

**SIC**  
Secretaria de  
Estado de  
Indústria,  
Comércio e  
Serviços



## **Caderno 2**

### **Integração das cadeias Produtivas**

#### **Relatório 1**

Descrição das Cadeias Produtivas e dos Arranjos Produtivos  
Locais para os Principais Bens Minerais (Construção civil,  
Agronegócios, Minerais Industriais, Materiais Tecnológicos,  
Indústria de Transformação, Indústria Química)

**Organizadora**  
**PROFA. ESTELA LEAL CHAGAS NASCIMENTO**  
**Universidade Federal de Goiás (UFG)**



# **GOVERNO DO ESTADO DE GOIÁS - GO**

SECRETARIA DE INDÚSTRIA, COMÉRCIO E  
SERVIÇOS - SIC

## **Caderno 2 Integração das cadeias Produtivas**

### **Relatório 1**

Descrição das Cadeias Produtivas e dos Arranjos Produtivos  
Locais para os Principais Bens Minerais (Construção civil,  
Agronegócios, Minerais Industriais, Materiais Tecnológicos,  
Indústria de Transformação, Indústria Química)

**Goiânia, setembro de 2023**

CONTRATO Nº 08/2022 -  
SECRETARIA DE INDÚSTRIA,  
COMÉRCIO E SERVIÇOS – SIC

**PLANO ESTADUAL DE RECURSOS MINERAIS DE  
GOIÁS - PERM 2022-2042**

**Caderno 2  
Integração das cadeias Produtivas**

**Relatório 1**

Descrição das Cadeias Produtivas e dos Arranjos Produtivos  
Locais para os Principais Bens Minerais (Construção civil,  
Agronegócios, Minerais Industriais, Materiais Tecnológicos,  
Indústria de Transformação, Indústria Química)

**Organizadora  
PROFA. ESTELA LEAL CHAGAS NASCIMENTO  
Universidade Federal de Goiás (UFG)**

**Goiânia, setembro de 2023**

**Autores:**

**Debora Nogueira Lopes**

Universidade Federal de Goiás (UFG)  
Graduada em Geologia – Universidade Federal do Ceará (UFC)  
Mestre em Ciências Naturais - Universidade Estadual do Rio Grande do Norte (UERN)  
Doutora em Geologia - Universidade Federal do Ceará (UFC)  
Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2522491788797762>

**Estela Leal Chagas do Nascimento**

Universidade Federal de Goiás (UFG)  
Graduada em Geologia – Universidade de Brasília (UnB)  
Mestre em Geologia Econômica – Universidade de Brasília (UnB)  
Doutora em Geologia Econômica e Petrologia - Universidade de Brasília (UnB).  
Currículo Lattes: <https://lattes.cnpq.br/2417642850535273>

**José de Araújo Nogueira Neto**

Universidade Federal de Goiás (UFG)  
Graduado em Geologia – Universidade de Fortaleza (UNIFOR)  
Especialista em Gemologia – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)  
Doutor em Geociências – Universidade Estadual Paulista (UNESP)  
Pós-Doutorado em Rochas e Minerais Industriais - Universidade Técnica de Lisboa (UNL)  
Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0273671687486902>

**Marcelo Henrique Leão-Santos**

Universidade de Brasília (UnB), Faculdade de Planaltina, Instituto de Geociências  
Graduado em Geologia – Universidade de Brasília (UnB)  
Mestre em Geologia e Geofísica Aplicada – Universidade de Brasília (UnB)  
Doutor em Geologia Econômica e Prospecção - Universidade de Brasília (UnB),  
*Colorado School of Mines (CSM)*  
Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5435380608181101>

**Rodrigo Prudente de Melo**

Universidade Estadual Paulista (UNESP)  
Graduado em Geologia - Universidade Estadual Paulista (UNESP)  
Mestre em Geologia Regional - Universidade Estadual Paulista (UNESP)  
Doutor em Geociências e Meio - Universidade Estadual Paulista (UNESP), *Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS)*  
Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/036097762225715>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1: Cadeia produtiva do cimento e dos agregados para construção civil</b>	<b>6</b>
<b>Figura 2: Detalhe da cadeia produtiva da areia no Estado de Goiás</b>	<b>8</b>
<b>Figura 3: Mapa do estado de Goiás com os municípios que fazem parte do arranjo produtivo de cerâmica vermelha do Norte Goiano destacados em azul</b>	<b>11</b>
<b>Figura 4: Estrutura de comercialização e de processamento de rochas ornamentais no Brasil.</b>	<b>15</b>
<b>Figura 5: Processo de produção do calcário agrícola</b>	<b>18</b>
<b>Figura 6: Cadeia produtiva do fosfato</b>	<b>21</b>
<b>Figura 7: Processo de produção de Fertilizantes na Mina de Ouvidor (GO).</b>	<b>22</b>
<b>Figura 8: Depósitos conhecidos em polígonos brancos. (a) Mapa do Gradiente Magnético Total da área de estudo, mostra que a maioria dos depósitos conhecidos possui uma alta assinatura de anomalia magnética. (b) Imagem Radiométrica Ternária RGB mostra as concentrações equivalentes de K, Th e U na área. A maioria dos depósitos tem assinaturas de baixa contagem radiométrica. (c) Mapa Final usando os resultados da Random Forest. As áreas indicadas como alvos são classificadas de 1 a 3, com base em quantos mapas elas ocorrem. Uma parte alta do mapa é destacada como classificação 1, mas também existem vários locais classificados como 2 ou 3 fora dos depósitos conhecidos, onde a pesquisa de exploração mineral deve ser focada.</b>	<b>26</b>
<b>Figura 9: Cadeia do alumínio a partir da mineração de bauxita</b>	<b>30</b>
<b>Figura 10: Cadeia produtiva do Nióbio.</b>	<b>32</b>
<b>Figura 11: Fluxograma com as etapas iniciais do processo de produção de ligas de nióbio da Mina Boa Vista em Catalão.</b>	<b>33</b>
<b>Figura 12: Cadeia produtiva do cobre.</b>	<b>36</b>
<b>Figura 13: Cadeia produtiva do níquel</b>	<b>38</b>
<b>Figura 14: Fluxograma ilustrado da produção de ligas de ferro-níquel na Unidade da CODEMIN em Niquelândia através do circuito RKEF</b>	<b>39</b>
<b>Figura 15: Cadeia do ouro</b>	<b>45</b>
<b>Figura 16: Fluxograma do processo de beneficiamento de ouro na unidade industrial da Anglo Gold Ashanti em Crixás.</b>	<b>46</b>
<b>Figura 17: Fluxograma da cadeia de produtividade da esmeralda.</b>	<b>49</b>

## **LISTA DE TABELAS**

**Tabela 1: Ganhos significativos do Arranjo Produtivo Local (APL) de Cerâmica Vermelha em Goiás.**

12

# SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO</b>	<b>4</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>5</b>
<b>2. BENS MINERAIS DESTINADOS À CONSTRUÇÃO CIVIL</b>	<b>5</b>
<b>2.1 AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL (BRITA, AREIA E CASCALHO)</b>	<b>6</b>
<b>2.2 CIMENTO</b>	<b>8</b>
<b>2.3 ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA (ARGILA COMUM)</b>	<b>9</b>
<b>2.4 ROCHAS ORNAMENTAIS</b>	<b>13</b>
<b>3. INSUMOS DESTINADOS AO AGRONEGÓCIO</b>	<b>15</b>
<b>3.1 CALCÁRIO</b>	<b>16</b>
3.1.1 CADEIA PRODUTIVA DO CALCÁRIO AGRÍCOLA	17
<b>3.2 FOSFATO</b>	<b>19</b>
3.2.1 CADEIA PRODUTIVA DO FOSFATO	20
<b>3.3 REMINERALIZADORES</b>	<b>22</b>
3.3.1 CADEIA PRODUTIVA DOS REMINERALIZADORES	24
<b>4. MINERAIS INDUSTRIAIS</b>	<b>25</b>
<b>4.1 VERMICULITA</b>	<b>25</b>
<b>5. BENS MINERAIS METÁLICOS DESTINADOS À INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO E DE TECNOLOGIA</b>	<b>28</b>
<b>5.1 ALUMÍNIO</b>	<b>28</b>
5.1.1 CADEIA PRODUTIVA DO ALUMÍNIO	29
<b>5.2 NIÓBIO</b>	<b>30</b>
5.2.1 CADEIA PRODUTIVA DO NIÓBIO	31
<b>5.3 COBRE</b>	<b>33</b>
5.3.1 CADEIA PRODUTIVA DO COBRE	35
<b>5.4 NÍQUEL</b>	<b>36</b>
5.4.1 CADEIA PRODUTIVA DO NÍQUEL	37
<b>5.5 ELEMENTOS TERRAS RARAS (ETR)</b>	<b>40</b>
5.5.1 CADEIA PRODUTIVA DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS (ETR's)	41
<b>5.6 OURO</b>	<b>41</b>
5.6.1 CADEIA PRODUTIVA DO OURO	43
<b>6 GEMAS</b>	<b>46</b>
<b>6.1 ESMERALDAS</b>	<b>48</b>
6.1.2 CADEIA PRODUTIVA DAS GEMAS	49
<b>7. CONCLUSÃO</b>	<b>51</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>5</b>

## **Apresentação**

Este relatório faz parte do eixo “Integração das Cadeias produtivas do Estado de Goiás” do Contrato 08/2022 – SIC, assinado em 04.11.2022 que tem como objeto a elaboração e execução do projeto de pesquisa denominado PLANO ESTADUAL DE RECURSOS MINERAIS DE GOIÁS – PERM 2022 - 2042. O conteúdo apresenta a versão 1 do Relatório 2.1 “Descrição das Cadeias Produtivas e dos Arranjos Produtivos Locais para os Principais Bens Minerais (Construção civil. Agronegócios, minerais industriais, materiais tecnológicos, indústria de transformação, indústria química)”.

## **1. Introdução**

Segundo Colpo et al. (2013) o setor mineral é parte da cadeia de produção de diversos itens, pois através do processamento de matérias primas naturais, conhecidas como minério são obtidos diversos produtos que possuem valor econômico.

No estado de Goiás as cadeias produtivas dos principais bens minerais metálicos geralmente estão restritas aos ciclos iniciais, referentes à etapa de extração transporte e processamento inicial com a produção de concentrados, e em alguns casos fundição com a produção de metais e ligas metálicas destinadas à indústria metalúrgica para o processamento de bens intermediários, normalmente localizadas fora do estado ou transportados para portos onde concentrados são exportados para plantas no exterior. Este é, por exemplo, o caso do cobre, bauxita metalúrgica, nióbio, níquel, ouro, manganês e estanho, que estão entre os principais bens minerais produzidos no estado.

