



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO - UFOP
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS - DEMIN



RODRIGO DE GRAMMONT MAPA

**AVALIAÇÃO DO BENEFICIAMENTO DE ESPODUMÊNIO: Desafios e
Oportunidades no Contexto Brasileiro**

OURO PRETO – MG
2025

RODRIGO DE GRAMMONT MAPA

rodrigo.mapa@aluno.ufop.edu.br

**AVALIAÇÃO DO BENEFICIAMENTO DE ESPODUMÊNIO: Desafios e
Oportunidades no Contexto Brasileiro**

Monografia submetida à apreciação da banca examinadora de graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Dra. Janine Rodrigues Figueiredo.

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M297a Mapa, Rodrigo De Grammont.

Avaliação do beneficiamento de espodumênio [manuscrito]: desafios e oportunidades no contexto brasileiro. / Rodrigo De Grammont Mapa. - 2025.

40 f.

Orientadora: Profa. Dra. Janine Rodrigues Figueiredo.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Beneficiamento de minério. 2. Lítio. 3. Minas e recursos minerais. 4. Indústria mineral. I. Figueiredo, Janine Rodrigues. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.7

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Rodrigo de Grammont Mapa

Avaliação do beneficiamento de espodumênio: desafios e oportunidades no contexto brasileiro

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

Aprovada em 04 de abril de 2025.

Membros da banca

Dr^a. Janine Rodrigues Figueiredo - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)
M. Sc. Mariana Caroline Andrade Silva - (Universidade Federal de Ouro Preto)
Eng.^o de Minas Lucas Jean Wurzner- (Universidade Federal de Ouro Preto)

Janine Rodrigues Figueiredo, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 16/04/2025



Documento assinado eletronicamente por **Janine Rodrigues Figueiredo, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/04/2025, às 09:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0897342** e o código CRC **42D77D3A**.

Dedico este trabalho ao meu pai, Paulo Sérgio Mapa (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha mais profunda gratidão à minha família, cujo apoio incondicional ao longo dos anos tornou esta conquista possível. Sem vocês, nada disso teria sido viável.

Também gostaria de dedicar um agradecimento especial à minha orientadora, Janine Rodrigues Figueiredo, por sua paciência, compreensão e suporte, especialmente por entender o momento difícil que enfrentei durante a realização desta pesquisa. Sua orientação foi essencial para a conclusão deste trabalho.

Por fim, agradeço ao colega e amigo, Henrique Soares, cuja ajuda e colaboração foram essenciais.

R E S U M O

Esta monografia analisa o beneficiamento do espodumênio, um mineral estratégico na produção de lítio, no contexto brasileiro. Discute-se o impacto da revogação das restrições à exportação em 2022, que possibilitou avanços no setor e ampliou a relevância do país no mercado global. Destacam-se os métodos usualmente utilizados na indústria mundial, como flotação e separação magnética, associados à valorização de subprodutos e práticas sustentáveis. O estudo avalia os desafios técnicos, ambientais e econômicos. Demonstrando a necessidade de maior integração academia e indústria, aproveitando oportunidades de inovação dos processos de beneficiamento de espodumênio as especificidades brasileiras. Por fim, o papel central de Minas Gerais é ressaltado, juntamente com o potencial do Brasil em consolidar-se como líder global na cadeia produtiva de lítio.

Palavras-chave: Beneficiamento de espodumênio; Lítio; Minerais estratégicos; Indústria brasileira.

A B S T R A C T

This monograph analyzes the processing of spodumene, a strategic mineral in the production of lithium, in the Brazilian context. It discusses the impact of the repeal of restrictions on exports in 2022, which has enabled advances in the sector and increased the relevance of country in the global market. The methods usually used in the world industry are highlighted, such as flotation and magnetic separation, associated with the valorization of by-products and sustainable practices. The study assesses the challenges technical, environmental and economic. It demonstrates the need for greater integration between academia and industry, taking advantage of opportunities for innovation in spodumene beneficiation processes the specific characteristics of Brazil. Finally, the central role of Minas Gerais is highlighted, along with the potential of Brazil to consolidate itself as a global leader in the lithium production chain.

Keywords: Spodumene beneficiation; Lithium; Strategic minerals; Brazilian industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Diagrama mostrando os usos do lítio e os caminhos para conversão de recursos primários em várias aplicações.....	15
Figura 2 – Projetos de exploração mineral com foco em lítio distribuídos por tipo de depósito.....	17
Figura 3 – Mineral espodumênio.....	19
Figura 4 – Mapa do Brasil com as principais jazidas de minerais de lítio.	20
Figura 5 – Mapa de Minas Gerais com os distritos Minas Gerais e a distribuição das áreas conhecidas com jazidas ou ocorrências de minerais de lítio no Estado, apresentando os distritos de (1) Araçuaí, (2) São José da Safira, (3) Conselheiro Pena, (4) São João del Rei. Estrelas com números 1, 2 e 3 encontram-se na área abrangida pela Província Pegmatítica Oriental.....	21
Figura 6 – Circuito de concentração de espodumênio da Sons of Gwalia em Greenbushes, Austrália.....	22
Figura 7 – Concentração de espodumênio da CBL.	26
Figura 8 – Concentração de espodumênio da AMG Mineração.	28
Figura 9 – Concentração de espodumênio da Sigma Lithium.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais minerais de lítio.	14
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

U.S.GS. – United States Geological Survey

CBL – Companhia Brasileira de Lítio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVOS GERAIS	12
2.1	Os objetivos específicos foram:.....	12
3	METODOLOGIA.....	13
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
4.1	Lítio.....	14
4.1.1	Aplicações e importância.....	14
4.1.2	Reservas de Lítio no Mundo.....	16
4.1.3	Produção global de Lítio	17
4.2	Espodumênio	18
4.2.1	Depósitos de pegmatitos no Brasil	20
4.2.2	Beneficiamento de minério de espodumênio.....	22
4.3	Panorama da indústria brasileira de lítio	25
4.3.1	Companhia Brasileira de Lítio (CBL)	26
4.3.2	AMG Mineração.....	27
4.3.3	Sigma Litihium.....	29
5	DISCUSSÃO	31
5.1	Desafios e oportunidades do beneficiamento de espodumênio no Brasil.....	31
5.1.1	Aspectos técnicos	31
5.1.2	Aspectos ambientais	32
5.1.3	Aspectos econômicos	33
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1 INTRODUÇÃO

A corrida global pela descarbonização tem impulsionado uma transformação significativa no setor energético, orientando esforços para a adoção de fontes de energia limpa e soluções sustentáveis. Nesse contexto, o lítio apresenta-se como um recurso estratégico, essencial na fabricação de baterias recarregáveis amplamente utilizadas em veículos elétricos e sistemas de armazenamento de energia renovável. O crescimento exponencial da demanda por lítio, movido pelo aumento expressivo na produção de carros elétricos, tem levado países e empresas a expandirem suas capacidades de extração e beneficiamento de minerais ricos em lítio, como o espodumênio (AGÊNCIA GOV, 2024)

No Brasil, a recente abertura do mercado de lítio para exportação, promovida pela revogação das restrições pelo governo em 2022, trouxe novas perspectivas para o setor mineral. Essa medida, que incentivou a entrada de multinacionais e fortaleceu a cadeia produtiva de veículos elétricos, gerou debates sobre os impactos econômicos e ambientais dessa exploração (ANGELO, 2022). Para o espodumênio, o principal mineral fonte de lítio no Brasil, essa política representa tanto desafios — como o fortalecimento da cadeia de beneficiamento nacional — quanto oportunidades, incluindo o estímulo ao desenvolvimento de tecnologias e a atração de investimentos externos.

De acordo com o United States Geological Survey (JASKULA, 2024), as reservas globais de lítio concentram-se em duas fontes primárias: salmouras e pegmatitos. As salmouras, encontradas predominantemente em países como Bolívia, Argentina e Chile, na região conhecida como "Triângulo do Lítio", são extraídas de lagos salgados e evaporitos. Por outro lado, os pegmatitos, que incluem minerais como espodumênio, lepidolita e petalita, são a principal fonte de lítio em países como Austrália, China e Brasil. No caso da Austrália, atualmente, o maior produtor mundial de lítio, o espodumênio é amplamente beneficiado para abastecer o mercado global. O Brasil, por sua vez, possui extensas reservas de pegmatitos, mas ainda explora seu potencial de forma limitada. Contudo, o espodumênio brasileiro é alternativa viável para a construção de uma cadeia produtiva de alto valor agregado, desde que, superados os desafios tecnológicos e ambientais envolvidos no seu beneficiamento.

Os principais métodos de concentração para a obtenção do concentrado de espodumênio envolvem etapas como cominuição, classificação e separação utilizando métodos gravíticos, magnéticos e/ou flotação. Esses processos têm como objetivo elevar o teor de lítio

no minério, garantindo sua adequação para as fases subsequentes de processamento térmico e químico, indispensáveis para a produção de compostos de alta pureza (CHAVES; DIAS, 2022).

Diante desse contexto, esse trabalho busca avaliar os métodos de beneficiamento do espodumênio, principal mineral de lítio extraído no Brasil. Com o objetivo de compreender os desafios enfrentados pelas empresas mineradoras e identificar oportunidades para a otimização dos processos. O presente trabalho tem foco exclusivo nas etapas do beneficiamento mineral até a obtenção do concentrado de espodumênio. As etapas subsequentes, como o tratamento térmico e a extração química para produção de compostos de lítio, não fazem parte do escopo desta pesquisa.

A adoção de tecnologias inovadoras e sustentáveis pode ser decisiva para viabilizar economicamente projetos em desenvolvimento e posicionar o Brasil como um competidor relevante no mercado global de lítio. Além disso, a análise dos impactos ambientais e das lacunas tecnológicas no beneficiamento do espodumênio é fundamental para promover o avanço sustentável da indústria mineral do país.

