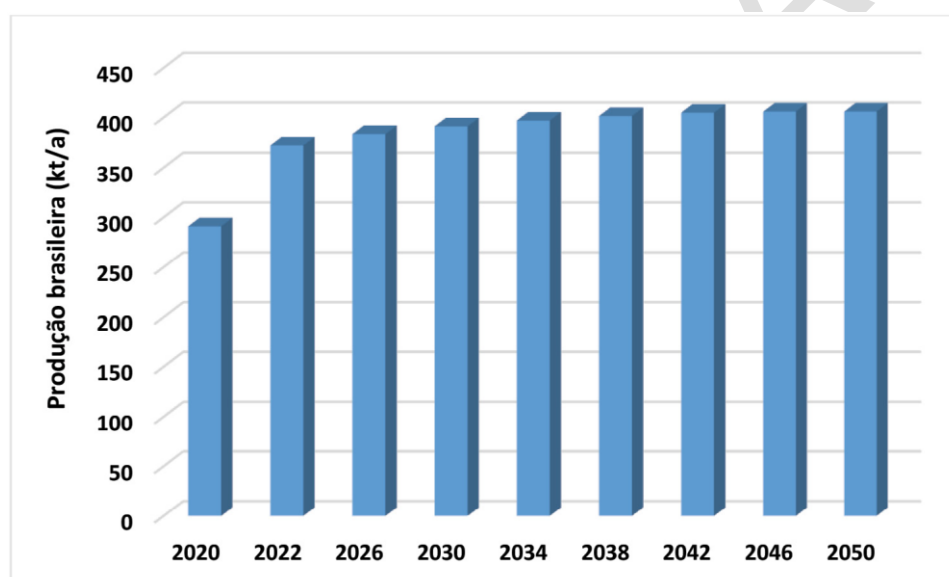


Figura 9b. Projeções da produção mundial de ferro-ligas de manganês até 2050, em um cenário conservador.

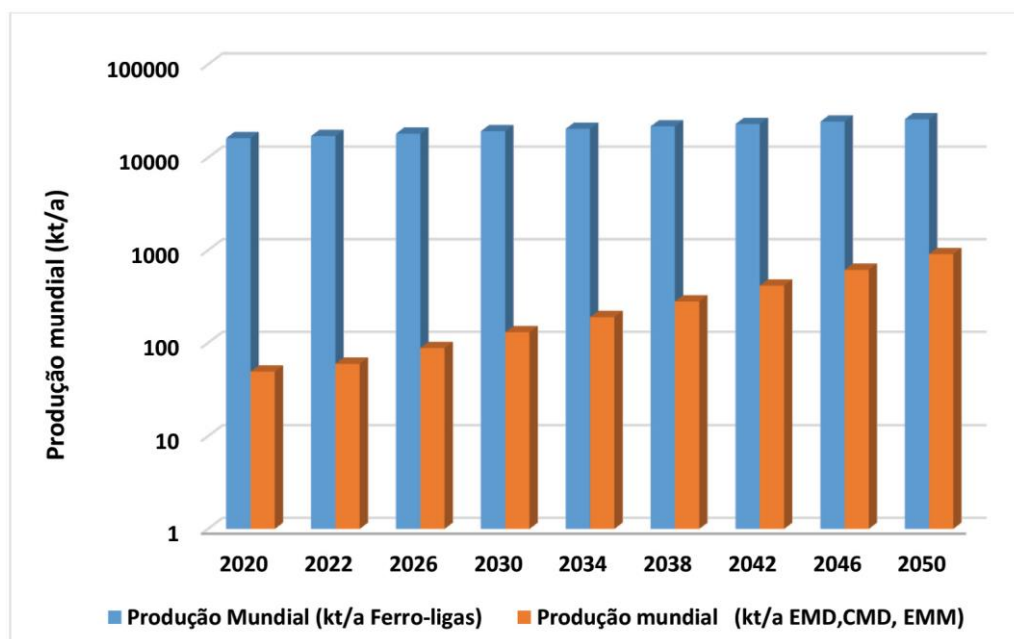


Figura 9c. Projeções do consumo interno, das importações e das exportações de ferro-ligas de manganês até 2050, em um cenário conservador.