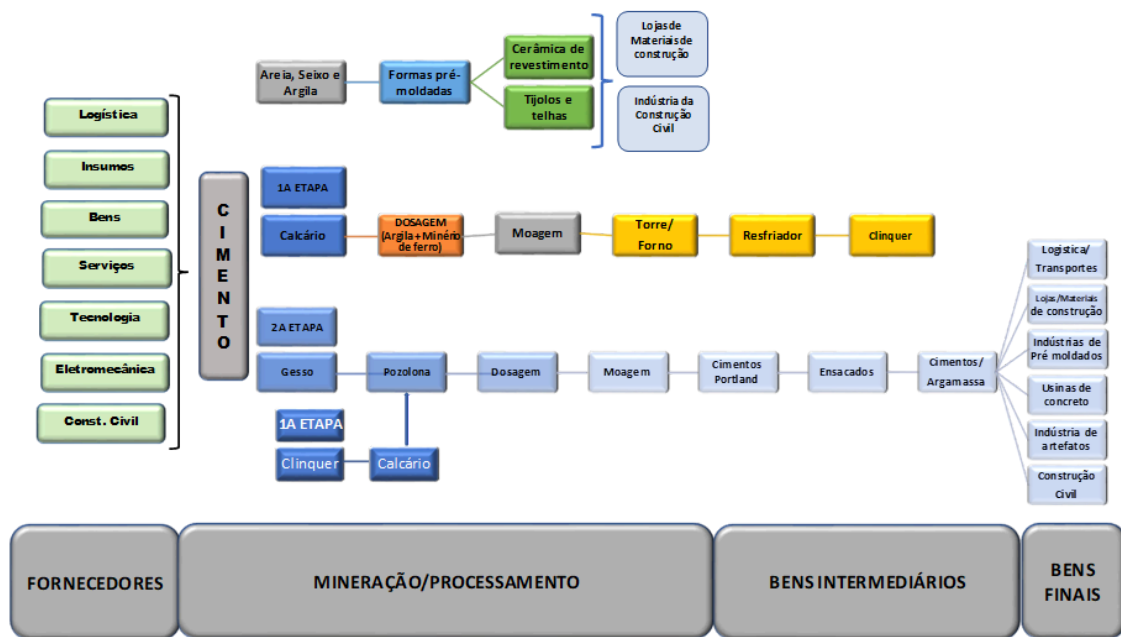
Alguns bens minerais possuem cadeias mais completas que vão até a etapa de comercialização. Bens minerais destinados ao agronegócio, como fosfato e calcário para corretivo agrícola são os que possuem as cadeias produtivas mais completas dentro do estado, uma vez que boa parte dos bens produzidos são comercializados e consumidos dentro do próprio estado. O mesmo ocorre na produção de agregados para a construção civil, que também possuem ciclo completo dentro do próprio estado, com produção e comercialização local.

Abaixo é apresentada uma análise das cadeias produtivas dos principais bens minerais produzidos no estado e em seguida é discutida as possibilidades de integração e verticalização dessas cadeias.

## **2. Bens Minerais Destinados à Construção Civil**

Os insumos utilizados na construção civil compreendem uma ampla lista de materiais que vai desde produtos naturais semimanufaturados, como por exemplo cascalho, brita, areia, até produtos industriais, como por exemplo louças cerâmicas, artefatos de concreto, cimento, vergalhões etc. Esse tópico será focado na cadeia produtiva dos agregados para construção civil, na indústria do cimento, na cerâmica

vermelha e na cadeia produtiva das rochas ornamentais, ou seja, produtos obtidos diretamente da lavra de materiais naturais, ou que são matérias de base da construção civil. A cadeia produtiva dos agregados para a construção se complementa com a cadeia produtiva do cimento, da argila vermelha (Figura 01), e das rochas ornamentais, uma vez que o destino final desses produtos é a indústria da construção civil.



**Figura 1: Cadeia produtiva do cimento e dos agregados para construção civil**

Fonte: Elaboração de Maria Amélia Enríquez, Lucas Paiva Ferraz e Evandro Diniz

## 2.1 Agregados para construção civil (brita, areia e cascalho)

Os agregados para construção civil são materiais granulares, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades estabelecidas destinados a obras de engenharia civil, tais como, a pedra britada, cascalho e as areias naturais ou obtidas por moagem de rocha, além das argilas e dos substitutivos como resíduos inertes reciclados, escórias de aciaria, produtos industriais, entre outros (La Serna & Rezende, 2009).

A mineração de agregados para a construção civil gera grandes volumes de produção (La Serna & Rezende, 2009). Segundo dados da Agência Nacional de Mineração (ANM), em 2021, o Estado de Goiás produziu cerca de 9,1 milhões de toneladas de brita e cascalho beneficiados, destinadas à construção civil. Sua cadeia produtiva envolve beneficiamento simples com produção localizada, geralmente em regiões periféricas de centros urbanos, próxima ao mercado consumidor, devido ao

baixo valor unitário, o que inviabiliza o transporte a grandes distâncias.

Segundo La Serna & Rezende (2009), este setor é o segmento da indústria mineral que comporta o maior número de empresas e trabalhadores e o único a existir em todos os estados brasileiros.

A cadeia produtiva envolve uma cadeia de fornecedores relativamente pequena, que inclui principalmente bens, insumos, logística e serviços sendo os principais insumos, energia elétrica e óleo diesel.

O processo produtivo, como dito anteriormente, é bastante simples. No caso da brita e do cascalho de rocha, começa com o decapeamento e desmonte da rocha, utilizando-se explosivos. Posteriormente o ROM (Run of Mine) é transportado até as plantas de britagem onde o material é cominuído e classificado em pilhas de acordo com o tamanho dos fragmentos. Posteriormente esse material é comercializado com lojas de material de construção ou diretamente com o consumidor final, a partir do qual é feito o transporte até os locais de obra, usinas de concreto ou fábricas de artefatos de concreto, onde são utilizados, junto com areia, na produção de concreto e artefatos de concreto ou na pavimentação e recapeamento de vias etc.

A areia, ao seu turno, exibe ampla aplicação, são empregadas na construção civil como agregado miúdo e graúdo (areia natural), como componente de revestimento asfáltico, do concreto, na indústria (areia industrial) como matéria-prima na fabricação de vidros, para fins metalúrgicos etc.

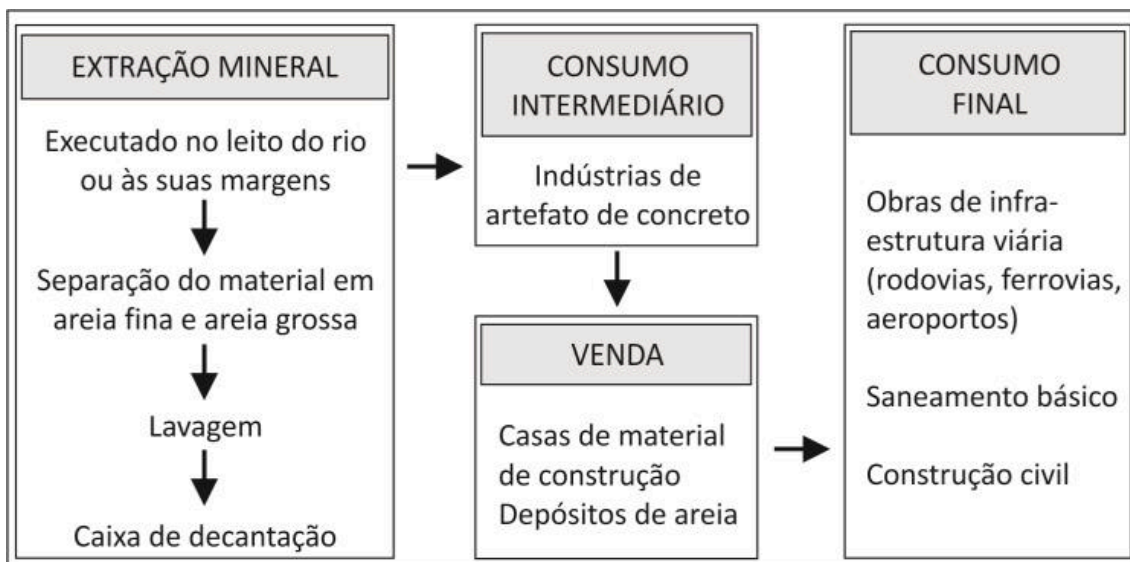
Conforme ANM, a produção de areia no estado de Goiás, para os dados mais recentes de 2021, em quantidade de minério bruto produzido, alcançou aproximadamente 2,6 milhões de toneladas, posicionando o estado em oitavo lugar na produção nacional.

As areias produzidas em goiás provêm de três distintos tipos de jazidas, a saber: (i) areia de origem aluvionar; (ii) areia de origem intempérica residual (sequeiro) derivados de protólitos graníticos; e (iii) areia artificial, constituída por um agregado resultante de processos mecânicos de cominuição de grãos, por moagem de rochas granitoides e quartzitos, e por vezes a partir do rejeito das pedreiras que produzem brita (Gollmann, 2016). A produção de areias associadas a tais jazimentos, foram descritas como resultados de estudos na Região Metropolitana de Goiânia (RMG), entretanto não diferem daquelas encontradas nas outras regiões do estado.

A lavra de areia no Estado de Goiás é majoritariamente executada nas margens ou no leito de rios através do uso de dragas. O material dragado é separado por

granulometria onde é classificado em pilhas de areia fina, média e grossa. Após a separação o material é eventualmente lavado para remoção de partículas finas e impurezas e enviados para caixas de decantação (Figura 02). Seguindo rota similar à da brita, após lavada a areia é comercializada e transportada até usinas de concreto ou fábricas de artefatos de concreto, ou com lojas de material de construção que vendem areia in natura para o consumidor final.

O nível de mecanização e profissionalização da produção varia enormemente entre as empresas do setor, principalmente na indústria de brita. Empresas de maior porte possuem maior nível de mecanização e conseqüentemente uma variedade maior de produtos, conforme granulometria e características do material que podem variar desde blocos de rocha até pó de brita.



**Figura 2: Detalhe da cadeia produtiva da areia no Estado de Goiás**

Fonte: Tibiriça (2018)

## 2.2 Cimento

O cimento é o resultado de uma operação industrial integrada. Trata-se de um produto homogêneo, com uma variedade limitada de tipos, conforme as Normas Técnicas estabelecidas pela ABNT. É fundamental para diversos tipos de construção, desde o início até a conclusão do projeto. O calcário e a argila, quando processados pela indústria do cimento, em conjunto com areia e brita, formam os elementos essenciais para a composição do concreto. Possui uma vida útil limitada, com capacidade de armazenamento reduzida, ocupando espaços consideráveis. É utilizado ao longo de toda

a obra, sem a presença de estoques reguladores (SNIC, 2023).

Segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), as estimativas para a produção de cimento no Estado de Goiás no ano de 2022 foram de 2,274,046 toneladas (ton). O perfil de distribuição do cimento no estado foi de 386,278 ton para concreteiras, 1,540,247 ton para revendedores, 339,939 ton para outros, e nada para exportação, com um total de 2,266,464 ton.

O estado de Goiás, segundo o SNIC, possui poucas fábricas de cimento distribuídas em diferentes regiões que atendem principalmente as cidades do estado e as regiões metropolitanas de Goiânia e Brasília. Desde a década de 60 ocorre a extração de calcário no eixo Cezarina-Indiara. Uma unidade da empresa InterCement está instalada no município de Cezarina (InterCement, 2023). Outra unidade da Votorantim Cimentos está instalada em Edealina (Votorantim, 2023). A terceira unidade, descrita pelo SNIC como de propriedade da CSN, operava na cidade de Cocalzinho de Goiás, mas encontra-se fechada e não consta no sítio da CSN (CSN, 2023).