2 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo geral foi analisar o processo de beneficiamento de espodumênio no Brasil, destacando os desafios e oportunidades para a indústria brasileira.

2.1 Objetivos específicos

- Avaliar o estado da arte do beneficiamento de espodumênio no Brasil.
- Identificar e analisar os principais desafios enfrentados no beneficiamento do espodumênio no Brasil, tais como questões técnicas, ambientais e econômicas.
- Investigar oportunidades de melhorias e desafios do beneficiamento de espodumênio no Brasil.

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado por meio de uma revisão bibliográfica qualitativa e descritiva, visando compreender as oportunidades e desafios do beneficiamento do espodumênio no contexto brasileiro. A escolha desse método permitiu uma análise detalhada e crítica da literatura existente, sem a proposição de hipóteses ou intervenções experimentais, focando exclusivamente na síntese e interpretação de informações provenientes de fontes secundárias.

A busca por artigos e documentos foi realizada em fontes como Google Acadêmico, SciELO, Periódicos CAPES e bancos de dados de teses e dissertações, além de notícias atuais para complementar as informações e garantir uma perspectiva atualizada sobre o tema.

Essa abordagem metodológica permitiu compilar informações que forneceram subsídios para a análise dos processos de beneficiamento do espodumênio no Brasil, possibilitando a identificação de desafios e oportunidades sobre esse tema.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Lítio

O lítio é um metal alcalino de coloração branco-prateada, caracterizado por ser o mais leve dos metais, com densidade de 0,53 g/cm³ e peso específico de 534 kg/m³. Com número atômico 3, ocupa a posição superior na tabela periódica e é o metal mais eletropositivo. Apesar de pouco abundante na crosta terrestre (cerca de 0,004%), está amplamente distribuído em depósitos de pegmatitos e salmouras, que atualmente representam as principais fontes de extração do elemento. Essas características tornam o lítio essencial para diversas aplicações estratégicas (BRAGA; SAMPAIO, 2008; FERNANDO et al., 2013; TARASCON, 2010).

4.1.1 Aplicações e importância

Como se observa na Tabela 1, os minerais de lítio de maior relevância econômica incluem o espodumênio, a lepidolita, a petalita e a amblygonita, encontrados em pegmatitos graníticos, que são rochas ígneas de granulometria grossa compostas por quartzo, feldspato e mica.

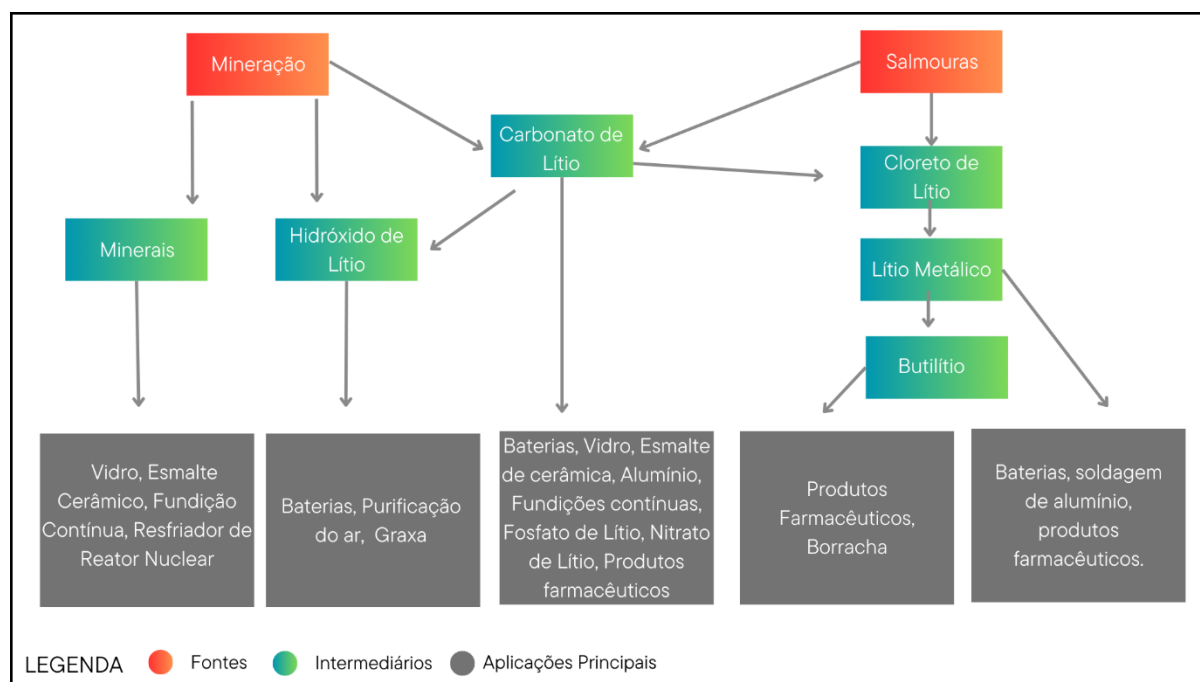
Tabela 1 – Principais minerais de lítio.

Minerais	Fórmula	Densidade	Dureza	% Li ₂ O Teórico	% Li ₂ O Típico
Amblygonita	LiAl(PO ₄)(F,OH)	3	5,5–6	11,9	5
Lepidolita	K(Li,Al ₃)(Si,Al) ₄ O ₁₀ (F,OH) ₂	2,8–3,3	2,5–3	3,3–7,8	3,0–4,0
Petalita	LiAl(Si ₄ O ₁₀)	2,3–2,5	6–6,5	4,9	3,0–4,5
Espodumênio	LiAl(Si ₂ O ₆)	3–3,2	6,5–7,5	8	1,5–7,0

Fonte: (Adaptado de FERNANDO et al., 2013).

O carbonato de lítio (Li₂CO₃) e o hidróxido de lítio (LiOH) representam as formas mais utilizadas do lítio na indústria. Esses compostos possuem uma relação de interdependência, pois podem ser convertidos um no outro por meio dos processos de carbonatação e decarbonatação, respectivamente (SOARES, 2021). A Figura 1, que apresenta as fontes, intermediários e aplicações primárias do lítio. Essa diversidade de aplicações evidencia a relevância estratégica do elemento.

Figura 1– Diagrama mostrando os usos do lítio e os caminhos para conversão de recursos primários em várias aplicações.



Fonte: (Adaptado de GRAHAM; RUPP; BRUNGARD, 2021).

Entre as principais aplicações do lítio, destacam-se:

- **Baterias e Acumuladores:** O lítio é essencial na produção de baterias de íons de lítio, utilizadas em dispositivos eletrônicos portáteis, como celulares, notebooks e tablets. Além disso, desempenha um papel central em veículos elétricos e híbridos, devido à sua alta densidade de energia, longa vida útil e capacidade de recarga rápida (FERNANDO et al., 2013).
- **Vidros e Cerâmicas:** Os compostos de lítio são amplamente empregados para melhorar a resistência térmica, química e mecânica de vidros e cerâmicas. Sua adição reduz a temperatura de fusão e melhora as propriedades estruturais dos materiais, sendo utilizado em utensílios domésticos, cerâmicas técnicas e vidros especiais para eletrônicos (FERNANDO et al., 2013).
- **Graxas Lubrificantes:** O hidróxido de lítio é empregado na fabricação de graxas lubrificantes de alto desempenho, que resistem a altas temperaturas e à umidade. Essas graxas são amplamente aplicadas em maquinários industriais, rolamentos de aeronaves e veículos automotivos (GRAHAM; RUPP; BRUNGARD, 2021).

Outras Aplicações: O lítio também é utilizado em setores como a indústria farmacêutica, no tratamento de transtornos bipolares; na metalurgia, para aumentar a eficiência

na produção de alumínio; e no tratamento de ar, em sistemas que regulam a umidade e removem dióxido de carbono de ambientes fechados, como submarinos e espaçonaves (FERNANDO et al., 2013).

Essas aplicações demonstram a versatilidade do lítio e sua importância para tecnologias modernas e indústrias diversas.