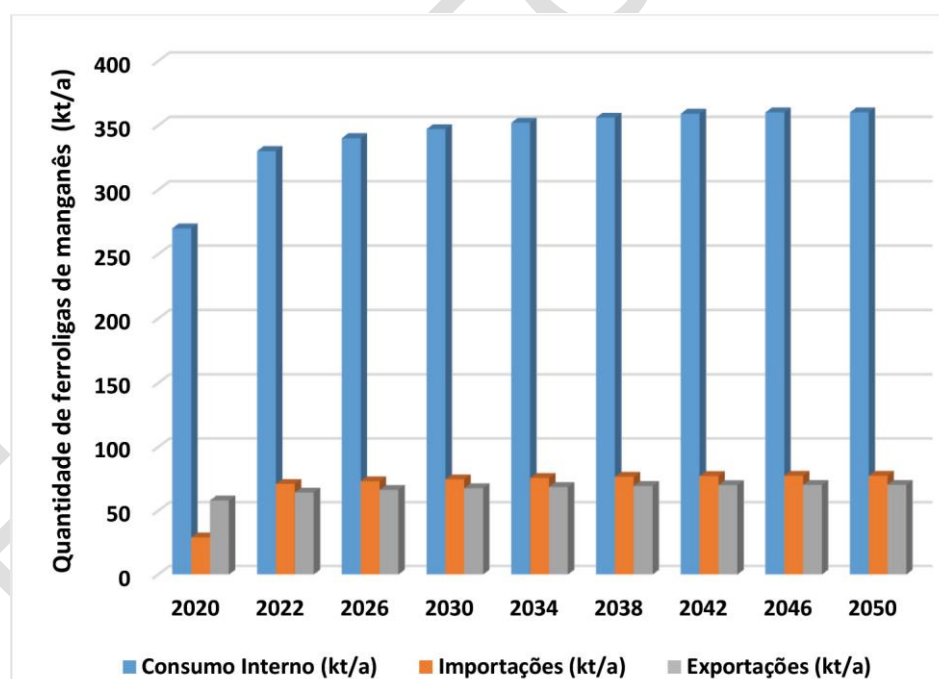


Figura 9d. Projeções da geração de empregos diretos e indiretos até 2050, em um cenário conservador.

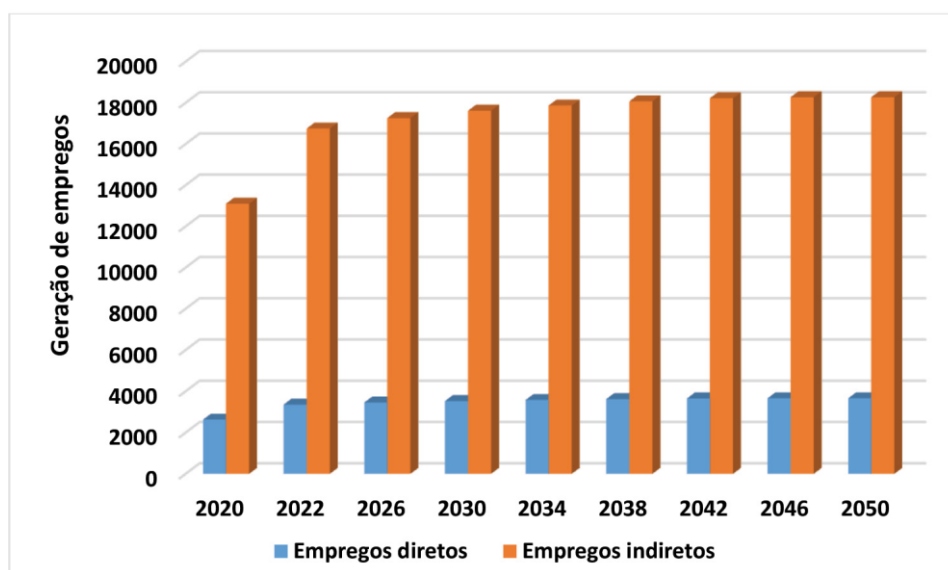


Tabela 15. Projeções para ferro-ligas de manganês, até 2050, considerando um cenário intermediário.

	2020	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Produção Brasileira (kt/a)	291,0	372,1	392,4	414,9	438,6	463,4	490,5	518,7	546,8
Produção Mundial (kt/a Ferro-ligas)	16168,0	17029,0	18069,8	19174,7	20347,1	21591,2	22911,4	24312,2	25798,8
Produção mundial (kt/a EMD,CMD,EMM)	49	59,5	87,8	129,6	191,3	282,3	416,7	614,9	907,5
Consumo Interno (kt/a)	270	330	348	368	389	411	435	460	485
Importações (kt/a)	29,0	70,9	74,7	79,0	83,6	88,3	93,4	98,8	104,2
Exportações (kt/a)	58,0	64,2	67,7	71,6	75,7	80,0	84,7	89,5	94,4
Empregos diretos	2619	3349	3531	3734	3947	4171	4414	4668	4922
Empregos indiretos	13095	16743	17657	18671	19737	20853	22071	23339	24608

Tabela 16. Projeções para ferro-ligas de manganês, até 2050, considerando um cenário otimista.

	2020	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050
Produção Brasileira (kt/a)	291,0	372,1	401,4	445,4	493,8	546,8	605,5	670,9	744,2
Produção Mundial (kt/a Ferro-ligas)	16168,0	17029,0	18069,8	19174,7	20347,1	21591,2	22911,4	24312,2	25798,8
Produção mundial (kt/a EMD,CMD,EMM)	49	59,5	87,8	129,6	191,3	282,3	416,7	614,9	907,5
Consumo Interno (kt/a)	270	330	356	395	438	485	537	595	660
Importações (kt/a)	29,0	70,9	76,5	84,8	94,1	104,2	115,3	127,8	141,8
Exportações (kt/a)	58,0	64,2	69,3	76,9	85,2	94,4	104,5	115,8	128,4
Empregos diretos	2619	3349	3613	4008	4445	4922	5449	6038	6697
Empregos indiretos	13095	16743	18063	20041	22223	24608	27246	30189	33487

3.1.11.13. Usos e Aplicações do Manganês

A Tabela 17 apresenta as principais aplicações dos produtos da cadeia do manganês e seus percentuais relativos de uso.