A cadeia produtiva do cimento (Figura 01) envolve várias etapas que transformam matérias-primas em produto final. Essas etapas compreendem desde a extração das matérias-primas até a distribuição do cimento para os consumidores finais. Vamos detalhar as principais etapas da cadeia produtiva do cimento:

- Extração das Matérias-Primas: Matérias-primas comuns incluem calcário, argila, gesso ou pozolana, conforme o tipo de cimento. Estas são extraídas de pedreiras ou minas (Horn, 2007).
- Britagem e Moagem: As matérias-primas são britadas e moídas para obter uma mistura homogênea (Fuerstenau et al, 2003).
- Pré-Homogeneização: Processo para garantir a uniformidade das características do cimento na mistura (Bier, 2005).
- Produção do Clinker: Aquecimento da mistura em fornos rotativos para formar o clínquer (Hewlett, 2003).
- Moagem do Clinker: Moagem do clínquer com adições de gesso, calcário ou pozolana, conforme o tipo de cimento final a ser produzido (Taylor, 1997).
- Adição de Aditivos e Ensacamento: Adição de aditivos para melhorar características do cimento antes do ensacamento (Malhotra & Mehta, 2006).
- Distribuição e Comercialização: Distribuição do cimento para pontos de venda e clientes.
- Construção e Utilização: Utilização do cimento na construção de estruturas e

infraestrutura.

### **2.3 Argila para cerâmica vermelha (argila comum)**

A composição do substrato geológico do Goiás, abrange extensas camadas de sedimentos, como as bacias fanerozóicas e os depósitos cenozóicos. Os processos de evolução da paisagem propiciaram a formação de coberturas residuais intempéricas notáveis, que formaram os depósitos de argila usados na produção cerâmica e que estão distribuídos por todo o estado (Junior et al., 2005). Esses depósitos de argila podem ser categorizados em dois principais tipos: argilas quaternárias e argilas originárias de bacias sedimentares.

Mineralogicamente, de acordo com Dana & Hurlbut (1960), os argilominerais pertencem à classe dos filossilicatos, possuem estruturas fortemente anisotrópicas e grande variabilidade composicional; a maioria tem sistema cristalino monoclinico e hábito prismático, sendo alguns triclinicos. Segundo Dana & Hurlbut (1960), os argilominerais são estruturas constituídas pelo empilhamento de folhas de tetraedros (T) e octaedros (O). A ligação de uma folha de tetraedro a uma folha de octaedro origina o grupo de argilominerais com camadas 1:1 (tipo T-O). Nestas camadas, o plano não compartilhado de ânions da folha de octaedro, consiste inteiramente de grupos de hidroxilas.

A cadeia produtiva da cerâmica vermelha no estado de Goiás tem diversas fases que transformam as matérias-primas em produtos, como tijolos e telhas cerâmicas.

As principais etapas dessa cadeia produtiva podem ser sumarizadas em:

- Extração das matérias-primas com a produção da cerâmica vermelha, que incluem argilas adequadas para a fabricação de tijolos e telhas.
- Preparação das argilas para garantir a composição adequada e a plasticidade necessária para a moldagem dos produtos cerâmicos.
- Moldagem na forma desejada, utilizando prensas, extrusoras ou moldagem manual, para criar tijolos, telhas e outros produtos cerâmicos.
- Secagem para eliminar a umidade e garantir a resistência e durabilidade adequadas.
- Queima, também chamada de cocção, em fornos de altas temperaturas. Durante esse processo, ocorre a sinterização, transformando os produtos em cerâmica vermelha.



Fonte: Aulicino, 2014 - DTTM/SGM/MME

O Arranjo Produtivo Local (APL) de Cerâmica Vermelha em Goiás é um agrupamento de empresas e organizações relacionadas à produção de cerâmica vermelha no estado de Goiás, Brasil. Este APL representa uma concentração geográfica e setorial de empresas que atuam na produção de produtos cerâmicos vermelhos, como tijolos, telhas e outros materiais de construção feitos de argila vermelha.

Neste APL, as empresas muitas vezes compartilham conhecimentos, recursos, tecnologias e colaboram de maneira coordenada para melhorar a competitividade e a eficiência da indústria cerâmica vermelha em Goiás. O objetivo é impulsionar o desenvolvimento econômico regional, gerar empregos, promover inovação, aumentar a qualidade dos produtos e fortalecer a cadeia produtiva.

Aspectos-chave desse APL pode incluir a otimização dos processos de produção, a busca por práticas sustentáveis, o investimento em qualificação da mão de obra, a melhoria da infraestrutura, a exploração de novos mercados e a promoção da cooperação entre os membros do arranjo. O APL de Cerâmica Vermelha em Goiás pode ser um importante motor para o desenvolvimento econômico e social da região, alinhado com políticas de desenvolvimento industrial e regional.

Conforme indicado pelo Plano de Desenvolvimento (PD) de 2007, no ano de 1999 foi criada a Associação dos Ceramistas do Norte do Estado de Goiás – ASCENO com objetivo de incrementar o uso de novas tecnologias. Segundo o PD, em 2007 o APL estava ativo em vinte e dois municípios da mesorregião norte do estado: Rialma, Carmo do Rio Verde, Rubiataba, Ipiranga, Itapaci, Santa Terezinha de Goiás, Crixás, Campos Verdes, Nova Iguaçu, Alto Horizonte, Campinorte, Uruaçu, Niquelândia, Barro Alto, Goianésia, Mara Rosa (sede), Estrela do Norte, Mutunópolis, Trombas, Minaçu, São Miguel do Araguaia e Porangatu, totalizando 36 empresas (Martins, 2020).

Martins 2020, fez uma pesquisa para identificar as vantagens competitivas do Arranjo Produtivo Local (APL) de Cerâmica Vermelha em Goiás. Os resultados obtidos revelam ganhos significativos, sumarizados na tabela abaixo.

**Tabela 1: Ganhos significativos do Arranjo Produtivo Local (APL) de Cerâmica Vermelha em Goiás.**

economias de escala e influência no mercado	representatividade
	credibilidade

	legitimidade
fornecimento de soluções	infraestrutura
	mão de obra qualificada
aprendizado e inovação	inovações coletivas
	aumento do valor agregado
	compartilhamento de informações e experiências
	curso técnico em ceramista
redução de despesas e riscos	atividades colaborativas
	maior produtividade
	confiança em novos investimentos
benefício das relações sociais	coesão interna
	acúmulo de capital social

Apesar dos avanços relatados, as empresas do estado padecem com a carência de mão de obra especializada e braçal. Inexistência de estrutura administrativa adequada, geralmente realizada pelo proprietário. Ausência de investimento em infraestrutura e na modernização dos processos de produção. Os principais problemas são o uso de equipamentos muito antigos, com sistema de queima pouco eficiente e falta de organização nas linhas de produção.

## 2.4 Rochas Ornamentais

A rocha ornamental pode ser definida como qualquer material rochoso natural extraído com a finalidade de obter blocos ou lajes que atendam às especificações de tamanho (largura, comprimento e espessura) e forma, cor, textura, padrão de grão e acabamento superficial da pedra (Willians 2023). A durabilidade (essencialmente baseada na composição mineral, na dureza e no desempenho passado), a resistência e a capacidade da pedra de receber polimento são outros critérios de seleção importantes (Willians 2023).

Embora uma variedade de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares sejam usadas como rochas ornamentais, os principais tipos de rochas são granito, calcário, mármore, arenito e ardósia (Willians 2023). Outras variedades de pedras ornamentais que normalmente são consideradas tipos menores especiais incluem alabastro (gesso maciço), pedra-sabão (talco maciço) e vários produtos feitos de pedra natural (Willians 2023).

Apesar do enorme potencial, o Estado de Goiás não se destaca como um grande produtor nacional de rochas ornamentais. Os dados mais recentes são de 2019 e

indicam que naquele ano a produção estadual foi de cerca de 200 mil toneladas, uma quantidade muito pequena frente a produção nacional de 9 milhões de toneladas (Chiodi-Filho, 2021), sendo o Espírito Santo, o maior produtor de rochas ornamentais do Brasil, que em 2019 produziu cerca de 2,8 milhões de toneladas, segundo dados da ABIROCHAS (e.g., Chiodi-Filho, 2021). Boa parte da produção nacional é destinada ao mercado externo. Em 2022, o Brasil exportou cerca de 2 milhões de toneladas de rocha ornamental (ABIROCHAS, 2022), sendo o maior exportador de rocha ornamental para países como extrados unidos (e.g., Willians, 2023).

No Estado de Goiás se destaca a produção de granito, quartzito foliado e serpentinito (e.g., Chiodi-Filho, 2021).