4.1.2 Reservas de Lítio no Mundo

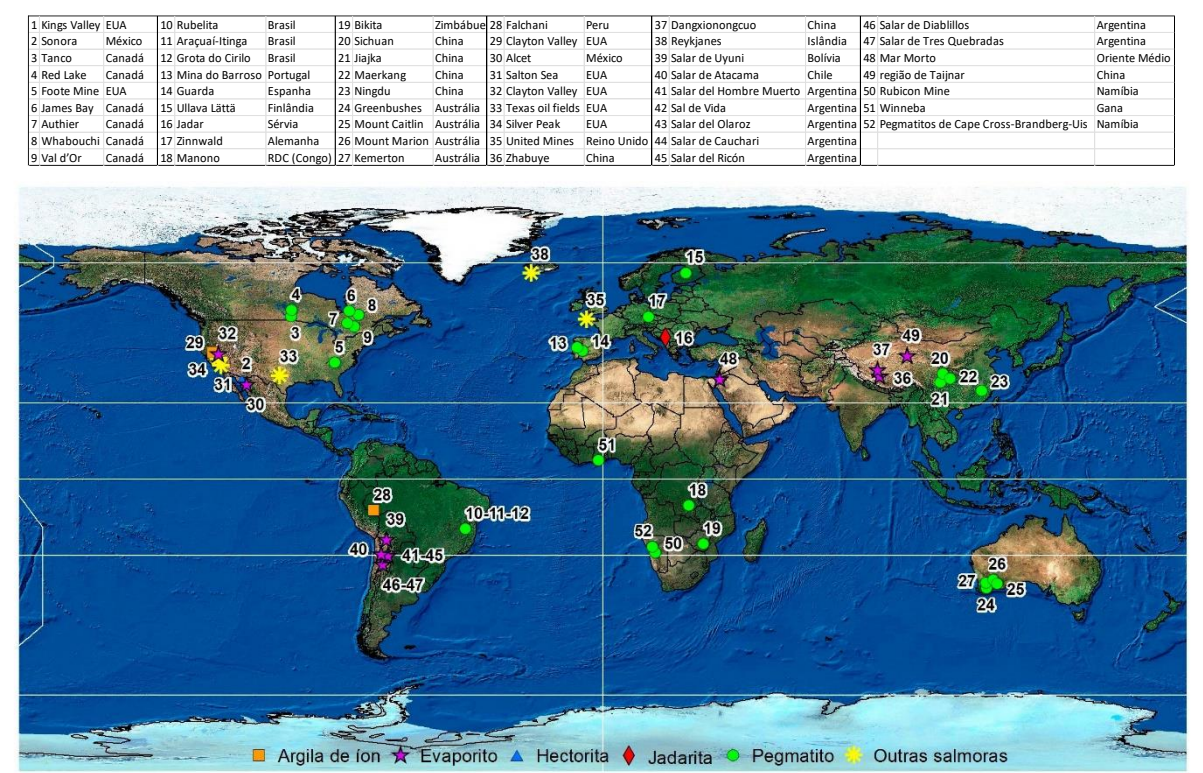
Os depósitos de lítio no mundo são classificados em três tipos principais: pegmatitos, argilas vulcânicas e salmouras, cada um com características geológicas e econômicas distintas (GRAHAM; RUPP; BRUNGARD, 2021). Na Figura 2, estão representados os principais tipos de depósitos e suas localizações globais, destacando as regiões mais relevantes em termos de recursos, como os pegmatitos encontrados no Brasil e na Austrália, as argilas vulcânicas no México e no Peru, e as salmouras no Triângulo do Lítio (Bolívia, Chile e Argentina).

- Pegmatitos: Esses depósitos estão associados a pegmatitos graníticos, especificamente da família LCT (Lítio-Césio-Tântalo). São uma fonte tradicional de lítio devido à alta concentração do elemento em minerais como espodumênio, lepidolita e petalita (BRADLEY et al., 2017). Internacionalmente, um exemplo notável é *Greenbushes*, na Austrália, uma das maiores minas de pegmatitos do mundo. Apesar da alta concentração de lítio por tonelada, esses depósitos tendem a ter menor volume total em comparação com outros tipos de depósitos (BOWELL et al., 2020).
- Argilas Vulcânicas: Depósitos de lítio associados a argilas, como hectorita, ocorrem em ambientes vulcânicos. Nessas argilas, o lítio pode estar presente como parte da matriz ou na forma de íons adsorvidos. Exemplos de depósitos significativos incluem: Sonora, no México, e Falchani, no Peru. Apesar de apresentarem concentrações moderadas de lítio, possuem grande volume, tornando-se uma fonte emergente de exploração econômica (BOWELL et al., 2020).
- Salmouras: Esses depósitos formam-se em soluções salinas de alta concentração, localizadas frequentemente em regiões áridas. Destacam-se depósitos como o Salar de Atacama, no Chile, e o Salar de Uyuni, na Bolívia, que abrigam algumas das maiores reservas do mundo. No chamado "Triângulo

do Lítio" (Chile, Argentina e Bolívia), as salmouras desempenham um papel crucial devido ao grande volume de lítio presente, embora apresentem menores teores em comparação com os pegmatitos (BOWELL et al., 2020).

A diversidade geológica dos recursos de lítio é evidenciada pela presença desses três tipos de depósitos, cada um oferecendo diferentes vantagens e desafios econômicos. No Brasil, as reservas concentradas em Minas Gerais reforçam o potencial do país na exploração de lítio de alta qualidade, destacando-se no cenário internacional (CHAVES; DIAS, 2022).

Figura 2 – Projetos de exploração mineral com foco em lítio distribuídos por tipo de depósito.



Fonte: (Adaptado de BOWELL et al., 2020).

4.1.3 Produção global de Lítio

De acordo com o relatório da U.S.GS no ano de 2023 a produção mundial de lítio aumentou 23%, totalizando, aproximadamente, 180 mil toneladas, em comparação às 146 mil toneladas de 2022. O consumo global seguiu a mesma tendência, crescendo 27% no mesmo período, alcançando também cerca de 180 mil toneladas (JASKULA, 2024).

Os principais países produtores de lítio incluem a Austrália, que lidera o mercado com uma produção de cerca de 86 mil toneladas em 2023, e o Chile, que contribui com 44 mil toneladas.

O Brasil, por sua vez, também tem uma posição importante no cenário global. Em 2023, o país produziu aproximadamente 4,9 mil toneladas de lítio, devido à exploração de pegmatitos em Minas Gerais, que abriga uma das maiores reservas brasileiras do minério. Embora essa produção ainda seja modesta em comparação a outros países, o Brasil demonstra potencial para ampliar sua participação no mercado, especialmente com a implementação de novas tecnologias e políticas voltadas para o desenvolvimento do setor. Além disso, o Brasil possui reservas estimadas em 390 mil toneladas, posicionando-se como um país estratégico na cadeia produtiva de lítio (JASKULA, 2024).

Apesar do aumento na produção global, desafios persistem, como a queda nos preços do lítio em 2023, que foi impulsionada por um excesso de oferta e pela redução de subsídios para veículos elétricos na China. No entanto, especialistas apontam que os preços podem se estabilizar nos próximos anos, à medida que o mercado global se ajusta, com cortes na produção e aumento da demanda por veículos elétricos, especialmente na China (MERCADO COMUM, 2025).

4.2 Espodumênio

O espodumênio (Figura 3), é um mineral de grande importância econômica e científica, pois é uma das principais fontes de lítio, essencial para a produção de baterias usadas em veículos elétricos e eletrônicos portáteis.

Figura 3 – Mineral espodumênio.



Fonte: (HEINZ EBERT, 2025).

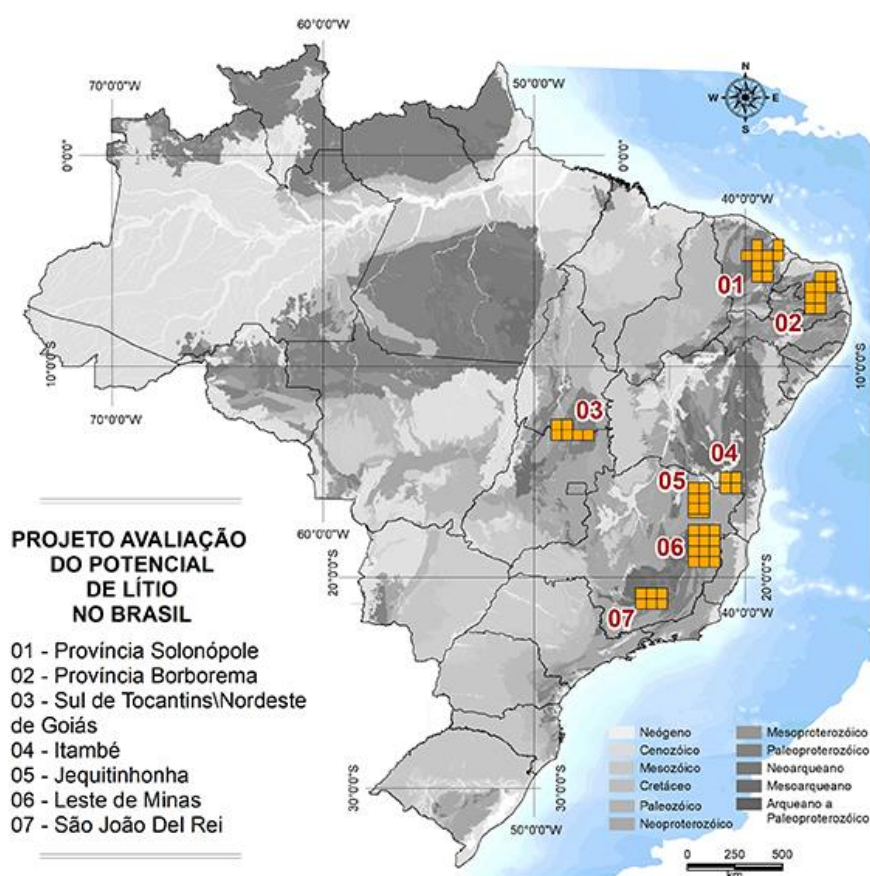
Descoberto pelo mineralogista brasileiro José Bonifácio de Andrada e Silva no século XIX, o espodumênio, com fórmula química $\text{LiAl}(\text{Si}_2\text{O}_6)$, é um mineral da classe dos inosilicatos, cristalizando no sistema monoclinico (FERNANDO et al., 2013). Apresenta uma coloração que pode variar do incolor ao rosa ou verde, dependendo da presença de impurezas em sua composição. É amplamente conhecido por sua dureza, que varia entre 6,5 e 7 na escala de Mohs, e densidade em torno de 3,2 g/cm³. O espodumênio é uma das fontes mais significativas de lítio no mundo devido ao seu alto teor de óxido de lítio (Li_2O), que geralmente varia de 4% a 8% (NAVARRO et al., 2017).