Tabela 17. Aplicações e percentuais de uso dos produtos da cadeia do manganês.

Produto	Aplicação	Uso (%)
Ferro Manganês Alto Carbono (FeMnAC)	Siderurgia e Fundição	25
Ferro Sílico Manganês (FeSiMn)	Siderurgia e Fundição	60
Ferro Manganês Médio/Baixo Carbono (FeMnMC/BC)	Siderurgia e Fundição	5
Bióxido de Manganês (EMD, CMD, NMD)	Produtos químicos, pilhas, baterias	10
Monóxido de Manganês	Micronutriente agrícola, componente de ração animal	
Manganês metálico	Ligas não ferrosas	

Fontes: Perfil das Ferro-Ligas – MME, Global Manganese Mining Market

As ferro-ligas de manganês são responsáveis por 90% do consumo, como já comentado anteriormente. Os 10% restantes estão distribuídos nas demais aplicações, mas deve-se ressaltar que a aplicação em baterias automotivas tende a se destacar, com o aumento da participação nos carros elétricos no mercado

automobilístico. Para efeito de simplificação, todos os produtos químicos à base de manganês estão incluídos nos óxidos.

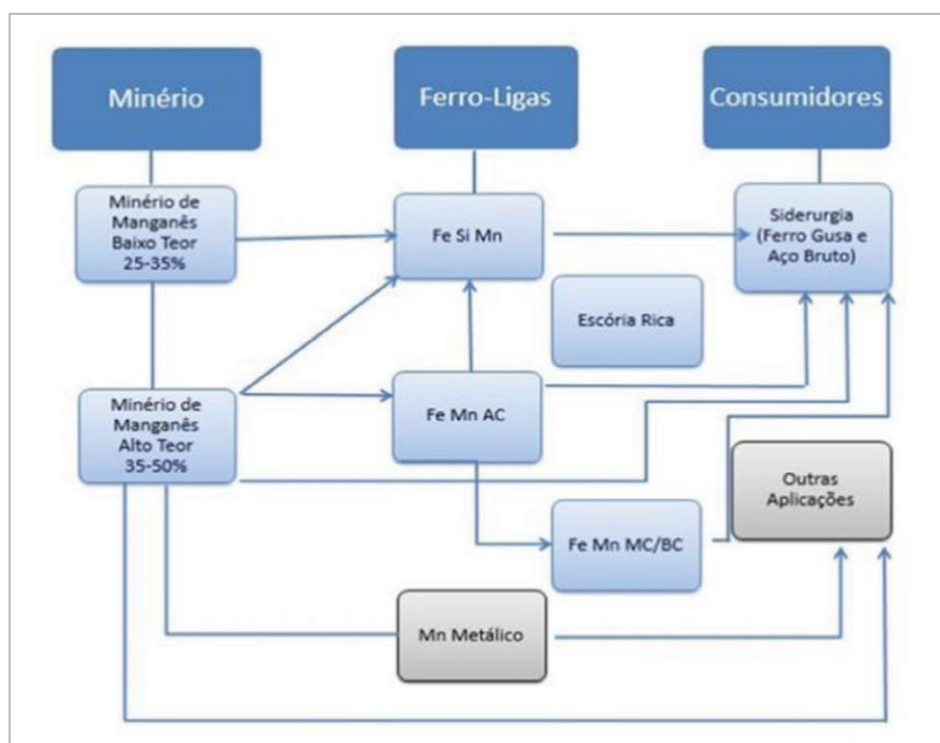
3.1.11.14. Padrão Tecnológico da Cadeia do Manganês

Na cadeia produtiva do manganês, as principais tecnologias utilizadas no Brasil são apresentadas na Tabela 18, juntamente com as tecnologias benchmark internacionais. A Figura 9 apresenta um fluxograma simplificado da rota tecnológica predominante no Brasil e as principais rotas alternativas.

Tabela 18. Principais tecnologias utilizadas no Brasil na cadeia produtiva do manganês, juntamente com as tecnologias benchmark internacionais. (EPA, European Commission)

Produto	Tecnologia Produtiva no Brasil	Tecnologia Ambiental no Brasil	Benchmark Tecnológico Produtivo	Benchmark Tecnológico Ambiental
FeMnAC	Forno elétrico de redução aberto	Filtro de manga	Forno elétrico de redução Semi fechado e fechado	Filtro de manga ou scrubber
FeSiMn	Forno elétrico de redução aberto	Filtro de Manga	Forno elétrico de redução Semi fechado e fechado	Filtro de manga ou scrubber
FeMnMC/BC	Não Produz			
EMD/CMD	Não Produz			
MnO	Redução parcial			
Mn metal	Não produz			

Figura 9. Fluxograma da rota tecnológica predominante no Brasil e das possíveis rotas alternativas, na cadeia do manganês.