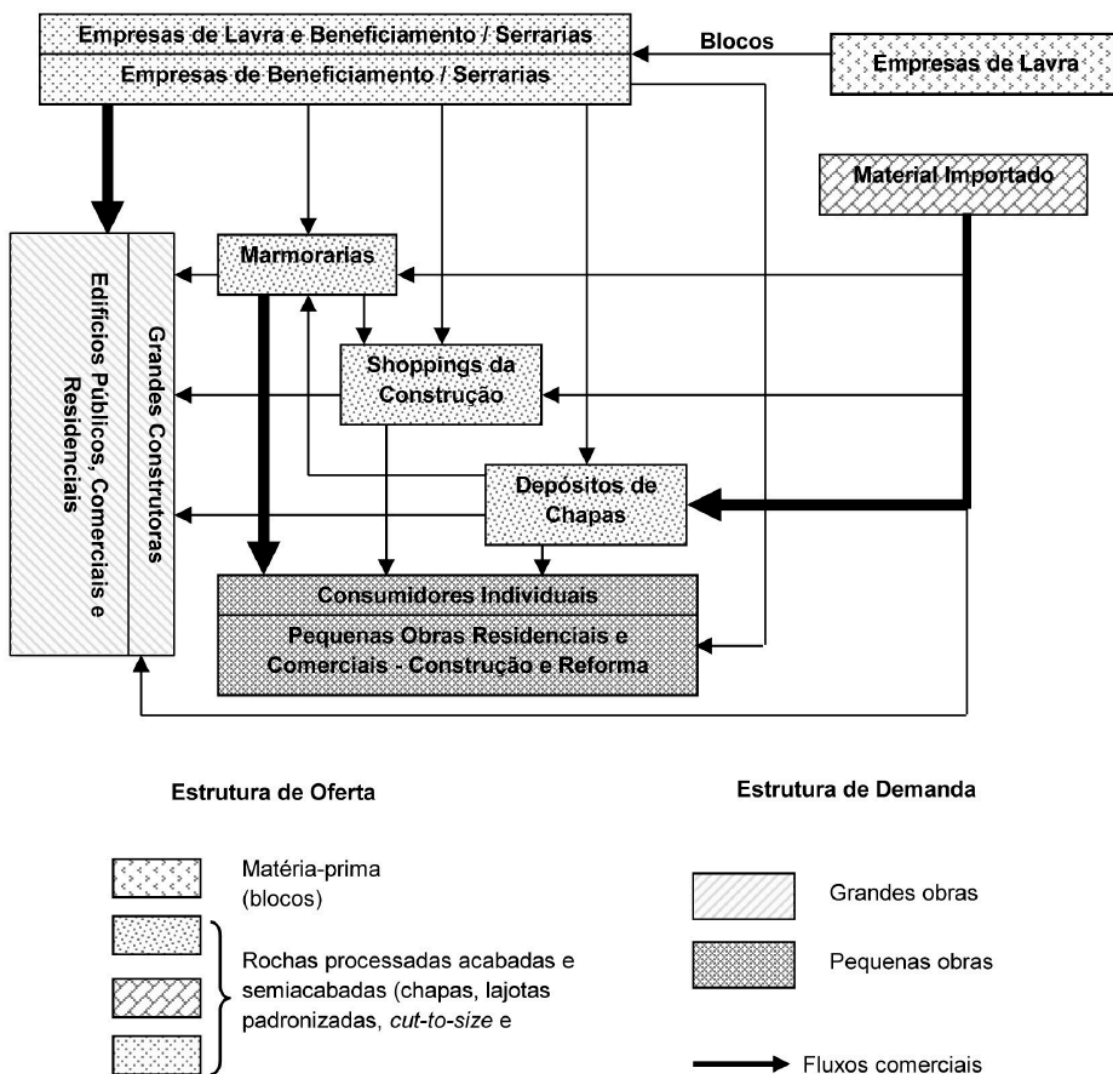
A cadeia produtiva das rochas ornamentais pode ser dividida em três grandes segmentos: (a) lavra; (b) beneficiamento; (c) acabamento. Há uma complexa relação comercial e produtiva entre as empresas do ramo, principalmente na produção de mármore, granitos e seus subtipos, essa relação é ilustrada na Figura 04. Algumas empresas são focadas apenas na lavra e comercialização de blocos, outras empresas atuam no beneficiamento dos blocos e produção de placas e chapas, e por fim as marmorarias atuam principalmente no acabamento das chapas, produção de peças, tais como pias, pisos, balcões etc., e sua comercialização com os consumidores finais. Entretanto, algumas empresas do ramo atuam de maneira verticalizada, ou seja, atuam em dois ou mais segmentos da cadeia produtiva.

Por suas características petrológicas, a produção de quartzito foliado geralmente é mais simples que o beneficiamento de granitos e mármore, pois envolve um processo de lavra mais simples e com pouco beneficiamento e acabamento. A lavra é feita em placas e, a depender do uso, pouco ou nenhum beneficiamento é feito após a extração. No estado de Goiás a produção de quartzito foliado se concentra na região de Pirenópolis.

A lavra de granitos e seus subtipos ocorre em vários municípios como Jaupaci, Fazenda Nova, Ipora, Piranhas, Joviânia, Jataí, Pilar de Goiás, Monte Alegre e Porangatu (Rivetti et al., 2008). O beneficiamento das rochas ornamentais e de revestimento no Estado de Goiás é realizado em serrarias de pequeno porte localizadas em municípios como Guapó, Santo Antônio do Descoberto, Anápolis, Aparecida de Goiânia e Luziânia (Rivetti et al., 2008). As marmorarias, por sua vez, formam um arranjo de pequenos empreendimentos de gestão familiar (Rivetti et al., 2008) distribuídas em diversas cidades do Estado. O maior número de estabelecimentos está

localizado no eixo de Goiânia – Anápolis - Brasília e trabalha principalmente com “chapas” provenientes de outros estados

A produção de blocos de granitos e mármore é feita em frente de lavra ou em matacões. Normalmente a extração envolve a limpeza da frente de lavra, seguido pelo corte, utilizando fio diamantado, ou agulhamento e uso de massa expansiva. Após removido os blocos são carregados e transportados para o beneficiamento onde são serrados em chapas. Para a serragem de blocos são utilizados teares multilâminas ou multifio diamantados, que segmentam o bloco em várias chapas que posteriormente são comercializadas com marmorarias para a produção de placas e artefatos.



**Figura 4: Estrutura de comercialização e de processamento de rochas ornamentais no Brasil.**

Fonte: Chiodi Filho, 2004

### **3. Insumos Destinados ao Agronegócio**

Os insumos agrícolas desempenham um papel crucial no agronegócio, pois fornecem os nutrientes essenciais necessários para promover o crescimento saudável das culturas e aumentar a produtividade. Entre esses insumos, destacam-se o calcário, o fosfato e os remineralizadores, que desempenham um papel fundamental na fertilização e correção do solo, garantindo que as plantações tenham acesso aos nutrientes necessários para crescer de forma saudável e sustentável na indústria agrícola.

Além disso, a mineração desses insumos desempenha um papel essencial na economia, gerando empregos, estimulando a atividade econômica nas regiões mineradoras e contribuindo para o crescimento do setor agrícola. Garantir o acesso a esses insumos a preços acessíveis é de extrema importância para assegurar a produtividade, a sustentabilidade e a segurança alimentar, tanto em nível local quanto global. Portanto, a mineração de insumos agrícolas é uma parte integral da cadeia de abastecimento agrícola e desempenha um papel vital no apoio à agricultura e à economia.

Nesse contexto, este tópico se concentrará nas cadeias produtivas dos insumos agrícolas encontrados no estado de Goiás, que incluem calcário, fosfato e remineralizadores.

#### **3.1 Calcário**

As rochas carbonáticas, também conhecidas como calcárias, são rochas sedimentares compostas principalmente de carbonato de cálcio (calcita) e/ou carbonato de cálcio e magnésio (dolomita). Esses minerais ocorrem em diferentes proporções, levando à classificação de calcários (com mais de 50% de carbonatos), onde a calcita é predominante ( $\text{CaCO}_3$ ), e dolomitos, onde a dolomita prevalece [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ]. Além dos carbonatos, essas rochas podem conter impurezas como matéria orgânica, silicatos, fosfatos, sulfetos, sulfatos, óxidos e outros (LUZ & LINS, 2008).

As rochas carbonáticas são naturalmente depositadas em ambientes marinhos ou continentais de águas rasas. Elas também podem se formar através da erosão ou lixiviação e posterior transporte do material carbonático de áreas de dissolução para áreas de precipitação, o que geralmente leva à sedimentação dessas rochas em camadas paralelas e horizontais (FERRARI, 2010). Na superfície terrestre, encontramos uma

variedade de afloramentos de rochas carbonáticas, que podem ter origem orgânica, clástica e/ou química, e estão frequentemente associadas a terrenos cársticos.

Essas rochas carbonáticas possuem uma ampla gama de aplicações industriais, sendo utilizadas na produção de bicarbonato de cálcio, pastas de dente, indústria papelreira, tintas, cimento, plásticos, cerâmica e metalurgia, siderurgia e tratamento de água. Além disso, são empregadas na agricultura e na alimentação de animais.

No estado de Goiás, a agropecuária ocupa uma posição de destaque na economia regional. Segundo o ABRACAL (Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola) em 2022, o estado de Goiás produziu 4.397,09 toneladas de calcário agrícola. Essa relevância impulsionou o desenvolvimento de complexos agroindustriais que aproveitam abundantemente a matéria-prima local. Além disso, as condições geológicas desempenham um papel fundamental no fortalecimento do setor, não só em território goiano, mas também nos estados vizinhos.

O subsolo goiano é dotado de diversos depósitos minerais essenciais para a agropecuária. É um importante produtor de calcário agrícola, fosfato, carbonato de cálcio, fertilizantes alternativos e vermiculita (BRASIL, 2019). Essa riqueza mineral viabiliza o suprimento de recursos necessários ao setor agrícola, contribuindo para o crescimento e desenvolvimento da agropecuária.

### **3.1.1 Cadeia produtiva do calcário agrícola**

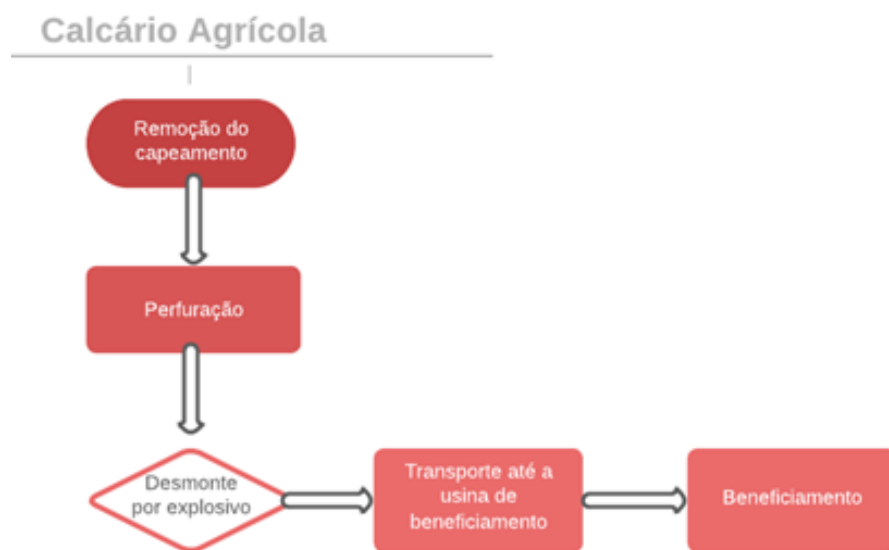
A maior parte das minas de calcário é extraída a céu aberto, sendo essas áreas conhecidas mundialmente como pedreiras. No entanto, em algumas regiões, devido a questões técnicas, ambientais e/ou necessidades de produção, a lavra subterrânea também é empregada para obter calcário.

A seleção dos equipamentos utilizados em cada uma dessas etapas varia de acordo com as características específicas de cada operação, como capacidade de produção, tamanho e forma do depósito, distância de transporte, expectativa de vida útil da mina, proximidade de centros urbanos e fatores socioeconômicos. Além disso, outros fatores também são considerados, como valores dos produtos, condições ambientais e questões de segurança relacionadas aos depósitos minerais.

O estado de Goiás possui várias cidades que têm atividades relacionadas à mineração e beneficiamento desse mineral. Algumas das principais cidades produtoras de calcário agrícola em Goiás incluem, Catalão, Ouidor, Cocalzinho de Goiás,

Cezarina e Anápolis. Essas são algumas das cidades produtoras de calcário agrícola em Goiás. É importante destacar que existem outras localidades no estado que também podem ter atividades de produção desse insumo para atender às demandas do setor agrícola.

A cadeia produtiva do calcário agrícola em Goiás envolve diversas etapas, desde a extração do calcário até a sua aplicação nos campos agrícolas. O processo produtivo (Figura 5) as de lavra e beneficiamento que compreendem (Luz & Lins, 2008):



**Figura 5: Processo de produção do calcário agrícola**

1. Remoção do capeamento: Essa fase é essencial para determinar o custo da lavra a céu aberto. Em cada operação ou cenário, há uma proporção entre material estéril (não aproveitável) e minério economicamente viável. A escala de produção é um fator crucial para a viabilidade econômica de diversas minas, especialmente aquelas que lidam com produtos de baixo valor agregado.