O espodumênio, quanto à sua gênese, apresenta origens predominantemente magmáticas, hidrotermais e pneumatolíticas, sendo raramente associado a processos metamórficos. Este mineral é encontrado com frequência como parte integrante de granitos pegmatíticos, como exemplifica a jazida mineral encontrada na mina de Volta Grande em Nazareno Minas Gerais, operada pela AMG Mineração (SOARES, 2021)

4.2.1 Depósitos de pegmatitos no Brasil

A Figura 4 apresenta as principais áreas de potencial de ocorrência de lítio no Brasil, destacando regiões geológicas favoráveis à presença de pegmatitos graníticos que estão comumente associados a K-feldspato, plagioclásio, quartzo, muscovita e biotita como componentes principais. Além do lítio, podem conter elementos como berílio, tântalo e céσιο (Luz *et al.*, 2003). Essas áreas incluem importantes províncias pegmatíticas que se estendem desde o Nordeste até o Sudeste do país.

Figura 4 – Mapa do Brasil com as principais jazidas de minerais de lítio.



Fonte: (FERNANDES *et al.*, 2022).

Minas Gerais é o estado com maior produção de lítio no Brasil, com destaque para a região do Médio Rio Jequitinhonha, que abriga uma das províncias pegmatíticas mais importantes do país. Essa área faz parte da Província Pegmatítica Oriental Brasileira, que se estende por Minas Gerais e parte da Bahia, e é reconhecida por sua riqueza em minerais como o espodumênio, a principal fonte de lítio no Brasil. Paralelamente, no Vale do Jequitinhonha, o espodumênio apresenta teores de óxido de lítio (Li_2O) que variam entre 4% e 8%, o que o torna altamente competitivo em relação a outras fontes de lítio, como salmouras e argilas

(CHAVES; DIAS, 2022). Essa alta concentração, aliada à abundância do mineral na região, coloca Minas Gerais em uma posição estratégica no cenário global de produção de lítio (AGÊNCIA GOV, 2024).

A Província Pegmatítica Oriental, onde se localiza o Médio Rio Jequitinhonha, é uma das áreas mais promissoras para a exploração de espodumênio no Brasil. Projetos como Grota do Cirilo, em Araçuaí, e Rubelita, no Vale do Jequitinhonha, são exemplos de iniciativas que demonstram o potencial da região. O projeto Grota do Cirilo, por exemplo, é considerado um dos maiores empreendimentos de lítio do país, com reservas estimadas em mais de 50 milhões de toneladas de minério (CHAVES; DIAS, 2022). Esses projetos não apenas destacam a importância do espodumênio para a economia mineira, mas também reforçam o papel de Minas Gerais na cadeia produtiva global de lítio (ANGELO, 2022).

A Província Pegmatítica da Borborema, localizada no Nordeste do Brasil, também apresenta potencial significativo para a exploração de lítio e tântalo, embora em menor escala comparada à região mineira (BEURLLEN et al., 2014).

Essa província é conhecida por sua diversidade mineralógica, com ocorrências de espodumênio, lepidolita e minerais de tântalo, como a columbita-tantalita. No entanto, a exploração na Borborema ainda é incipiente, com poucos projetos em operação comercial. A infraestrutura limitada e a falta de investimentos em tecnologia são alguns dos fatores que dificultam o aproveitamento pleno desses recursos (BEURLLEN et al., 2014).

Em resumo, Minas Gerais é o principal polo de produção de lítio no Brasil, com destaque para o espodumênio como mineral mais explorado. A Província Pegmatítica Oriental, especialmente o Médio Rio Jequitinhonha, concentra os maiores e mais promissores depósitos do país. Enquanto isso, a Província da Borborema, no Nordeste, apresenta potencial complementar, embora ainda pouco explorado. Com investimentos adequados em tecnologia e infraestrutura, o Brasil tem o potencial de se consolidar como um dos principais produtores de lítio do mundo, com Minas Gerais liderando esse processo.

Observa-se na Figura 5 a distribuição dos principais em Minas Gerais, onde o espodumênio é o mineral de lítio mais explorado.

Figura 5 – Mapa de Minas Gerais com os distritos Minas Gerais e a distribuição das áreas conhecidas com jazidas ou ocorrências de minerais de lítio no Estado, apresentando os distritos de (1) Araçuaí, (2) São José da

Safira, (3) Conselheiro Pena, (4) São João del Rei. Estrelas com números 1, 2 e 3 encontram-se na área abrangida pela Província Pegmatítica Oriental.



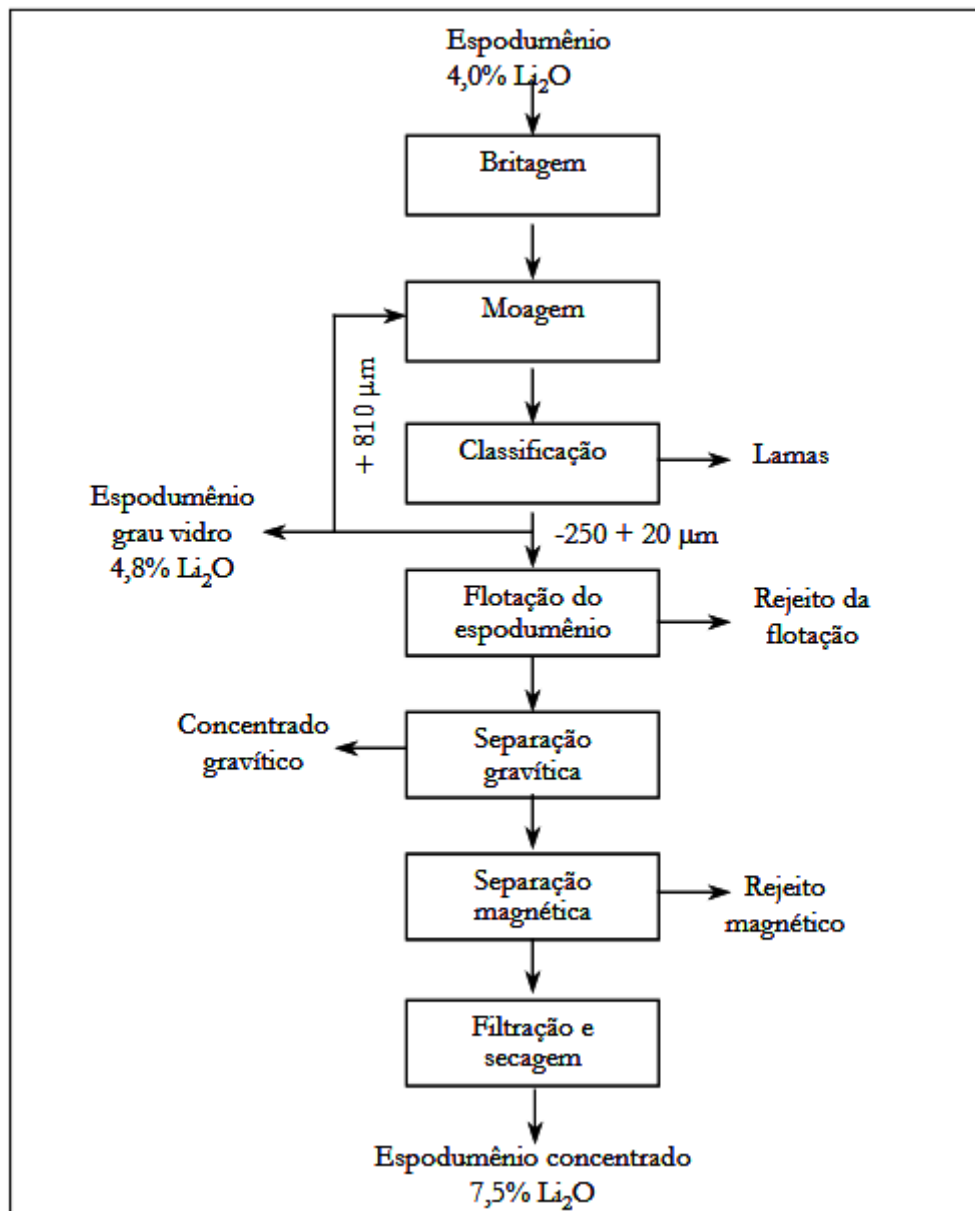
Fonte: (CHAVES; DIAS, 2022).

4.2.2 Beneficiamento de minério de espodumênio

O beneficiamento do espodumênio é um processo essencial para transformar o minério bruto em um concentrado de alta pureza, adequado para aplicações industriais (LOPES, 2019). A mineralogia do espodumênio varia significativamente entre diferentes localidades, influenciada por fatores geológicos e condições de formação dos pegmatitos graníticos. Essa diversidade mineralógica exige adaptações nos processos de beneficiamento para maximizar a eficiência e a recuperação do lítio (LUZ et al., 2003).

A variabilidade nos processos de beneficiamento reflete as diferenças mineralógicas entre os depósitos de espodumênio ao redor do mundo. Enquanto algumas localidades, como *Greenbushes*, na Austrália, optam por fluxogramas que incluem flotação, separação em meio denso e etapas subsequentes de separação magnética para ajuste do teor de ferro como na Figura 6, outras, como a mina de Bernic Lake, no Canadá, implementam flotação de mica antes da flotação do espodumênio (LUZ et al., 2003). Essas adaptações são fundamentais para atender às especificações técnicas e maximizar a eficiência do processo.

Figura 6 – Circuito de concentração de espodumênio da Sons of Gwalia em Greenbushes, Austrália.



Fonte: (BRAGA; SAMPAIO, 2008).

No Brasil, o cenário ilustra bem essa diversidade tecnológica. A Companhia Brasileira de Lítio (CBL) utilizava-se exclusivamente a separação por meio denso para a concentração de espodumênio, alcançando um teor médio de 5,5% de Li₂O no concentrado final. Em contraste, a entrada da AMG-Mineração trouxe avanços significativos ao adotar a flotação direta, precedida por separação magnética, aumentando a capacidade de produção para 90 mil toneladas por ano e otimizando a recuperação do lítio (SOARES, 2021).