Todas as instalações em produção no Brasil operam com fornos elétricos de redução abertos. Para registro, há duas unidades que contam com fornos fechados, mas estes estão desativados atualmente, e no passado havia um forno semifechado no Amapá, mas tal unidade já não existe. O Brasil já produziu ligas de médio carbono em Barbacena, MG (forno elétrico a arco) e Simões Filho, BA (convertedor), mas estas instalações estão desativadas. O sistema clássico de captação de poeiras para fornos abertos, é o filtro de mangas, o empregado nas usinas brasileiras. Os fornos fechados, caso voltem a ser operados, usam lavadores (scrubber úmido).

3.1.11.15. Análise Integrada da Cadeia Produtiva do Manganês

A Figura 10 apresenta um fluxograma simplificado da cadeia do manganês, especificando, para cada etapa, quando disponíveis, estimativas médias de geração de empregos/t (diretos e terceirizados permanentes), estimativa de sua participação (%) no custo de produção, estimativa de participação (%) dos insumos minerais no custo de produção, energia elétrica (kWh/t), combustível (kcal/t) e total (tep /t) e estimativa de participação (%) no custo de produção.

Figura 10. Fluxograma simplificado da cadeia do manganês.



Lista de referências

ABRAFE – Associação Brasileira dos Produtores de Ferro-ligas e Silício Metálico
Anuário Estatístico, 2021 - Setor Metalúrgico – MME- Perfil das Ferro-Ligas -
Relatório 60 MME.

BISWAL, A. et alii - Cheminform Abstract: Electrolytic Manganese Dioxide (EMD):
A Perspective on Worldwide Production, Reserves and Its Role in Electrochemistry
- RSC Advances 2015 5(72)

COMEX STAT

<https://www.gov.br> – acesso em 14 de junho de 2022

EC/IPPC- European Commission / Integrated Pollution Prevention and Control-
Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals.
December, 2001

EPA – Environmental Protection Agency - Metallurgical Industry <https://www.epa.gov>
– acesso em 14 de junho de 2022

WORLD STEEL, 2022

<https://www.worldsteel.org>

Krüger, P. v. - cálculos próprios

Penta Transactions

<https://www.penta-transaction.com> – acesso em 14 de junho 2022

USGS, 2022

World Bank, 2022

World Steel Association (WSA), 2022

PLANO NACIONAL DE MINERAÇÃO 2050

PNM 2050

ANÁLISE CONSOLIDADA DAS CADEIAS PRODUTIVAS**CADERNO 3: Cadeias Produtivas dos
Minerais para a Transição Energética**

ANÁLISE CONSOLIDADA DAS CADEIAS PRODUTIVAS.....	342
3.2. Análise Consolidada das Cadeias Produtivas	343
3.2.1. Melhoria das condições de competitividade das cadeias de transformação mineral	343
3.2.2. Capacidades tecno-produtivas locais/regionais	345
3.2.3. Integração competitiva aos fluxos internacionais de comércio, de investimentos e de transferência de tecnologias.....	346
3.2.4. Desenvolvimento de mercados.....	347
2.3.5. Demanda de investimentos e mecanismos de captação de recursos financeiros	349
2.3.6. Demanda de recursos humanos e intensificação de treinamento e capacitação	349
2.3.7. Desenvolvimento tecnológico e perspectivas de investimentos em inovação tecnológica	351
2.3.8. Aspectos regulatórios.....	351
2.3.9. Infraestrutura e logística de transporte.....	352
2.2.10. Sustentabilidade, economia circular e eficiência energética	353

3.2. Análise Consolidada das Cadeias Produtivas

Apresentamos uma breve consolidação das análises das cadeias produtivas dos minerais/materiais para a transição energética, contendo os diagnósticos de cada demanda, seguidos das proposições de medidas de estímulo, para alcançar os objetivos do PNM 2050. Os objetivos gerais estão, necessariamente, interligados, decorrendo daí diagnósticos e proposições similares.

3.2.1. Melhoria das condições de competitividade das cadeias de transformação mineral

Diagnóstico consolidado:

- Os segmentos das cadeias da transformação mineral da transição energética evidenciam elevado grau de concentração em pequeno número de empresas.
- As cadeias de produção minero-industrial lidam com o deslocamento de grandes volumes a grandes distâncias, cabendo ressaltar que a busca de eficiência na produção de insumos básicos repercute benefícios ao longo de todas as demais etapas das cadeias industriais. Devido à magnitude e ao potencial de expansão de sua indústria mineral, o Brasil necessita de um sistema de logística de transporte de acurada eficácia. Destacam-se ainda deficiências na infraestrutura de fornecimento de energia.
- Encadeamento descontinuado a partir das etapas de concentração, devido ao baixo estímulo a investimentos em verticalização minero-industrial e às limitações tecnológicas. Disto resulta uma baixa agregação de valor e deficiente geração de empregos, além de outras nefastas consequências socioambientais. O Brasil carece de empresas operando nas etapas de produção de metais, ligas metálicas e outros produtos aplicáveis às necessidades da indústria de bens, adequados à transição energética. A maioria dos empreendimentos focados nas etapas dos produtos acabados e/ou semi-acabados são incipientes e, em alguns casos, limitam-se a projetos de escala laboratorial ou de empreendimentos de pequeno porte, ainda não competitivos comercialmente.