2. Perfuração: Nessa etapa, são realizados furos no solo para inserção de explosivos. Isso prepara o terreno para o desmonte das rochas.

3. Desmonte por explosivos: O "plano de fogo da mina" é elaborado para o planejamento do desmonte de calcário, levando em consideração o tamanho do britador de calcário e a dimensão máxima dos blocos permitida para sua alimentação. Esse plano é fundamental para garantir um desmonte eficiente e seguro.

Ao conhecer as especificações do britador de calcário e o tamanho máximo de blocos que ele pode receber, são definidos os elementos básicos do plano de fogo da

mina. Isso inclui a determinação do tamanho ideal dos explosivos, o espaçamento entre os furos de perfuração, a profundidade dos furos e a sequência de detonação dos explosivos.

O objetivo é fragmentar o calcário em blocos menores, garantindo que eles se encaixem perfeitamente no britador, evitando problemas de sobrecarga ou bloqueio. O plano de fogo também visa minimizar desperdícios e custos desnecessários, otimizando a produção e a eficiência da mina. É importante ressaltar que o planejamento adequado do desmonte por explosivos é crucial para a segurança de toda a operação, evitando riscos de acidentes e garantindo a proteção dos trabalhadores e do meio ambiente. Portanto, o plano de fogo da mina é uma etapa essencial do processo de lavra de calcário.

4. Transporte até a usina de processamento: O calcário fragmentado após a detonação é carregado e transportado até a usina de beneficiamento utilizando escavadeiras, pás carregadeiras e caminhões, incluindo veículos extra-pesados e projetados para circular em terrenos fora de estradas.

5. Beneficiamento: O calcário bruto extraído passa por processos de britagem e moagem, onde é reduzido a um tamanho adequado para sua utilização na agricultura. Essa etapa visa melhorar a reatividade do calcário e garantir a uniformidade do produto final. O calcário beneficiado pode ser ensacado em sacos de diferentes tamanhos ou acondicionado em big bags, facilitando o transporte e a aplicação nas propriedades agrícolas. E por fim a fase de distribuição envolve o transporte do calcário das áreas de extração ou das unidades de beneficiamento até as lojas, cooperativas agrícolas ou diretamente para os produtores rurais em suas propriedades.

### **3.2 Fosfato**

Por ser um componente básico à formação de todos os seres vivos, o fosfato é essencial ao ser humano, sendo usado para a produção de fertilizantes, além de suplemento nutricional para a alimentação animal (bovinos, suínos, outros animais). O fosfato também é utilizado na indústria de limpeza (ácido fosfórico), alimentos e bebidas (indústria de refrigerante, processamento de carnes e produção de laticínios).

Apesar do fósforo estar presente em diversos minerais, apenas aqueles pertencentes à série da Apatita são considerados minerais de minério. Dentre esses, encontramos a fluorapatita, a hidroapatita e, de forma mais rara, a cloroapatita,

presentes em rochas ígneas, especialmente em carbonatitos. Por outro lado, nos depósitos sedimentares, as variedades mais comuns são a carbonatoapatita e a carbonato-fluorapatita (LUZ & LINS, 2008).

Além de fertilizante, rochas ricas em fosfato também podem ser utilizadas como remineralizadores, tendo a vantagem de, nesse caso, fornecer a liberação lenta de fósforo no solo. Esse modo de liberação permite que os nutrientes sejam gradualmente disponibilizados às plantas ao longo do tempo, o que é extremamente benéfico para o desenvolvimento das culturas. O fósforo é um nutriente vital para o crescimento das plantas, desempenhando um papel crucial na formação de raízes, flores, frutos e sementes. Essa liberação gradual ao longo de várias safras contribui para um suprimento constante e estável de nutrientes, otimizando o aproveitamento pelo sistema radicular das plantas e, conseqüentemente, aumentando a produtividade agrícola de forma sustentável.

### **3.2.1 Cadeia produtiva do fosfato**

A cadeia produtiva do fosfato (Figura 6) se inicia com lavra de rochas ricas em fósforo, normalmente em minas a céu aberto. O processamento e produção de fosfato ou de produtos a base de fosfato segue as seguintes etapas:

1. Lavra: A primeira etapa é a extração de rochas ricas em fosfato natural a partir das jazidas. A mineração é realizada a céu aberto, e o minério é removido do solo e levado para a etapa seguinte de beneficiamento.

2. Beneficiamento: Após a extração, o fosfato bruto passa por processos de beneficiamento, incluindo britagem, moagem e separação, para obter o concentrado de fosfato. Essas etapas têm o objetivo de melhorar a concentração de fosfato nas rochas e torná-las adequadas para uso como fertilizante.

3. Processamento adicional: O concentrado de fosfato pode passar por processos adicionais, como flotação ou outros métodos de concentração, para alcançar especificações técnicas e comerciais necessárias para o mercado, como separação magnética de baixo campo, moagem secundária, deslamagem, flotação e filtragem/espessamento (TESTA, 2008).

4. Armazenamento e logística: O fosfato concentrado é armazenado em silos ou depósitos antes de ser transportado para os destinos finais. A logística envolve a distribuição do produto para diferentes destinos, como unidades de mistura de

fertilizantes ou clientes finais.

5. Produção de fertilizantes: O concentrado de fosfato pode ser utilizado na produção de fertilizantes fosfatados, que são essenciais para a agricultura. Esses fertilizantes são fabricados em unidades de mistura, onde outros nutrientes como nitrogênio e potássio podem ser adicionados para formar fertilizantes completos.

6. Comercialização: Os fertilizantes fosfatados produzidos a partir do fosfato em Ouvidor são comercializados para agricultores, cooperativas, revendas agrícolas e indústrias do setor agrícola em Goiás e outras regiões do Brasil.

7. Uso agrícola: Os fertilizantes fosfatados são aplicados nos campos agrícolas para fornecer fósforo às plantas, contribuindo para o desenvolvimento saudável e produtivo das culturas.

No estado de Goiás tem-se a mina e a planta de beneficiamento de Fosfato da empresa chinesa CMOC em Ouvidor, uma das maiores produtoras de rocha fosfática no Brasil, sendo em 2022, o terceiro município maior produtor nacional dessa substância e é explorada para a obtenção de concentrado de fosfato utilizado na fabricação de fertilizantes (BRASIL, 2019). Sendo as plantas químicas localizadas em Catalão (GO) e Cubatão (SP).

A rocha fosfática encontrada em Ouvidor pertence ao grupo das apatitas, que são minerais compostos principalmente de fosfato de cálcio. Essas apatitas são formadas a partir da deposição de fosfato em sedimentos marinhos ao longo de milhões de anos. Durante o processo geológico, sedimentos ricos em fosfato foram compactados e sofreram metamorfismo, resultando na formação de camadas de rochas fosfáticas.

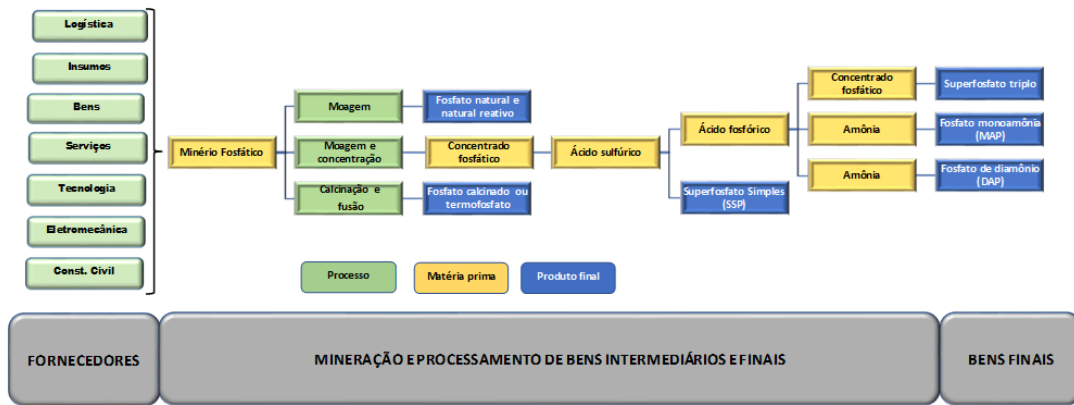
A Mina de Fosfato de Ouvidor está situada em uma área conhecida como o Complexo Alcalino Carbonatítico de Catalão, uma região geológica com características peculiares. Nessa área, existem depósitos de fosfato associados a rochas carbonatíticas, que contêm carbonatos como calcita e dolomita.

A mina explora essas rochas fosfáticas, que possuem teores de fósforo ( $P_2O_5$ ) em teores comerciais, e as processa através de britagem, moagem e outros métodos de beneficiamento para produzir o concentrado de fosfato com as especificações adequadas para uso na fabricação de fertilizantes (CMOC, 2023).

Essa geologia favorável e a abundância de depósitos de rocha fosfática na região tornaram Ouvidor, Goiás, um importante polo na produção de fosfato natural no Brasil, contribuindo significativamente para a indústria agrícola do país.

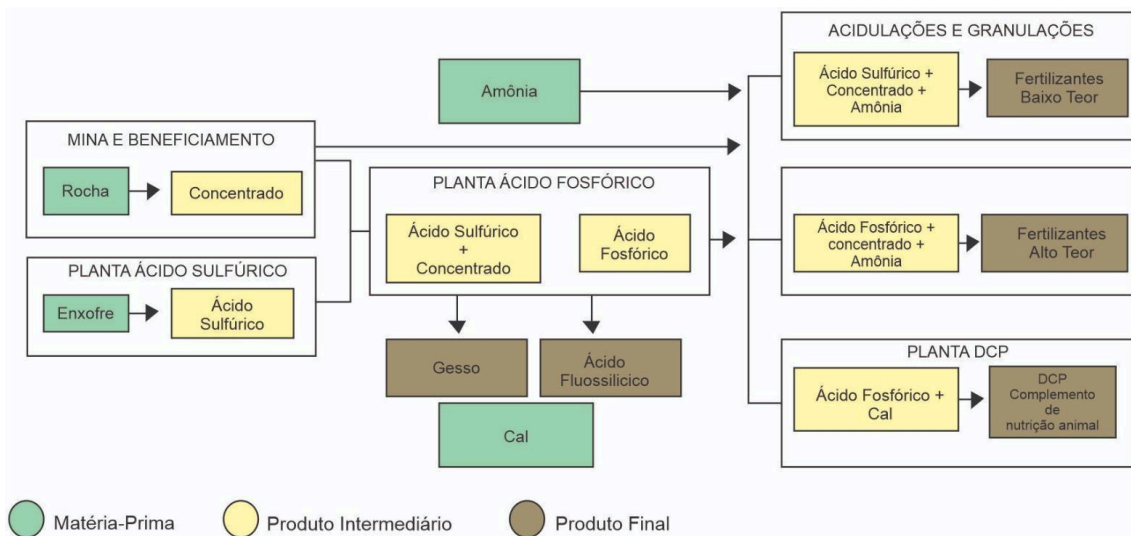
Na Figura 07, é apresentado o fluxograma do processo produtivo de

fertilizantes da mina de Ouvidor, explorada pela subsidiária da China Molybdenum Co., Ltd.(CMOC) (Figura), as caixas em verde correspondem às matérias primas, enquanto as caixas em amarelo correspondem aos produtos intermediários e as caixas em marrom referem-se aos produtos finais gerados.