De modo geral, as etapas que compõem o beneficiamento até a obtenção do concentrado incluem:

- Britagem, Moagem e Classificação Granulométrica: A primeira etapa do processo de beneficiamento envolve a britagem, onde o minério bruto é reduzido a partículas adequadas através de britadores de mandíbulas e britadores cônicos. Em seguida, algumas operações também realizam a moagem, que normalmente utiliza-se moinhos de bolas e moinhos de barras para reduzir ainda mais a granulometria do material e a liberação dos minerais de interesse. Após a moagem, é realizada a classificação granulométrica para garantir que o material esteja na forma correta para as etapas subsequentes de concentração, otimizando a eficiência dos processos de beneficiamento. (FERNANDO et al., 2013).
- Separação Gravítica ou Meio Denso: Esta etapa utiliza diferenças de densidade entre os minerais presentes no minério. O espodumênio, sendo mais denso, é separado de minerais de ganga, como quartzo e feldspato, por meio de tecnologias como o Dense Media Separation (DMS) e o classificador espiral, sendo ambas operações amplamente empregadas para a pré-concentração de espodumênio (BRIGIDO; BRUNHARA; BRAGA, 2024).
- Separação Magnética: Para depósitos que apresentam impurezas associadas ao ferro, a separação magnética de alta intensidade é essencial. Este processo remove minerais contendo ferro, como magnetita ou hematita, assegurando que o concentrado atenda às especificações de pureza, especialmente para o uso industrial (BRIGIDO; BRUNHARA; BRAGA, 2024).
- Flotação: A flotação é um processo de separação mineral baseado nas propriedades de hidrofobicidade das partículas. Reagentes são usados para tornar o espodumênio hidrofóbico, permitindo que ele se fixe nas bolhas de ar introduzidas na polpa. Essas bolhas levam o mineral para a superfície, formando uma espuma rica em espodumênio, que é coletada, enquanto os minerais de ganga permanecem no fundo (SOARES, 2021).

Essas variações no fluxograma de processamento destacam a flexibilidade necessária para lidar com as características específicas de cada depósito e atender às demandas do mercado industrial.

Além da obtenção do concentrado de espodumênio, o aproveitamento dos rejeitos gerados durante o beneficiamento apresenta oportunidades econômicas e ambientais significativas. Em diversas operações, minerais como quartzo, feldspato e mica, frequentemente presentes nos rejeitos, podem ser recuperados e comercializados para diferentes aplicações industriais. Por exemplo, o quartzo pode ser utilizado na fabricação de

vidro e cerâmica, enquanto o feldspato encontra mercado nas indústrias de cerâmica e esmaltes. Já a mica pode ser empregada na produção de isolantes térmicos e elétricos, além de aplicações na construção civil e cosméticos. A valorização desses subprodutos não apenas gera receita adicional para as operações, mas também reduz o impacto ambiental, diminuindo a quantidade de material descartado em barragens ou pilhas de rejeitos (LUZ et al., 2003).

4.3 Panorama da indústria brasileira de lítio

A indústria brasileira de lítio passou por mudanças importantes nos últimos anos. Durante muito tempo, a Companhia Brasileira de Lítio (CBL) foi a única empresa atuando no setor, trabalhando de forma pioneira no Vale do Jequitinhonha, em Minas Gerais. A CBL destacava-se pela produção de compostos químicos de lítio de alta pureza, atendendo tanto ao mercado interno quanto a uma exportação limitada (MARQUES, 1996).

Anteriormente, o lítio era considerado um mineral estratégico para a energia nuclear, e uma lei de 1962 impunha várias restrições à sua exportação. Tais como, cotas de exportação e a necessidade de autorização prévia, o que dificultava o crescimento do setor. Essa situação só mudou em 2022, com a revogação da legislação pelo Decreto nº 11.120. A partir disso, as barreiras foram removidas, e o setor começou a atrair novos investimentos e empresas (ADACHI, 2022).

Com essa flexibilização, empresas como a Sigma Lithium entraram no mercado brasileiro, trazendo grandes investimentos e ampliando a capacidade produtiva do país. Além disso, a AMG Mineração começou a beneficiar espodumênio a partir de rejeitos da produção de tântalo em sua planta em Nazareno, Minas Gerais. Essa iniciativa não só aumentou a produção de lítio no Brasil, mas também mostrou um compromisso com práticas mais sustentáveis, como o reaproveitamento de resíduos e a recirculação de água (LIMA, 2018).

O estado de Minas Gerais, também tem acompanhado de perto o desenvolvimento do setor, promovendo iniciativas como o projeto "Vale do Lítio". Esse projeto busca fomentar o desenvolvimento econômico e tecnológico na região, atraindo investidores e promovendo a exploração sustentável do mineral (NOVO, 2024).

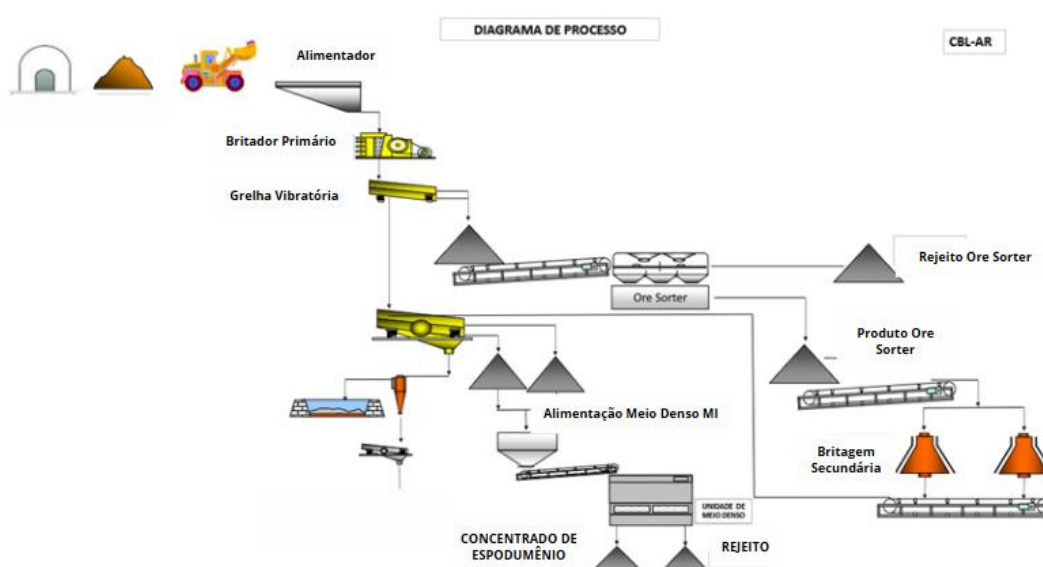
4.3.1 Companhia Brasileira de Lítio (CBL)

A Companhia Brasileira de Lítio (CBL) é uma pioneira na produção de lítio no Brasil, desempenhando um papel essencial no setor. Localizada nos municípios de Araçuaí e Itinga, em Minas Gerais, a empresa opera a Mina da Cachoeira, uma mina subterrânea que chega a 220 metros de profundidade, com galerias que se estendem por 14 quilômetros. A lavra subterrânea é realizada pelo método *sublevel stoping*, conhecido por sua segurança, utilizando equipamentos modernos operados remotamente, perfuratrizes avançadas e um sistema de monitoramento geomecânico dinâmico microssísmico. Essas tecnologias posicionam a CBL entre as operações mais inovadoras do país (COMPANHIA BRASILEIRA DE LÍTIO, [s.d.]).

Os pegmatitos litiníferos extraídos na Mina da Cachoeira têm uma qualidade excepcional, sendo compostos por minerais como quartzo, mica e espodumênio, este último sendo a principal fonte de lítio. Após a extração, o material é enviado à usina de beneficiamento para passar por diversas etapas como demonstra a Figura 7 que garantem a produção de concentrado de alta qualidade.

O processo, inicia-se com a britagem primária, etapa em que o material é reduzido para promover a liberação inicial dos minerais de interesse. Em seguida, o material passa pela britagem secundária, onde a fragmentação é ainda mais refinada, assegurando uma maior liberação das partículas desejadas para as etapas seguintes.

Figura 7 – Concentração de esporodumênio da CBL.



Fonte: (COMPANHIA BRASILEIRA DE LÍTIO, 2024).

Na fase de classificação granulométrica, o material é separado conforme o tamanho das partículas por meio de peneiramento, permitindo o direcionamento adequado dos minerais para os processos subsequentes. Depois disso, o minério segue para a unidade de separação em meio denso, uma etapa essencial que utiliza as diferenças de densidade entre os materiais presentes para concentrar o espodumênio de forma eficiente. O espodumênio, que apresenta uma densidade entre 3,1 g/cm³ e 3,2 g/cm³, afunda no fluido denso utilizado no processo, enquanto os minerais de ganga, como quartzo e feldspato, que possuem densidades menores (em torno de 2,65 g/cm³ e 2,56 g/cm³, respectivamente), permanecem na superfície. Essa técnica garante uma separação precisa, resultando em um concentrado de alta pureza (BRIGIDO; BRUNHARA; BRAGA, 2024).

Além disso, a CBL utiliza a avançada tecnologia de *ore sorting*, que combina sensores de alta precisão para identificar e separar partículas minerais com base em suas propriedades mineralógicas. Nesse processo, o material alimentado em uma correia transportadora passa por sensores que analisam sua densidade atômica. Um algoritmo processa os dados, identificando o espodumênio, enquanto impurezas são separadas por jatos de ar comprimido. Esse método não apenas aumenta a qualidade do concentrado, eliminando impurezas, mas também reduz custos operacionais, consumo de água e energia, contribuindo para um beneficiamento sustentável (SOARES et al., 2019).