Ações estruturantes propostas:

1. Estimular e apoiar a criação de Institutos privados, custeados por consórcio de empresas, mas não de sua propriedade, para promover o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis visando ao desenvolvimento de produtos de alto valor agregado, p. ex., metais e ligas metálicas de alto desempenho mecânico e termodinâmico, ligas leves para o setor aeroespacial, super ímãs, vidros e cerâmicas para aplicações optoeletrônicas, etc.
2. Estimular adicionalmente - mediante dispositivos já existentes (ex: Lei do Bem) - que os atuais institutos e redes integradas dedicadas às atividades de P,D&I na indústria mineral se articulem mais diretamente com empresas e investidores do setor mineiro-industrial, visando superar os entraves tecnológicos que impeçam o aproveitamento dos recursos minerais do país, em bases sustentáveis e competitivas. Tais institutos e redes de P,D&I deverão ser orientados a constituir unidades regionais articuladas com os stakeholders locais.
3. Estruturar e lançar plano de infraestrutura logística e de energia de longo prazo para atender às demandas, permitindo às empresas um planejamento integrado dos investimentos em mineração e transformação competitiva e sustentável. Tal plano deverá se basear em levantamentos detalhados de necessidades logísticas e de energia que tornem as operações competitivas em nível internacional. Além da edificação de novas infraestruturas, é necessário dispor de sistemas de gestão logística e de energia de maior eficácia, que busquem maximizar capacidades de carga e minimizar custos, mediante a integração de modais. Especial atenção deve ser dada a implementar mais intensa utilização da navegação fluvial e de cabotagem, além da criação de EADI's (Estações Aduaneiras do Interior) em polos produtivos específicos.
4. Desenvolver novas aplicações e aperfeiçoar as existentes mediante o fomento de atividades de pesquisa e desenvolvimento, tanto internamente às empresas produtoras, quanto em instituições de P&D, privadas ou estatais. Demandar às agências de fomento à pesquisa ações de incentivo ao “desenvolvimento das tecnologias dos produtos da cadeia dos materiais estratégicos para a transição energética”.

5. Estimular o desenvolvimento de polos regionais de exploração e produção de materiais e componentes de alto valor agregado, possivelmente através da criação de zonas francas para produtos específicos, ainda que em caráter temporário.
6. Promover medidas de incentivo revisando aspectos legais, regulatórios, ambientais, sociais e de governança, no sentido de criar ambiente favorável a investimentos e ao comércio.
7. Estimular que empresas de polos produtores selecionados implementem medidas de eficiência energética, visando a redução de consumo de energia por tonelada produzida, bem como a buscar suprimento energético (próprio ou de terceiros) de fontes renováveis.
8. Desenvolver mercados de baterias para eletroeletrônicos, carros elétricos, metais e ligas especiais, componentes de máquinas térmicas de alto desempenho termodinâmico, vidros e cerâmicas para a indústria optoeletrônica, etc., por exemplo, através de ações do Ministério de Relações Exteriores, junto aos países centrais de produção de dispositivos avançados, em um primeiro momento.
9. Estimular a promoção de eventos técnico-científicos focados no tema “Materiais para a Transição Energética”. Inicialmente, sugere-se uma linha de financiamento especial, para promover a participação de convidados internacionais – pesquisadores e empresas – em seções no tema em todos os eventos da área mineral, metalúrgica e de materiais do país, como Exposibram, ENTMME, Congressos da ABM, ABPol e CBECiMat

3.2.2. Capacidades tecno-produtivas locais/regionais

Diagnóstico consolidado:

- Na maioria dos casos, a produção limita-se ao beneficiamento e concentração dos minerais da cadeia. Em casos como o do alumínio, cobre, manganês e nióbio deparamo-nos com uma cadeia integrada chegando à produção de bens manufaturados: produtos de alumínio, de cobre, ferro ligas para a produção de aços e lingotes de nióbio de alta pureza. Para o urânio a situação é muito específica por tratar-se de material produzido por uma empresa estatal para atender à

demanda nacional. Neste caso, o Brasil detém todo o conhecimento tecnológico para a produção e concentração dos óxidos utilizados como combustível nuclear. As especificidades da indústria nuclear são notórias e decorrem da condição especial do elemento para a produção de energia, estando sujeito a regulamentação internacional, conforme especificado no estudo da Cadeia Produtiva do Urânio.

- Para os demais elementos ficou evidente, pelos estudos das Cadeias de Materiais para a Transição Energética, que o Brasil não agrega valor com atividades a jusante das operações de beneficiamento e concentração. Os concentrados são comercializados como tal no mercado internacional de minerais.