**Figura 6: Cadeia produtiva do fosfato**

Fonte: Elaboração de Maria Amélia Enríquez, Lucas Paiva Ferraz e Evandro Diniz.



**Figura 7: Processo de produção de Fertilizantes na Mina de Ouvidor (GO).**

Fonte: China Molybdenum Co (CMOC)

### 3.3 Remineralizadores

O Brasil lidera a inovação na cadeia produtiva de remineralizadores (REM) e fertilizantes minerais silicáticos (FSi), visando aprimorar a sustentabilidade econômica, ambiental e social na agricultura. A legislação, como a Lei 12.890/2013 e a Instrução Normativa 05/2016 do MAPA, regulamenta o uso dos REM, que também estão

incorporados no Plano Nacional de Fertilizantes até 2050 para impulsionar o agronegócio.

Os REM são definidos em lei, como materiais minerais que, por processos mecânicos, alteram a fertilidade do solo através da adição de nutrientes e aprimoram suas propriedades físicas e biológicas, ou seja, o remineralizador é um produto de origem mineral que, quando adicionado ao solo, tem a capacidade de modificar os níveis de fertilidade do mesmo, fornecendo macro e micronutrientes essenciais para as plantas, onde sua produção permite apenas os processos de peneiramento e moagem.

A regulamentação inclui critérios como características químicas, físicas e mineralógicas, garantias mínimas de composição e testes agronômicos. Posteriormente, essa Lei foi regulamentada pelo Decreto nº 8.384/2014 e pelas Instruções Normativas 5 e 6 de 2016, publicadas pelo Mapa, onde foram definidos os critérios para registro, garantias mínimas, comercialização e fiscalização desses insumos.

A Instrução Normativa 05/2016 estabelece parâmetros para a certificação dos REM baseados em sua caracterização química, física, físico-química e mineralógica. Esses critérios incluem garantias mínimas, como a soma de óxidos de bases ( $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O}$ ) de pelo menos 9%, um mínimo de 1% de  $\text{K}_2\text{O}$  total, um máximo de 25% de sílica livre (na forma de quartzo) e concentrações máximas de elementos potencialmente tóxicos totais (arsênio - As,  $<15 \text{ mg kg}^{-1}$ ; cádmio - Cd,  $<10 \text{ mg kg}^{-1}$ ; mercúrio - Hg,  $<0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ; chumbo - Pb,  $<200 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Além disso, é necessário realizar testes agronômicos para demonstrar a eficácia do material na modificação das propriedades de fertilidade do solo e no desenvolvimento das plantas. A Instrução Normativa também exige a declaração do pH de abrasão dos REM e a classificação da granulometria em uma das três categorias: farelado, pó ou filler. Atualmente, com base em informações de 51 empresas de mineração que possuem registro de REM no MAPA, observa-se que a granulometria predominantemente se enquadra nas categorias de pó ou filler.

Até dezembro de 2022, o registro no MAPA incluiu cerca de 53 produtos, abrangendo REM e FSi, resultando em uma produção total de três milhões de toneladas somente neste ano. Ao analisar o período de 2019 a 2022, constatou-se que mais de sete milhões de toneladas foram comercializadas, sendo os principais estados produtores: Minas Gerais (43%), Goiás (24%), São Paulo (10%), Paraná (9%) e Rio Grande do Sul (6%). Notavelmente, em 2022, a produção anual de remineralizadores e fertilizantes minerais simples de composição silicática em Goiás foi de 537.200 toneladas, conforme

dados da EMBRAPA.

Atualmente (Ano Base: 2023) Goiás possui seis produtos remineralizadores certificados, sendo que a maioria corresponde a subprodutos da cadeia de agregados para a construção civil, provenientes de lavras das regiões de Aparecida de Goiânia, Abadiânia e Santa Bárbara de Goiás. Outro produto importante a ser mencionado no Estado é o KMC (<https://edemagrominerais.com.br/potassio-kmc/>), obtido a partir da extração e moagem de rocha rica em potássio (nefelina-sienito) com elevado teor de potássio (10% K<sub>2</sub>O).

### **3.3.1 Cadeia produtiva dos remineralizadores**

A interação entre diversos fatores, incluindo as características dos agrominerais (como mineralogia, química, granulometria e solubilidade), as propriedades do solo (pH, textura, conteúdo de matéria orgânica, presença de microrganismos, umidade) e as particularidades da cultura (espécie, ciclo da cultura, exigências nutricionais), juntamente com outros fatores ambientais e práticas de manejo, certamente influencia os resultados agronômicos dos agrominerais.

Conforme destacado por Theodoro, Leonardos e Almeida (2010), a moagem é o primeiro passo para facilitar a disponibilização dos nutrientes contidos nos agrominerais. Ao reduzir o tamanho das partículas, aumenta-se a superfície de contato com os agentes intempéricos (físicos, químicos e biológicos), elevando a solubilidade dos minerais.

O processo de cominuição compreende uma série de mecanismos que têm por objetivo diminuir o tamanho das rochas, tornando-as mais propícias para uso agrícola. Um dos desafios para uma ampla utilização dos remineralizadores é aumentar sua solubilidade, tornando-os uma fonte mais prontamente disponível de nutrientes, especialmente para culturas agrícolas de ciclo curto. Entretanto, a restrição imposta à produção dos remineralizadores, que permite apenas processos de moagem e peneiramento, limita as possibilidades de aumentar significativamente sua solubilidade. Como a dissolução é uma reação de superfície, é amplamente aceito que partículas de menor tamanho do mesmo material tendem a reagir mais rapidamente.

As limitações dos remineralizadores estão relacionadas aos custos de produção máximos e à distância do transporte da mina até a área agrícola. Os efeitos no solo são mais rápidos quanto mais fina for a granulometria do remineralizador, mas o aumento

do custo de produção de partículas muito finas pode ser uma barreira significativa. A limitação logística depende da composição do remineralizador e da necessidade de aplicação em doses elevadas para alcançar os efeitos desejados em termos de fornecimento de nutrientes e melhoria do solo. Essa limitação logística pode variar de 100 a 500 km da mina, considerando o transporte rodoviário, dependendo das características do remineralizador em questão.

## **4. Minerais Industriais**

Minerais Industriais são todas as rochas e minerais, inclusive os sintéticos, predominantemente não-metálicos, que, por suas propriedades físicas ou químicas, podem ser utilizados como matérias primas, insumo, ou aditivos em processos industriais.

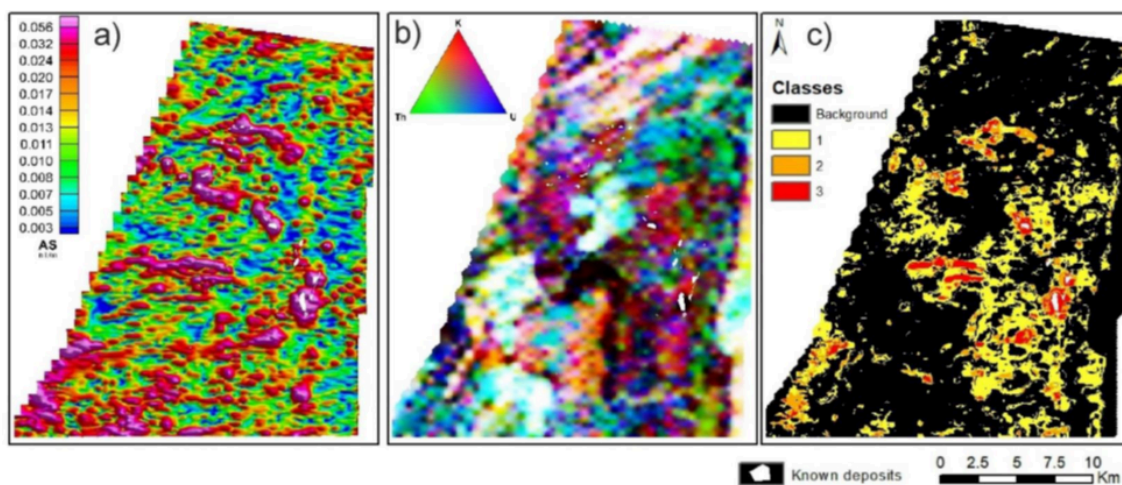
O estado de Goiás é importante produtor de vermiculita, sendo um dos maiores produtores mundiais do produto. A principal empresa do setor é a Brasil Minérios, com minas na região de São Luiz dos Montes Belos e Catalão. Além da vermiculita, o estado também produz calcário com destinação ao uso industrial principalmente para a fabricação de cimento, como mencionado acima.

### **4.1 Vermiculita**

A vermiculita é um mineral industrial, conhecido por suas propriedades expansíveis quando aquecido. No contexto da cadeia produtiva, a vermiculita é extraída, processada e utilizada em várias aplicações, incluindo construção, agricultura, horticultura, anticorrosivo, isolamento térmico e acústico, filtração, materiais refratários e outros.

Na região de São Luís de Montes Belos, no Estado de Goiás, existem depósitos de vermiculita e minas em operação pela empresa Brasil Minérios. A empresa Brasil Minérios faz toda a cadeia produtiva da vermiculita e está entre os três maiores produtores no mundo e líder no mercado nacional. Os três principais produtos são o Concentrado de Vermiculita, a Vermiculita Expandida e o Vermifloc Acústico (Brasil Minérios, 2023). Ramos et al, 2021 e 2022, aplicaram o uso de geofísica e machine learning para a descoberta de depósitos e expansão das reservas de vermiculita no

estado de Goiás.



**Figura 8: Depósitos conhecidos em polígonos brancos. (a) Mapa do Gradiente Magnético Total da área de estudo, mostra que a maioria dos depósitos conhecidos possui uma alta assinatura de anomalia magnética. (b) Imagem Radiométrica Ternária RGB mostra as concentrações equivalentes de K, Th e U na área. A maioria dos depósitos tem assinaturas de baixa contagem radiométrica. (c) Mapa Final usando os resultados da Random Forest. As áreas indicadas como alvos são classificadas de 1 a 3, com base em quantos mapas elas ocorrem. Uma parte alta do mapa é destacada como classificação 1, mas também existem vários locais classificados como 2 ou 3 fora dos depósitos conhecidos, onde a pesquisa de exploração mineral deve ser focada.**

Fonte: Ramos et al., 2021; Ramos et al., 2022

A área de estudo está localizada no Arco Magmático de Arenópolis, no Cinturão Brasília. A vermiculita é um mineral do grupo das micas, e na região está geralmente associado a processos de alteração hidrotermal estruturalmente controlados em intrusões máficas-ultramáficas hospedadas em ortognaisses granodioríticos (Macedo, 2016). A mineralização da vermiculita ocorre por processos de alteração hidrotermal ao longo das zonas de cisalhamento e da subsequente concentração supergênica por intemperismo. Tanto a flogopita (da série biotita) formada durante a alteração hidrotermal quanto a flogopita formada durante processos ígneos são alteradas para vermiculita como resultado da perda gradual de íons potássio (Silva, 2006). A mineralização mais importante tem concentrações supergênicas de vermiculita por intemperismo, sobre processos de biotitização metassomática que formaram rochas

ricas em biotita e biotita xistos nas zonas de contato entre actinolita xistos (diques deformados) e biotita gnaisse tonalitos (Nilson, 1998). A mineralização ocorre como corpos estreitos que variam de 20 m a 600 m de largura e podem aflorar ou estender-se até 50 m de profundidade. Os corpos minerais são controlados estruturalmente por zonas de falha nas direções NW, NE e EW.