Todas essas etapas convergem na obtenção do concentrado de espodumênio, que possui um alto teor de Li₂O (5,5%), pronto para atender as demandas nacionais e globais, ou para ser utilizado em fases posteriores de industrialização (COMPANHIA BRASILEIRA DE LÍTIO, 2024).

Com uma capacidade anual de produção de 45 mil toneladas de concentrado de espodumênio, a CBL se consolida como referência na verticalização do setor de lítio. Seu papel é crucial para o fortalecimento da cadeia produtiva nacional e para o mercado global desse mineral estratégico (COMPANHIA BRASILEIRA DE LÍTIO, 2024).

4.3.2 AMG Mineração

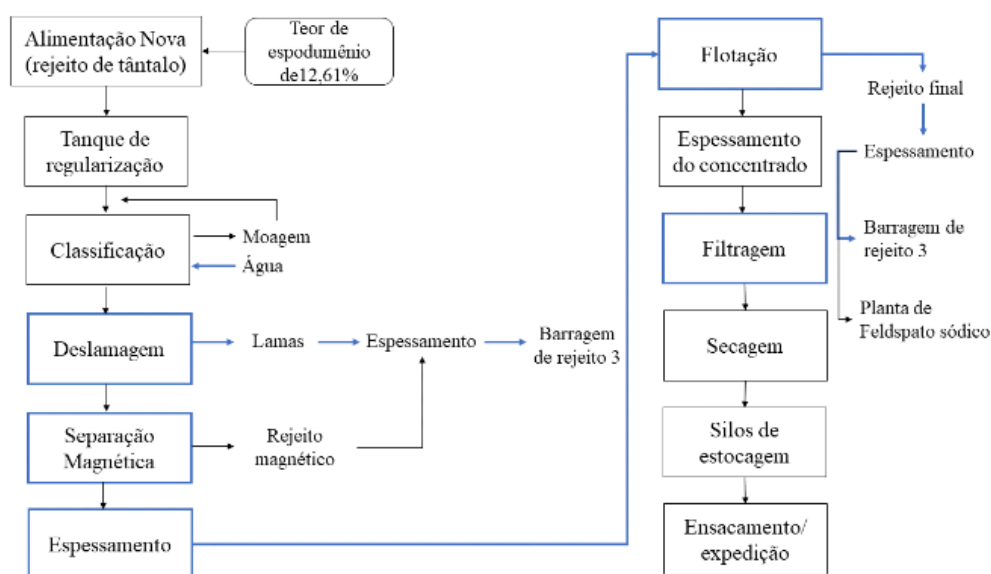
A AMG Mineração é uma empresa de grande destaque no setor de materiais críticos, com presença internacional e um papel relevante na produção de lítio no Brasil. Em 2018, a empresa inaugurou a primeira planta de concentração de espodumênio por flotação em escala industrial no país, localizada em Nazareno, Minas Gerais (LIMA, 2018).

Diferentemente da Companhia Brasileira de Lítio (CBL), que extrai concentrado de espodumênio diretamente do pegmatito litínífero, a AMG Mineração destaca-se por beneficiar espodumênio a partir de rejeitos de outras operações. Esse processo único contribui para a economia circular ao reaproveitar resíduos industriais e rejeitos provenientes de barragens. Parte desses materiais, anteriormente descartados como subprodutos da planta de tântalo, são transformados em concentrado de lítio e feldspato, reduzindo o impacto ambiental e promovendo práticas de mineração sustentável (LIMA, 2018; REDAÇÃO ITM, 2024).

O processo de beneficiamento da AMG Mineração, como demonstrado na Figura 8, inicia-se com a classificação, onde o material é separado conforme as granulometrias necessárias para as próximas etapas. Em seguida, passa pela moagem, que reduz as partículas a tamanhos ideais para maximizar a liberação do espodumênio. Após essa etapa, ocorre a deslamagem, que remove partículas finas e lamas que poderiam interferir nas fases subsequentes (SOARES, 2021).

Depois da deslamagem, o material segue para a separação magnética, que descarta os rejeitos ricos em ferro, permitindo que o material não magnético, contendo espodumênio, avance para a etapa de flotação. A flotação, realizada em duas etapas principais—*rougher* e *cleaner*—utiliza reagentes específicos como ácido oleico, silicato de sódio e soda cáustica para controle de pH, que facilitam a separação do espodumênio dos demais minerais presentes. O concentrado obtido na flotação passa por fases de desaguamento, incluindo espessamento, filtragem e secagem, até atingir uma umidade inferior a 2% (SOARES, 2021).

Figura 8 – Concentração de espodumênio da AMG Mineração.



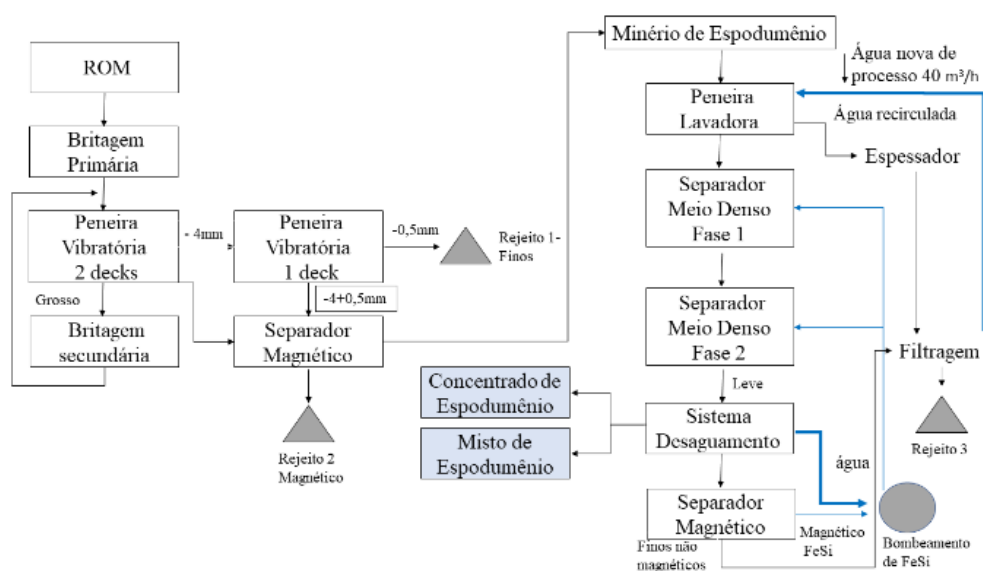
Fonte: (SOARES, 2021).

4.3.3 Sigma Lithium

A Sigma Lithium consolidou sua posição como líder na produção de lítio verde, um conceito que reflete seu compromisso com práticas sustentáveis e inovadoras. Em 2023, a empresa deu início ao beneficiamento de espodumênio em sua moderna planta no Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais, marcando um avanço significativo para a indústria nacional. Nesse mesmo ano, a Sigma realizou a entrega de suas primeiras 30 mil toneladas de lítio verde, reforçando sua capacidade de atender à crescente demanda global por materiais essenciais para baterias de veículos elétricos e dispositivos tecnológicos com o menor custo possível, com zero produtos químicos perigosos, zero rejeitos e zero carbono líquido (BRASIL MINERAL, 2023).

O processo de beneficiamento da Sigma, como ilustrado na Figura 9, é projetado para minimizar impactos ambientais. O minério extraído passa inicialmente por britadores primários e secundários, seguido por peneiras vibratórias que separam as partículas menores de 0,5 mm, classificadas como rejeito. As partículas maiores são direcionadas para um separador magnético, para ser retirado rejeito magnético. Em seguida, o material é peneirado a úmido para remover os finos, que são encaminhados para espessamento e filtração. Esse processo permite a reciclagem de 95% da água utilizada, promovendo uma operação mais sustentável. O material grosso, após a lavagem, segue para o circuito de separação em meio denso, onde o espodumênio, devido à sua densidade de $3,2 \text{ g/cm}^3$, é separado do restante. O concentrado obtido passa por um sistema de desaguamento, que inclui espessamento, filtração e secagem. A água clarificada é recirculada no processo, enquanto a suspensão de Fe-Si utilizada no meio denso é recuperada por separadores magnéticos e reutilizada, reforçando o compromisso da Sigma com a sustentabilidade (SANTOS; NOGUEIRA; BECHELENI, 2022).

Figura 9 – Concentração de espodumênio da Sigma Lithium.



Fonte: (SANTOS; NOGUEIRA; BECHELENI, 2022).

5 DISCUSSÃO

5.1 Desafios e oportunidades do beneficiamento de espodumênio no Brasil

O beneficiamento de espodumênio no Brasil, apesar de muito recente no mercado, já se posiciona como plenamente competitivo em relação ao mercado externo. O robusto investimento em políticas públicas, infraestrutura e tecnologia colocou o país em um patamar elevado de excelência nesse setor. Empresas como a Sigma Lithium e a AMG Mineração têm liderado o avanço, implementando processos inovadores e sustentáveis que reforçam a relevância do Brasil na cadeia global do lítio. Contudo, embora o Brasil já esteja em destaque, ainda há um enorme potencial a ser explorado, com uma capacidade de produção que pode crescer significativamente e consolidar o país como uma potência mundial no mercado de lítio.

5.1.1 Aspectos técnicos

O Brasil já se encontra em um patamar tecnológico avançado no beneficiamento de espodumênio, utilizando métodos que estão entre os mais modernos do mundo. Tecnologias amplamente empregadas pelos maiores produtores globais, como flotação, separação magnética e o inovador *ore sorting*, já são aplicadas no país. Um exemplo notável é a Companhia Brasileira de Lítio (CBL), que, mesmo sendo uma empresa tradicional, incorporou essa tecnologia em seu processo de beneficiamento. Essa modernização demonstra que o Brasil está alinhado com as melhores práticas globais no setor (SOARES *et al.*, 2019).