Ações estruturantes propostas:

10. Divulgar dados das tecnologias adotadas na cadeia produtiva dos minerais/materiais estratégicos, instituindo, por exemplo, uma plataforma interministerial com os melhores dados disponíveis de processos, produtos e empresas nacionais e de outros países, relacionados a materiais estratégicos, com alimentação em tempo real.
11. Diferenciar, para fins de adequação e desenvolvimentos tecnológicos específicos, os produtos oriundos dos minerais estratégicos para diferentes setores.
12. Constituir uma relação das províncias e distritos geomineiros do Brasil, classificados por regiões do país e por cadeias produtivas minero-industriais, para subsidiar o estímulo à implantação e o desenvolvimento de polos regionais de exploração e produção e seus produtos de alto valor agregado. Ações em curso no SGB deverão facilitar a elaboração de tal relação.

3.2.3. Integração competitiva aos fluxos internacionais de comércio, de investimentos e de transferência de tecnologias

Diagnóstico consolidado:

- Divulgação insuficiente de dados de importação e exportação dos produtos da Cadeia “Materiais para a Transição Energética”.

- Divulgação insuficiente de informações sobre uso dos minerais estratégicos, no Brasil, por tipo de produto.
- Falta de acesso a dados atualizados sobre as tecnologias adequadas à elaboração de produtos para a transição energética, nos cenários nacional e internacional.
- Falta de ações de estímulo a investimentos estrangeiros.

Ações estruturantes propostas:

13. Em conjunto com o Ministério de Relações Exteriores, as entidades gestoras do PNM-2050 deverão desenvolver um amplo programa de disseminação de informações geoeconômicas e econômico-minerais e de divulgação das oportunidades de investimento e de relações comerciais, com diferentes países do mundo, de forma a promover uma mais ampla e sólida integração competitiva da indústria mineral brasileira, à economia mundial.
14. Implementar políticas de estímulo à verticalização da indústria nacional nos setores vinculados às tecnologias de ponta, voltados para produtos da cadeia dos materiais com alto valor agregado para a transição energética, como a criação de zonas francas e a implementação de EADI's, mencionadas anteriormente.
15. Estruturar e lançar plano de infraestrutura logística de longo prazo permitindo um planejamento integrado dos investimentos na indústria de transformação dos minerais para a transição energética, bem como idealizar e estruturar uma cadeia produtiva adequada à agregação de valor aos minerais da cadeia "transição energética", conforme detalhamento no item 3.

3.2.4. Desenvolvimento de mercados**Diagnóstico consolidado:**

- Crescimento tímido, ou até redução, da produção nacional de produtos semi-acabados e produtos finais, a partir dos bens minerais.
- Foco restrito das empresas exploradoras de minerais estratégicos em um espectro de produtos de baixo valor agregado (concentrados minerais), para atender o mercado internacional de alta tecnologia, responsável pela agregação de valor a essas matérias primas, como

revelado pelas destinações dos materiais estratégicos brasileiros nos estudos da Análise Síntese dos Setores da Mineração Brasileira e das Cadeias Produtivas dos Minerais para a Transição Energética.

- Alta complexidade burocrática na regulamentação do comércio exterior.
- Necessidade de promover o desenvolvimento de mercados de baterias para eletroeletrônicos, carros elétricos, super ímãs, metais e ligas metálicas especiais, componentes para máquinas térmicas de alto desempenho, etc.
- Necessidade de estímulo à implantação de empresas de fabricação de baterias de íons de Li, Mn, V, veículos elétricos, componentes de geradores eólicos, ligas de alto desempenho termodinâmico, super ímãs, etc...
- Necessidade de promover estímulos fiscais, regulatórios e comerciais que facilitem o desenvolvimento de inovações tecnológicas.

Ações estruturantes propostas: (detalhadas nos itens anteriores, porém com efeitos específicos no desenvolvimento de mercado)

14. Estimular a produção nacional de produtos semi-acabados e produtos finais, a partir dos bens minerais estratégicos para a transição energética.
15. Ampliar o foco restrito das empresas exploradoras de minerais estratégicos para atender o mercado emergente de alta tecnologia pela agregação de valor a essas “commodities”.
16. Reduzir a complexidade burocrática que regulamenta o comércio exterior.
17. Promover o desenvolvimento de mercados de baterias para eletroeletrônicos, carros elétricos, super ímãs, metais e ligas metálicas especiais, componentes para máquinas térmicas de alto desempenho, etc.
18. Estimular a implantação de empresas de fabricação de baterias de íons de Li, Mn, V, veículos elétricos, componentes de geradores eólicos, ligas de alto desempenho termodinâmico, super ímãs, etc...
19. Criar e promover estímulos fiscais, regulatórios e comerciais que facilitem o desenvolvimento de inovações tecnológicas.

2.3.5. Demanda de investimentos e mecanismos de captação de recursos financeiros

Diagnóstico consolidado:

- Para os minerais estratégicos, a falta de uma cadeia industrial a jusante das operações de beneficiamento e concentração mineral inibe a atração de investidores locais ou externos, face às dificuldades existentes para o desenvolvimento tecnológico nacional e a importação de bens e serviços, conforme depoimentos pessoais de agentes do setor.