As principais etapas da cadeia produtiva da vermiculita são:

- **Extração e Mineração:** A primeira etapa envolve a extração da vermiculita em jazidas e sua homogeneização. A lavra ocorre em minas de céu aberto no período de ausência de chuvas (Brasil Minérios, 2023).
- **Beneficiamento:** A vermiculita bruta extraída passa por processos de beneficiamento para separação de impurezas, classificação por tamanho e outras operações para obter o produto desejado. Para obter o minério pré-concentrado é realizado o peneiramento para remover partículas maiores e a lavagem para retirada de argila (Brasil Minérios, 2023).
- **Expansão:** A vermiculita bruta é expandida por meio de aquecimento. A expansão ocorre devido à presença de água intercalada nas camadas do mineral, levando ao aumento de volume e formação de estrutura em forma de flocos. O excesso de umidade é retirado em pátios expostos ao sol. Secadores rotativos são utilizados em períodos de chuvas (Brasil Minérios, 2023).
- **Processamento e classificação:** Os flocos de vermiculita expandida são processados e classificados de acordo com as especificações do produto necessário para diferentes aplicações. O rejeito é submetido a separação densimétrica. O produto final é classificado nas granulometrias: médio, fino, superfino e micron (Brasil Minérios, 2023). O controle de qualidade é realizado por amostradores automáticos em cada etapa do processo. As análises seguem padrões internacionais da Certificação TVA Best Practices (Brasil Minérios, 2023).

A vermiculita expandida é utilizada em várias indústrias e aplicações, tais como:

- **Construção:** Isolamento térmico e acústico, enchimento leve para argamassa e concreto.
- **Agricultura e horticultura:** Melhoria da retenção de água e aeração do solo, fornecimento de nutrientes às plantas.

- Nutrição animal: aditivo de soluções nutritivas e medicamentos.
- Indústria de fertilizantes: Agente de liberação lenta para fertilizantes.
- Isolamento térmico e acústico: Em materiais de isolamento.
- Indústria de filtração: Material filtrante em processos de filtração.
- Materiais refratários: Componente em materiais refratários de alta temperatura.

Essas etapas representam uma visão geral da cadeia produtiva da vermiculita, desde a extração até suas diversas aplicações. A vermiculita tem uma ampla gama de usos e é um componente valioso em várias indústrias.

## **5. Bens Minerais Metálicos Destinados à Indústria de Transformação e de Tecnologia e indústria química**

O Estado de Goiás é um grande produtor de alguns bens minerais metálicos, dentre eles se destacam a produção de nióbio, cobre, alumínio, níquel e ouro. Além disso está em fase final de implantação, uma mina que irá produzir concentrado de elementos terras raras. Esses metais são insumos de uma ampla gama de produtos que vão desde a indústria de transformação, passando pela indústria de alta tecnologia, como é o caso do nióbio e do ouro, até aplicações na indústria química. Entretanto, boa parte do processo de produção de manufaturados associados a esses metais ocorre fora do Estado e inclusive, em alguns casos, parte do beneficiamento também.

### **5.1 Alumínio**

O alumínio é produzido a partir da extração e beneficiamento da bauxita. A bauxita é um material heterogêneo de ocorrência natural, composto principalmente de um ou mais minerais de hidróxido de alumínio, além de várias misturas de sílica, óxido de ferro, titanita, aluminossilicato e outras impurezas em quantidades menores ou traços (Merrill, 2023). Os principais minerais que compõem a bauxita são a gibbsita e os polimorfos boemita e diásporo (Merrill, 2023).

As bauxitas são utilizadas principalmente na produção de alumínio, mas também é matéria prima de outros produtos como abrasivos, cimentos, na produção de

sulfato de alumínio para a indústria químicas, etc.

Em 2022 o estado de Goiás foi o terceiro maior produtor de bauxita do Brasil com processamento de 1,65 milhões de toneladas (DNPM, Anuário Mineral Brasileiro 2022). O recurso é estimado em 227 milhões de toneladas. A produção de bauxita no Estado de Goiás é concentrada na região de Barro Alto e Niquelândia.

### **5.1.1 Cadeia produtiva do Alumínio**

A cadeia produtiva do alumínio (Fig. 1) se inicia com a remoção da vegetação, extração da bauxita e posterior beneficiamento da mesma. Segundo Sampaio et al., (2005) os métodos de beneficiamento usados no processamento de bauxita incluem:

1- Britagem, atrição e peneiramento para remoção da fração argilosa e dos minerais de sílica . A separação em meio denso promove a remoção de ferro e laterita dos minérios com granulometria acima de 1,0 mm;

2- Separação magnética, onde são removidos minerais paramagnéticos, reduzindo os teores de  $Fe_2O_3$  e  $TiO_2$ .

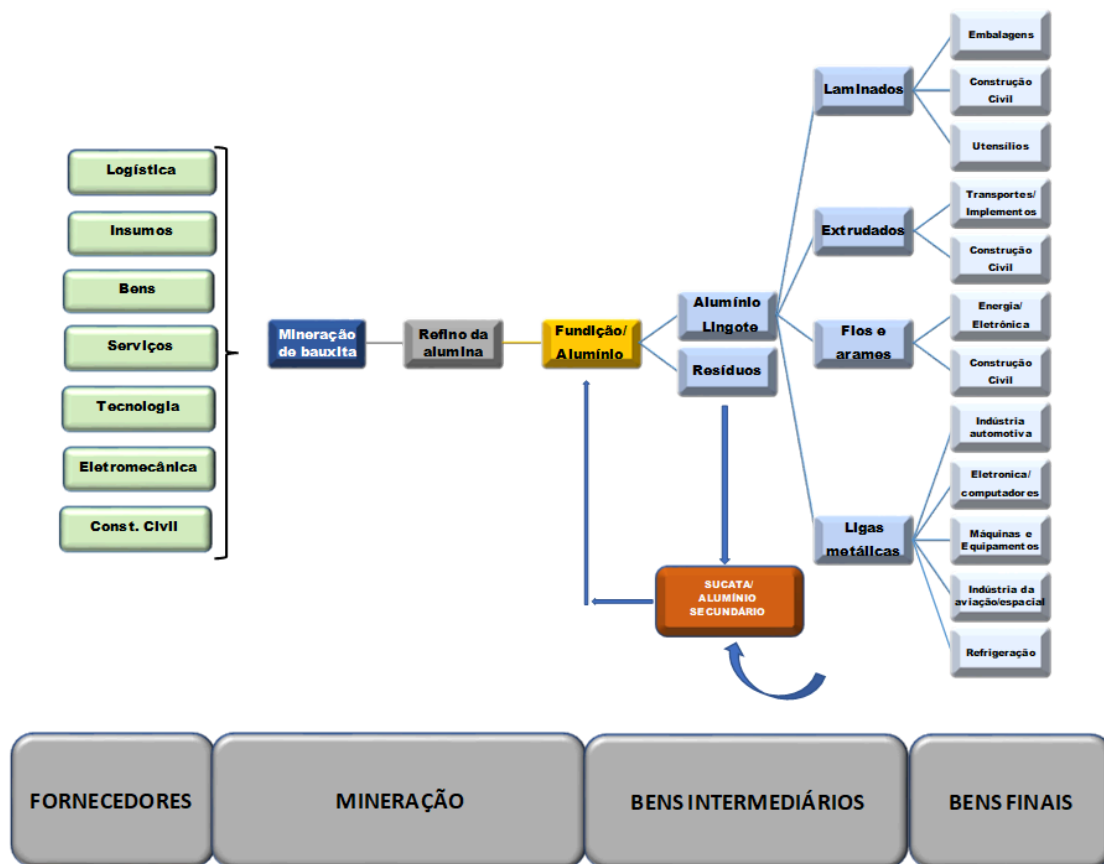
3- Secagem para facilitar o manuseio e/ou minimizar os custos de transporte. Nesta etapa, procede-se a filtragem, elevando-se a percentagem de sólidos de 25% para 60%, seguida de secagem em vaporizador (spray dry) para obtenção de um produto final com 5% de umidade. Desse modo, obtém-se um produto final que pode ser usado tanto no processo de calcinação, para bauxita destinada a fins não metalúrgicos, quanto no processo Bayer da bauxita destinada à fins metalúrgicos, que constitui a maior parte do consumo. No processo Bayer a bauxita é aquecida com hidróxido de sódio, sob alta pressão, que irá fazer com que a mesma se dissolva em um pó branco (Oliveira et al., 2020).

A produção do alumínio a partir do concentrado de alumina é feito através da eletrólise em um processo denominado Processo Hall-Hérault (ver Sampaio et al., 2005). A partir do processo de eletrólise é produzido o alumínio metálico na forma de lingotes, tarugos, placas e vergalhões.

Posteriormente os vergalhões, tarugos, placas e lingotes são comercializados e transportados para a indústria metalúrgica, onde são transformados em bens intermediários, por meio de laminação, trefilação e extrusão. Cada um destes processos gera diferentes insumos para diferentes segmentos da indústria, tais como chapas e folhas (produzidos por laminação), extrudados (perfis metálicos produzidos por

extrusão), sendo que os setores de embalagens, transportes e construção civil são os que mais consomem alumínio no Brasil (Figura 9).

Em Goiás a produção de alumínio está concentrada nas etapas iniciais da cadeia produtiva que incluem a lavra e beneficiamento da bauxita até a obtenção de bauxita beneficiada a semi-beneficiada que incluem bauxita bruta, bauxita moída, bauxita sinterizada, bauxita calcinada e chamote. Esses produtos são transportados para unidades de processamento de alumina e fundição, fora do Estado ou usados em aplicações industriais como a indústria de abrasivos.



**Figura 9: Cadeia do alumínio a partir da mineração de bauxita**

Fonte: Maria Amélia Enríquez, Lucas Paiva Ferraz e Evandro Diniz.

Alumínio semimanufaturado a manufaturado (Fig. 1) posteriormente é comprado de fora do estado por empresas metalúrgicas onde é processado para produção de produtos de finalidade diversa. Destaca-se a produção de embalagens de alumínio em importantes unidades metalúrgicas localizadas nas cidades de Itumbiara e Rio Verde e que representam o ciclo final da cadeia produtiva do alumínio no Estado.