Apesar desse avanço, um dos desafios técnicos mais significativos é a escassez de estudos acadêmicos e pesquisas voltadas ao lítio no Brasil. A integração entre universidades e a indústria ainda é limitada, o que dificulta o desenvolvimento de soluções tecnológicas próprias e adaptadas às especificidades dos depósitos brasileiros. Essa lacuna representa um obstáculo para a inovação contínua e para a consolidação do país como líder global no mercado de lítio.

Por outro lado, o cenário é promissor. Recentemente, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) anunciaram um investimento de R\$ 5 bilhões para apoiar projetos voltados à transformação de minerais estratégicos, incluindo o lítio. Esse aporte financeiro será direcionado para pesquisa, desenvolvimento e inovação, além de fomentar a construção de

plantas industriais e pilotos. Essa iniciativa não apenas fortalece a infraestrutura tecnológica do setor, mas também incentiva a criação de uma cadeia produtiva mais robusta e sustentável (AGÊNCIA BNDES DE NOTÍCIAS, 2025).

Portanto, embora o Brasil enfrente desafios relacionados à pesquisa e desenvolvimento, o uso de tecnologias de ponta e os investimentos estratégicos em inovação colocam o país em uma posição privilegiada para expandir sua competitividade no mercado global de lítio. No entanto, iniciativas como o Projeto Avaliação do Potencial de Lítio no Brasil, conduzido pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB), têm desempenhado um papel crucial na superação desse desafio. Esse projeto realizou estudos detalhados sobre a mineralogia e a geologia de áreas estratégicas, como o Vale do Jequitinhonha, em Minas Gerais, e a Província Pegmatítica da Borborema, no Nordeste. A partir desses levantamentos, foi possível mapear depósitos de pegmatitos litiníferos, identificar áreas-alvo com maior potencial de exploração e fornecer dados essenciais para novos projetos para o local (FERNANDES *et al.*, 2022).

5.1.2 Aspectos ambientais

O lítio, em alta demanda por sua importância na transição energética, é amplamente reconhecido como um recurso essencial para a produção de baterias que alimentam veículos elétricos e sistemas de armazenamento de energia renovável. Como uma fonte fundamental para soluções sustentáveis no futuro, é crucial que sua cadeia produtiva, desde a extração até o beneficiamento, também seja sustentável. Essa lógica reforça a responsabilidade de incorporar práticas ambientalmente responsáveis já nas etapas iniciais do processo produtivo.

Iniciativas como o Projeto de Lei 2809/2023 também sinalizam o esforço nacional para fomentar práticas sustentáveis. O projeto busca estabelecer um sistema voluntário de certificação para o lítio verde, incentivando as empresas a minimizarem emissões de carbono, reutilizar recursos e adotar tecnologias de baixo impacto. Essa regulamentação projeta o Brasil como um modelo para outros países, combinando responsabilidade ambiental e relevância econômica.

Além disso, a sustentabilidade é cada vez mais reconhecida como um diferencial competitivo no mercado global. A aprovação de R\$ 486,7 milhões pelo BNDES para projetos da Sigma Lithium evidencia o valor econômico de práticas responsáveis (AGÊNCIA BNDES DE NOTÍCIAS, 2024). Esse apoio reforça o compromisso do Brasil com o conceito de lítio

verde, trazendo benefícios não apenas para o meio ambiente, mas também para a atratividade de novos investimentos e a abertura de portas para outras empresas brasileiras.

O beneficiamento de espodumênio embora tecnológico, apresenta desafios ambientais significativos. As operações tradicionais demandam elevados volumes de água e geram grandes quantidades de rejeitos minerais, que precisam ser gerenciados de forma segura e sustentável. Soluções como o armazenamento a seco de rejeitos e a reciclagem de até 95% da água utilizada, já implementadas por empresas como a Sigma Lithium, demonstram que é possível reduzir os impactos ambientais enquanto se mantém a eficiência produtiva.

Com a crescente demanda global pelo lítio, motivada pela transição energética, o Brasil tem a oportunidade de liderar com práticas inovadoras e ambientalmente conscientes. Ao produzir um recurso essencial para o futuro sustentável, o país se posiciona para destacar-se globalmente, equilibrando produtividade e proteção ambiental em toda a cadeia produtiva. A presença da Sigma Lithium, já entregando lítio verde ao mercado, reforça esse posicionamento, pois sua atuação pioneira não apenas estabelece um padrão elevado de sustentabilidade, como também abre portas para outras empresas brasileiras que podem se beneficiar do know-how técnico e das práticas inovadoras implementadas. Esse avanço, por sua vez, atrai novos projetos e investimentos, consolidando o Brasil como referência em produção sustentável no setor mineral.

5.1.3 Aspectos econômicos

O beneficiamento de espodumênio no Brasil apresenta um enorme potencial para impulsionar a economia nacional, especialmente por meio da verticalização da produção. Embora a Companhia Brasileira de Lítio (CBL) já produza compostos de alta pureza, como carbonato e hidróxido de lítio, outras empresas também precisam investir na ampliação da cadeia produtiva, agregando valor ao minério antes de sua exportação. A verticalização não apenas aumenta a rentabilidade do setor, mas também coloca o Brasil em uma posição estratégica como fornecedor de materiais prontos para o mercado global de baterias, reduzindo a dependência de intermediários e fortalecendo a economia local.

No âmbito do beneficiamento, a verticalização também traz uma série de vantagens. Primeiro, ao assegurar que os produtos finais de maior valor agregado sejam produzidos localmente, ela incentiva melhorias tecnológicas nos processos de concentração. Isso porque um concentrado de maior pureza é um pré-requisito essencial para a transformação em

compostos químicos, o que força as empresas a implementarem tecnologias mais eficientes e sustentáveis em suas plantas de beneficiamento. Além disso, a existência de uma cadeia produtiva completa no Brasil oferece maior segurança às empresas de beneficiamento, garantindo que seus produtos tenham demanda interna robusta, seja pela fabricação de baterias ou outros produtos de lítio.

A entrada da Bravo Motor Company, responsável pela instalação da primeira fábrica de baterias de lítio da América Latina, localizada em São Sebastião do Passé, na Bahia, é um marco importante nesse contexto. Com um investimento inicial de R\$ 1,27 bilhão e planos de expansão que podem alcançar R\$ 25 bilhões ao longo de nove anos, essa iniciativa não apenas estimula o consumo interno de compostos de lítio, mas também promove a criação de um ecossistema integrado. A produção de baterias e células de íon-lítio na fábrica se alinha diretamente com o beneficiamento de lítio no Brasil, fortalecendo a cadeia produtiva nacional. Com isso, o Brasil tem a oportunidade de consolidar uma cadeia robusta e competitiva, alinhada às tendências globais de eletrificação e à transição energética sustentável

Outro ponto de destaque é a valorização dos subprodutos gerados durante o beneficiamento do espodumênio. Minerais como quartzo, feldspato e mica, frequentemente descartados como rejeitos, possuem mercado em diversas indústrias, como as de cerâmica, vidros e cosméticos. Investir na recuperação e comercialização desses materiais não apenas gera receitas adicionais, mas também contribui para práticas mais sustentáveis, minimizando os impactos ambientais e reduzindo o desperdício.

Além disso, o crescimento do setor de beneficiamento traz oportunidades significativas para o desenvolvimento regional. Cidades como Araçuaí e Itinga, localizadas em Minas Gerais, têm se beneficiado da instalação e expansão de operações de mineração, com geração de empregos e melhorias na infraestrutura local. No entanto, é fundamental garantir que esse crescimento seja acompanhado de investimentos em educação, saúde e capacitação, para que os benefícios sejam duradouros e amplamente distribuídos.

Por outro lado, os desafios também são evidentes. O aumento da atividade industrial pode gerar impactos ambientais e sociais, como pressões sobre os recursos hídricos e a necessidade de gestão eficiente de rejeitos. Portanto, é imprescindível que empresas e governos implementem políticas robustas de sustentabilidade e monitoramento ambiental, assegurando que o crescimento econômico esteja alinhado com a preservação do meio ambiente e o bem-estar das comunidades.

Com iniciativas como a instalação da BYD, os esforços para a verticalização da produção e a valorização de subprodutos e das comunidades, o Brasil está bem-posicionado para se consolidar como uma potência global no setor de lítio. Contudo, o equilíbrio entre expansão econômica e sustentabilidade será crucial para garantir que o país alcance seu pleno potencial nesse mercado estratégico.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho avaliou o beneficiamento de espodumênio no Brasil, destacando os principais desafios e oportunidades que envolvem essa atividade. O país, apesar de ainda recente no mercado global de lítio, já se posiciona de maneira competitiva, com investimentos significativos em políticas públicas, infraestrutura e tecnologias de ponta. As iniciativas de empresas como a Sigma Lithium e a AMG Mineração demonstram que o Brasil está no caminho certo para consolidar-se como uma das referências globais no setor.

O avanço tecnológico no beneficiamento de espodumênio no Brasil é impressionante, marcado pelo uso de métodos modernos. Essas tecnologias, amplamente empregadas no país, aumentam significativamente a eficiência dos processos de concentração, elevando o nível do concentrado de espodumênio e reduzindo desperdícios. Essa evolução coloca o Brasil em um patamar competitivo no mercado global.

A valorização do conhecimento técnico específico, como demonstrado em operações globais bem-sucedidas, reforça a importância de o país investir no desenvolvimento e acumulação de conhecimento especializado. Esse investimento é essencial para consolidar uma base sólida que favoreça a implementação de novos projetos, impulsionando ainda mais o setor.