Ações estruturantes propostas:

20. Estimular a estruturação de projetos integrados para minerais estratégicos, com a participação de uma ou mais empresas em cada projeto, desde as atividades de exploração, até a produção de bens acabados. Sugere-se que a proposta de estruturação de projetos integrados seja conduzida aos moldes de perfis de oportunidades de investimentos, a serem elaborados com abordagem e estilo característicos, para utilização em programas de promoção e atração de investimentos, mediante road shows em fóruns especializados do país e do exterior.
21. Apresentar os projetos multiempresariais, estruturados como acima, aos mercados investidores nacionais e internacionais.

2.3.6. Demanda de recursos humanos e intensificação de treinamento e capacitação

Diagnóstico consolidado:

- Constatou-se que as empresas do setor mineral, incluindo as de transformação apresentaram, nos últimos anos, grande evolução em gestão, porém esta não foi acompanhada pela evolução técnica, nem do ponto de vista dos recursos humanos e tecnológicos, nem do ponto de vista das estratégias das empresas. Merece atenção o aparente desinteresse em investir nas tecnologias apropriadas à agregação de valor aos concentrados dos minerais da transição energética.

- Para os minerais estratégicos, há um forte déficit de conhecimento e desenvolvimento no Brasil, incluindo as instituições de ensino, pesquisa e inovação, como se constata pela presença reduzida de disciplinas no tema, nas instituições de ensino superior brasileiras.

Ações estruturantes propostas:

23. Aprimorar os currículos escolares dos cursos de Engenharia e Técnicos de Segundo Grau adequando-os às novas tecnologias e aos materiais estratégicos, inicialmente introduzindo disciplinas complementares ou optativas, nos atuais currículos. Importante destacar que ainda não parece haver, no Brasil, especialistas em número suficiente para assumir a docência e o desenvolvimento de pesquisas nas áreas deficitárias apontadas.
24. Estimular e apoio à criação de institutos regionais privados (consórcios de empresas), para o desenvolvimento de tecnologias e disseminação do conhecimento, por grupos de bens minerais, sendo um deles dedicado aos materiais estratégicos.
25. Demandar às agências de fomento à pesquisa incentivos para o desenvolvimento das tecnologias de ponta da cadeia dos minerais estratégicos, por intermédio de Editais Indutores – com recursos especiais para as áreas estratégicas definidas – e criação de INCT's (Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia).
26. Gerar e disseminar ICA (informação, conhecimento e aprendizado). No contexto presente, e considerando-se os atuais desafios da indústria mineral brasileira, sugere-se que esta seja a linha principal dos mecanismos de estímulo a serem adotados pelo PNM-2050, com desdobramento em duas estratégias: Geração e disseminação de conhecimento da caráter geocientífico, geoeconômico, tecnológico e mercadológico; Formação, capacitação e especialização de recursos humanos.

2.3.7. Desenvolvimento tecnológico e perspectivas de investimentos em inovação tecnológica

Diagnóstico consolidado:

- É notória, pelos estudos realizados, a dificuldade estrutural do Brasil para promover o desenvolvimento do setor de materiais estratégicos. À complexidade da regulação do empreendedorismo, somam-se a falta de recursos humanos com as competências específicas, a tímida abertura para o comércio internacional e para a integração comercial na cadeia global dos produtos de alta tecnologia.

Ações estruturantes propostas:

27. Estimular produtores existentes – projetos em andamento no Brasil – para promoverem expansões visando à antecipação de cenários competitivos planejados.
28. Estimular o desenvolvimento de polos regionais de exploração e produção de produtos de alto valor agregado.
29. Promover medidas de incentivo revisando aspectos legais, regulatórios, ambientais, sociais e de governança, no sentido de criar ambiente favorável a investimentos e negócios.
30. Realizar revisão comparativa das políticas de exploração e transformação no Brasil, com aquelas vigentes em outros países.

2.3.8. Aspectos regulatórios

Diagnóstico consolidado:

- O atual cenário da legislação brasileira relacionado à exploração, exploração, transformação mineral e comercialização não parece estimular o desenvolvimento do setor de minerais estratégicos para a transição energética.

Ações estruturantes propostas:

31. Criar regime específico para os minerais da transição energética no âmbito das políticas nacionais, idealmente sem ferir o arcabouço básico da legislação mineral recentemente aprimorada, e cuja estabilidade é imprescindível ser mantida e fortalecida para boa manutenção do clima de investimentos. Novos ajustes regulatórios imprescindíveis devem ser considerados, tais como no caso de abertura de acesso aos recursos minerais da indústria nuclear, RENCA, TIS, e licenciamentos ambientais.
32. Promover a simplificação dos processos de outorga de direitos/títulos minerários e de processos de licenciamento ambiental. Revisar, buscando a simplificação, a legislação vigente relacionada à indústria mineral e de transformação. Sugerem-se a definição de critérios e procedimentos diferenciados em função do bem mineral, porte do empreendimento e nível de impacto esperado, juntamente com a adoção da metodologia de AAE (Análise Ambiental Estratégica) em províncias e distritos geomineiros selecionados.