Por outro lado, o conceito de lítio verde, liderado pela Sigma Lithium, representa um marco técnico, sustentável e inovador. A empresa implementou um modelo industrial baseado em automação, inteligência artificial e processos digitalizados, consolidando o Brasil como referência em práticas inovadoras e ambientalmente responsáveis. O processo de beneficiamento da Sigma utiliza tecnologias avançadas, como o armazenamento a seco de rejeitos e a reciclagem de 95% da água empregada, eliminando o uso de produtos químicos perigosos e reduzindo significativamente o impacto ambiental. Essa abordagem não apenas otimiza o processamento do espodumênio, mas também agrega valor ao produto final, alinhando eficiência técnica e sustentabilidade.

Além dos avanços tecnológicos, a valorização de subprodutos do beneficiamento, como quartzo, feldspato e mica, representa uma oportunidade econômica e ambiental para as operações nacionais. Essa estratégia, combinada com o desenvolvimento de cadeias produtivas integradas e o crescimento da indústria interna, como exemplificado pela instalação de fábricas de baterias no Brasil, fortalece a economia local, reduz custos logísticos e promove maior competitividade global.

Por fim, o Brasil caminha para consolidar-se como uma referência global no beneficiamento de espodumênio, mas ainda há desafios significativos a serem enfrentados. É essencial que o avanço dessa atividade seja sustentado por políticas públicas consistentes, investimentos estratégicos em infraestrutura e inovação tecnológica, além de um aumento expressivo nos estudos acadêmicos voltados para o desenvolvimento de técnicas específicas ao contexto nacional. A integração entre universidades e o setor industrial, juntamente com o aprimoramento contínuo dos processos de beneficiamento, será fundamental para superar barreiras técnicas e escalar a produção de forma sustentável.

O equilíbrio entre inovação tecnológica, crescimento econômico e sustentabilidade ambiental será a base para que o Brasil maximize seu potencial, destacando-se como líder no beneficiamento de espodumênio e contribuindo para uma cadeia produtiva mais robusta, eficiente e alinhada às demandas globais de transição energética.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADACHI, V. **Decreto libera exportação de lítio do Brasil – e pode destravar investimentos na cadeia das baterias.** Disponível em: <<https://capitalreset.uol.com.br/transicao-energetica/transportes/decreto-libera-exportacao-de-litio-do-brasil-e-pode-destravar-investimentos-na-cadeia-das-baterias/>>. Acesso em: 12 nov. 2024.

AGÊNCIA BNDES DE NOTÍCIAS. **BNDES aprova R\$ 486,7 milhões para Sigma Lithium beneficiar lítio de forma sustentável.** Disponível em: <[https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/detalhe/noticia/BNDES-aprova-R\\$-4867-milhoes-para-Sigma-Lithium-beneficiar-litio-de-forma-sustentavel/](https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/detalhe/noticia/BNDES-aprova-R$-4867-milhoes-para-Sigma-Lithium-beneficiar-litio-de-forma-sustentavel/)>. Acesso em: 11 fev. 2025.

____. **Com R\$ 5 bi, BNDES e Finep apoiarão projetos para transformação de minerais estratégicos.** Disponível em: <[https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/detalhe/noticia/Com-R\\$-5-bi-BNDES-e-Finep-apoiarao-projetos-para-transformacao-de-minerais-estrategicos/](https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/detalhe/noticia/Com-R$-5-bi-BNDES-e-Finep-apoiarao-projetos-para-transformacao-de-minerais-estrategicos/)>. Acesso em: 11 fev. 2025.

AGÊNCIA GOV. **Brasil tem potencial para ampliar produção de lítio de 2% para 25%.** Disponível em: <<https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202407/brasil-tem-potencial-para-ampliar-producao-de-litio-de-2-para-25-sgb>>. Acesso em: 28 jan. 2025.

ANGELO, M. **Bolsonaro e MME liberam geral para o mercado de lítio, favorecendo carros elétricos e multinacionais.** Disponível em: <<https://observatoriodamineracao.com.br/bolsonaro-e-mme-liberam-geral-para-o-mercado-de-litio-favorecendo-carros-eletricos-e-multinacionais/>>. Acesso em: 28 jan. 2025.

BEURLIN, H.; THOMAS, R.; SILVA, M. R. R. DA; MÜLLER, A.; RHEDE, D.; SOARES, D. R. Perspectives for Li- and Ta-Mineralization in the Borborema Pegmatite Province, NE-Brazil: A review. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 56, p. 110–127, dez. 2014.

BOWELL, R. J.; LAGOS, L.; LOS HOYOS, C. R. DE; DECLERCQ, J. **Classification and Characteristics of Natural Lithium Resources.** [s.l: s.n.].

BRADLEY, D. C.; STILLINGS, L. L.; JASKULA, B. W.; MUNK, L.; MCCAULEY, A. D. **Lithium.** [s.l: s.n.].

BRAGA, P. F. A.; FRANÇA, S. C. A. **Lítio: Um Mineral Estratégico.** [s.l: s.n.].

BRAGA, P. F. A.; SAMPAIO, J. A. Lítio. *Em: Minerais industriais*. [s.l.] CETEM/MCTI, 2008. p. 585–603.

BRASIL MINERAL. **Sigma Lithium embarca primeiras 30 mil t de lítio verde**. Disponível em: <<https://www.brasilmineral.com.br/noticias/sigma-lithium-embarca-primeiras-30-mil-t-de-litio-verde>>. Acesso em: 10 fev. 2025.

BRIGIDO, C. R. DOS S.; BRUNHARA, G. F.; BRAGA, P. F. A. **TECNOLOGIAS PARA EXTRAÇÃO DE LÍTIO EM ROCHAS E EM SALMOURAS - UMA REVISÃO** São Paulo: 2024

CHAVES, M. L. DE S. C.; DIAS, C. H. Lítio em Minas Gerais. **Terrae Didatica**, v. 18, p. e022040, 29 dez. 2022.

COMPANHIA BRASILEIRA DE LÍTIO. **DIAGRAMA DE PROCESSO**. Disponível em: <https://www.cblitio.com.br/_files/ugd/3b3afd_a4fa1f52c8064ae085f00347c353f7ad.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2025a.

____. **Unidade de Mineração**. Disponível em: <<https://www.cblitio.com.br/nossas-opera%C3%A7%C3%B5es>>. Acesso em: 10 jan. 2025b.

FERNANDES, P. R.; PAES, V. J. DE C.; SILVEIRA, F. V.; CABRAL NETO, I. **Avaliação do potencial de lítio no Brasil - área: Província Pegmatítica da Borborema (SGB-CPRM, Ed.)**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/23040>>.

GRAHAM, J. D.; RUPP, J. A.; BRUNGARD, E. Lithium in the Green Energy Transition: The Quest for Both Sustainability and Security. **Sustainability**, v. 13, n. 20, p. 11274, 13 out. 2021.

HEINZ EBERT, M. DE M. M. E R. **ESPODUMÊNIO (Spodumene)**. Disponível em: <<https://museuho.com.br/mineral/espodumenio-spodumene/>>. Acesso em: 1 fev. 2025.

JASKULA, B. W. **LITHIUM**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024-lithium.pdf>>.

LIMA, B. AMG inaugura planta de concentração de espodumênio em MG. **Revista Mineração**, 16 maio 2018.

LOPES, M. D. M. **LÍTIO -- CARACTERÍSTICAS, OCORRÊNCIAS, PRODUÇÃO E USO**. Araxá: CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS, 2019.

LUZ, A. B. DA; COELHO, J. M.; COSTA, M. J.; PIQUET, B.; LINS, F. A. F. **Pegmatitos do Nordeste: diagnóstico sobre o aproveitamento racional e integrado**. Rio de Janeiro: [s.n.].

MARQUES, J. P. M. **A INDÚSTRIA DE SAIS DE LÍTIO NO BRASIL**. Campinas: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, ago. 1996.

MERCADO COMUM. Preço do lítio pode se estabilizar após dois anos em queda. 27 jan. 2025.

NAVARRO, G. R. B.; LEME, T. G.; ZANARDO, A.; MONTIBELLER, C. C. Espodumênio. *Em*: MUSEU DE MINERAIS, M. E R. “PROF. DR. H. E. (Ed.). . **Livro de referência de Minerais Comuns e Economicamente Relevantes: INOSSILICATOS**. [s.l.: s.n.]. .

NOVO. **Governo Zema, com o Vale do Lítio, Desenvolve Região Mais Pobre de Minas**. Disponível em: <<https://novo.org.br/zema-vale-do-litio-regiao-pobre-minas/>>. Acesso em: 10 jan. 2025.

REDAÇÃO ITM. **PLANTA DE DESAGUAMENTO EM VOLTA GRANDE**. Disponível em: <<https://www.inthemine.com.br/site/planta-de-desaguamento-em-volta-grande/>>. Acesso em: 29 jan. 2025.

SANTOS, E. T. C.; NOGUEIRA, J.; BECHELENI, E. M. DE A. ANÁLISE PRELIMINAR DO USO DA ÁGUA NAS ROTAS DE PRODUÇÃO DE CONCENTRADO DE ESPODUMÊNIO E COMPOSTOS DE LÍTIO. 2022.

SOARES, J. C. **EFEITO DA GRANULOMETRIA DA ALIMENTAÇÃO NA FLOTAÇÃO DE ESPODUMÊNIO**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2021.

SOARES, J. F. C.; GALERY, R.; SOUTO, V.; AZEVEDO, R. P.; BRANDÃO, P. E.; MAZZINGHY, D. B. **APLICAÇÃO DO ORE SORTING NO BENEFICIAMENTO MINERAL DE LÍTIO** 2019

TARASCON, J.-M. Is lithium the new gold? **Nature Chemistry**, v. 2, n. 6, p. 510–510, jun. 2010.