2.3.9. Infraestrutura e logística de transporte**Diagnóstico consolidado:**

- A atual estrutura logística onera as operações do setor de materiais para a transição energética, principalmente os de grande volume de comercialização, como o alumínio, o cobre e o níquel, que ademais têm suas operações de exploração no Brasil em regiões remotas.
- A atual estrutura de geração e distribuição de energia, juntamente com seus altos custos, parece onerar demasiado as operações de transformação dos materiais para a transição energética em produtos finais, como se pode inferir da interrupção de unidades de produção de manganês e alumínio, relatadas nos estudos.

Ações estruturantes propostas:

33. Melhorar infraestrutura rodoviária e ferroviária, principalmente para regiões remotas com grandes operações de lavra de materiais estratégicos, principalmente na região amazônica e no nordeste brasileiro.

34. Estimular o auto fornecimento de energia, principalmente para empresas de transformação de materiais estratégicos, através de desoneração tributária de importação de equipamentos de geração de energia e da agilização de licenças para implantação de tais centrais geradoras.
35. Estimular a instalação de empresas de transformação nas proximidades das mineradoras/beneficiadoras dos minerais estratégicos para a transição energética.

2.2.10. Sustentabilidade, economia circular e eficiência energética

Diagnóstico consolidado:

- Dentre os materiais estratégicos para a transição energética, o alumínio é o que apresenta em sua cadeia de sustentabilidade o maior nível de evolução, com alto nível de reciclagem, a partir da produção do alumínio primário.
- A sustentabilidade na cadeia do alumínio, dos pontos de vista ambiental, social, energético e de segurança é muito expressiva, a jusante do alumínio primário.
- A cadeia do alumínio, da mina ao metal primário, carece de otimização em eficiência energética, em produtividade, em aproveitamento e destinação de rejeitos e em qualidade e agregação de valor aos produtos.
- O cobre e o níquel, embora sejam de reciclagem dominada tecnicamente, são majoritariamente empregados em bens duráveis e equipamentos complexos, de maneira que suas reciclagens ainda ocorrem em volume tímido.
- A reciclagem do alumínio, por sua alta simplicidade técnica, promove otimização das reservas minerais e excepcionalmente expressiva economia de energia, por tonelada de material produzido. No entanto, tal experiência não pode ser imediatamente replicada aos demais materiais estratégicos para a transição energética.
- Dado o estágio incipiente de evolução da indústria brasileira, no que se refere a materiais estratégicos para a transição energética, como se nota das pequenas produções de produtos a jusante da atividade mineral, há

ainda poucas ações visando promover a economia circular atentando para o uso racional de energia em prol da sustentabilidade sócio econômica e ambiental.

Ações estruturantes propostas:

Sustentabilidade sócio-econômica-ambiental

36. Produzir e divulgar informações sobre o atual destino e composição dos resíduos e rejeitos dos resíduos da cadeia produtiva dos materiais estratégicos.
37. Promover ações visando à reutilização dos resíduos como fonte secundária para outros materiais, com a criação de uma bolsa de resíduos e rejeitos a qual deverá funcionar como ponto de convergência de ofertas (vendas) e demandas (aquisições), aproximando os correspondentes agentes de mercado, além de também atuar como centro difusor de oportunidades de melhorias tecnológicas no reprocessamento de estéréis, resíduos e rejeitos.
38. Estimular as ações de reciclagem e logística reversa de materiais utilizados em fontes renováveis, para reinserção dos metais na cadeia produtiva. É importante ressaltar que a logística reversa deverá ser estruturada especificamente para cada tipo de material. Enquanto ela é já consolidada para o caso do alumínio, que trata de grandes volumes e poucas contaminações, o seu custo poderá ter forte impacto, no caso de pequenos volumes, como o de ETR's.
39. Estimular os programas municipais de “coleta seletiva de resíduos”, visando à ampliação da oferta de materiais recicláveis específicos.

Economia circular

40. Divulgar dados do atual cenário, nas mesmas plataformas e eventos anteriormente citados.
41. Estimular as ações de reciclagem e logística reversa de materiais utilizados em fontes renováveis para reinserção dos metais na cadeia produtiva.
42. Estimular os programas municipais de “coleta seletiva de resíduos” visando à ampliação da oferta de materiais recicláveis específicos.

43. Estimular, enfim, a adoção de técnicas, processos e práticas de aproveitamento de rejeitos e de estéreis, em sintonia com os princípios da Economia Circular e de forma a contribuir para a sustentabilidade e competitividade sistêmicas, do respectivo polo produtor.

Eficiência energética

44. Produzir e divulgar dados do atual cenário.
45. Otimizar processos visando à redução do consumo energético na cadeia produtiva, com diagnósticos detalhados de eficiência energética de cada operação unitária, seguidos de ações específicas para cada caso.
46. Estimular que empresas de polos produtores selecionados implementem medidas de eficiência energética, visando a redução de consumo de energia por tonelada produzida, bem como a buscar suprimento energético (próprio ou de terceiros) a partir de fontes renováveis.



EM EDITORAÇÃO