## 5.2 Nióbio

O nióbio (Nb) é o elemento número 41 na tabela periódica dos elementos químicos, classificado como metal de transição. Sua densidade é de 8,57 g/cm<sup>3</sup> e seu grau de dureza na escala de Mohs é de seis, numa escala de um a dez (classificação do diamante, já que este consegue cortar qualquer mineral).

Globalmente o pirocloro é o principal mineral lavrado para a extração de Nióbio que é tipicamente transformado em ligas de ferro-nióbio e outros produtos de valor agregado ainda no local de mineração do pirocloro (Padilla, 2021). No Estado de Goiás as reservas de nióbio estão localizadas nos municípios de Catalão e Ouidor, onde o pirocloro é extraído de carbonatitos associados às intrusões alcalinas do cretáceo superior, da era mesozóica. Os carbonatitos costumam conter um ou mais dos seguintes minerais: nióbio, níquel, cobre, titânio, vermiculita, apatita (fosfato), terras raras, barita, fluorita, além dos minerais nucleares tório e urânio

O nióbio possui muitas utilidades e aplicações em diversos ramos econômicos: da siderurgia a setores intensivos em tecnologia. A aplicação mais comum do nióbio, ao contrário dos demais metais refratários, encontra uso principalmente na siderurgia e ocasionalmente no segmento não metalúrgico. Os produtos de aço recebem classificação de planos e não planos. Os primeiros são constituídos por chapas grossas e finas laminadas a quente e a frio e os aços não planos estão os trilhos, barra de reforço para concreto, fio máquina, dentre outras aplicações. Existe um tipo de aço denominado (ARBL), aço de alta resistência e de baixa liga, que permite, por exemplo, a construção de estruturas de menor peso e custo reduzido. Para aumentar a resistência mecânica do aço, basta elevar o teor de carbono, contudo algumas propriedades do aço como soldabilidade, tenacidade e conformabilidade são prejudicadas neste caso.

Responsável por cerca de 88% da produção global, o Brasil é o maior produtor mundial de Nióbio (USGS 2022). As reservas nacionais contabilizadas totalizam aproximadamente 842 milhões de toneladas, com teor médio de 0,73% de Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e estão concentradas nos Estados de Minas Gerais (75,08%), em Araxá e Tapira; Amazonas (21,34%), em São Gabriel da Cachoeira e Presidente Figueiredo e em Goiás (3,58%), em Catalão e Ouidor.

### 5.2.1 Cadeia produtiva do Nióbio

A cadeia produtiva do nióbio (Figura 10) se inicia com a mineração do pirocloro. No estado de Goiás o pirocloro é extraído a partir de rochas alcalinas carbonatíticas que são lavradas em minas a céu aberto localizadas entre os municípios de Catalão e Ouvidor. Segundo Ramos (2021), após a lavra o minério segue para as etapas de beneficiamento (Figura 11) que incluem:

- Britagem e a separação magnética (escalpe) do minério na usinas de britagem;
- Homogeneização e empilhamento para alimentação das plantas de concentração de pirocloro;
- Cominuição em moinhos de bolas;
- Etapas de deslamagem;
- Separação magnética via úmida para retirada de magnetita;
- Estágios de flotação e sinterização para retirada de sílica, carbonato e teores de S, H<sub>2</sub>O;
- Estágio de desfosforação onde são retirados fósforo (P) e chumbo (Pb) (e.g., Junior, 2022)

O processo de produção da liga de ferronióbio (FeNb) é feito a partir de uma reação aluminotérmica onde são misturados o concentrado de pirocloro, sucata de ferro ou o óxido de ferro e carvão de origem vegetal (Junior, 2022). Essa reação irá produzir uma escória que será descartada e ligas de ferronióbio em barras. As barras são posteriormente britadas e embaladas em tambores e sacos para comercialização.

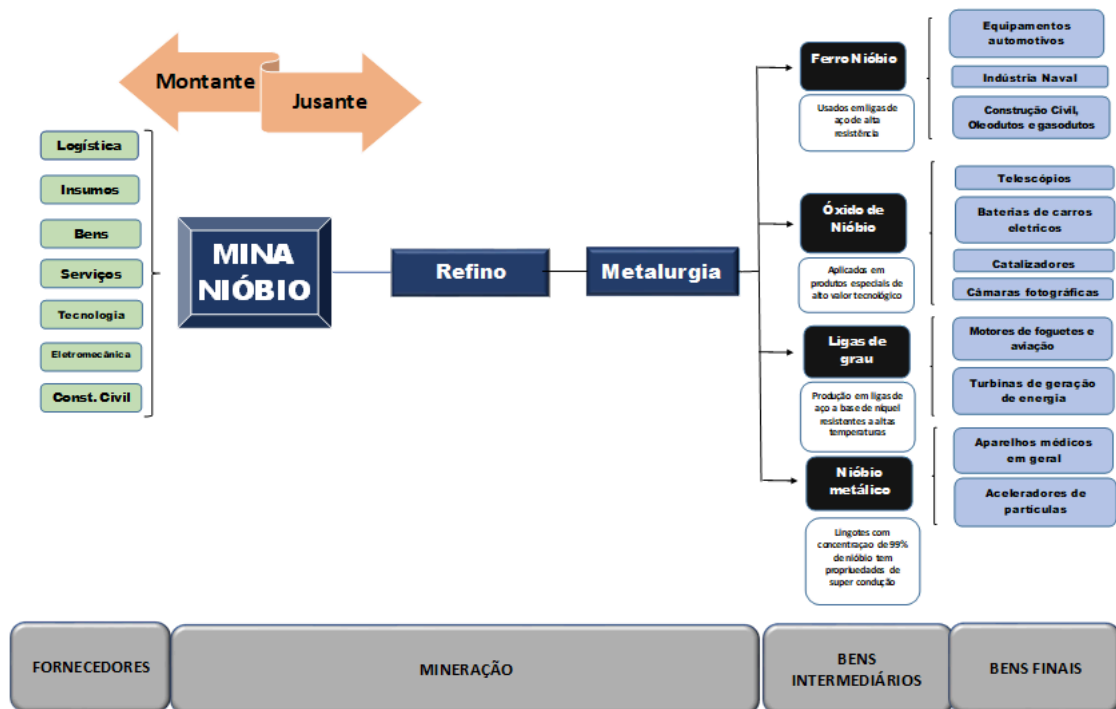


Figura 10: Cadeia produtiva do Nióbio.

Fonte: CBMM, com elaboração complementar e ajustes de Maria Amélia Enríquez, Lucas Paiva Ferraz e Evandro Diniz.

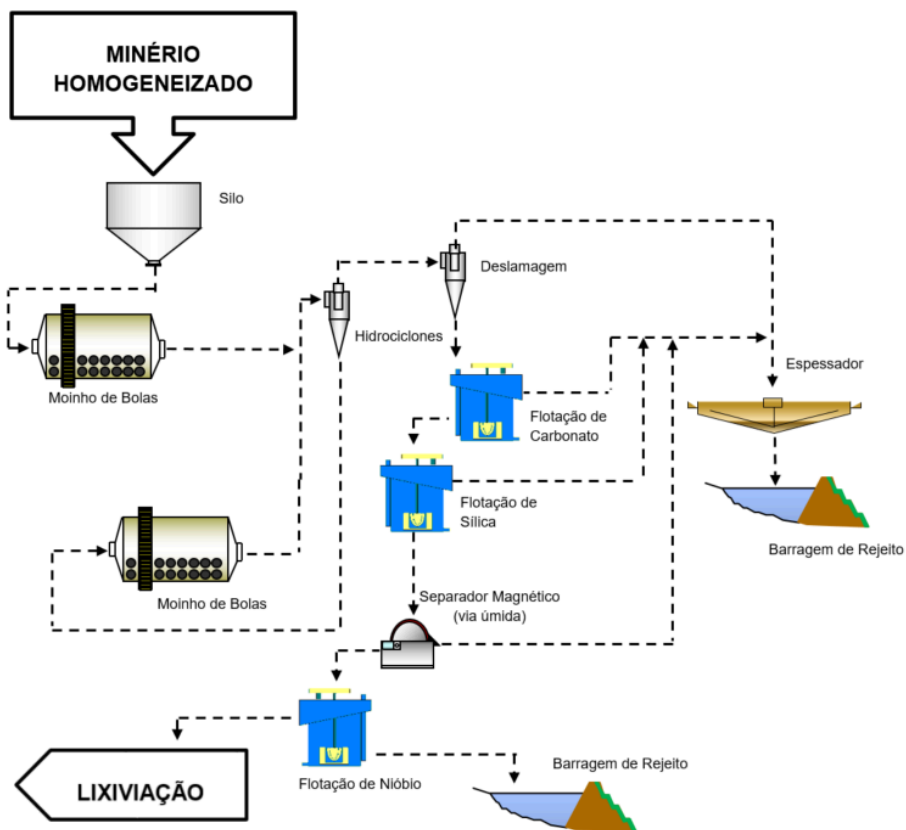


Figura 11: Fluxograma com as etapas iniciais do processo de produção de ligas de

## **nióbio da Mina Boa Vista em Catalão.**

Fonte: Ramos (2021).

As ligas de ferronióbio produzidas pela CMOC (empresa que opera as minas e plantas em Catalão e Ouvidor) são comercializadas para indústrias siderúrgicas da América do Norte, Europa e Ásia (<https://cmocbrasil.com/br/negocios/niobio> - acessado em 24/06/2023), de maneira que a cadeia produtiva do Nióbio no estado de Goiás se encerra com a comercialização e transporte de ligas de ferronióbio na forma bruta para ser usado em indústrias siderúrgicas no exterior, ou seja está restrita à porção mais inicial da cadeia produtiva do metal.

### **5.3 Cobre**

O cobre é encontrado na natureza em sulfetos (Flanagan, 2023) (calcopirita, calcocita, enargita, bornita, covelita, tenantita, digenita, tetraedrita), como óxidos (cuprita), como carbonatos (malaquita, azurita) ou como silicatos (crisocola, diopásio), raramente é encontrado como metal nativo. Portanto o minério de cobre é, na maioria das vezes, a associação de um ou mais desses minerais em concentrações elevadas, de maneira que o teor (% de cobre na rocha) torne viável sua extração comercial.

O cobre é um metal de transição, cor avermelhada, calcófilo, de número atômico 29, peso atômico 63,54, dureza 2,5 a 3,0, ponto de fusão 1.023°C (Ribeiro, 2001). É um dos metais mais antigos em uso pelo ser humano (Flanagan, 2023). Suas propriedades tais como maleabilidade, alta ductilidade, elevada condutividade térmica e elétrica, fazem com que o cobre seja um metal de amplo uso industrial, sendo o terceiro mais usado, depois do alumínio e ferro (Flanagan, 2023).

Segundo Ribeiro (2001), o cobre é utilizado na indústria para diferentes finalidades que incluem: (a) indústria elétrica e eletrônica, na transmissão de energia, na fabricação de equipamentos elétricos e eletrônicos e de aparelhos eletrodomésticos; (b) na engenharia industrial, para serviços de estampagem, forjamento e usinagem de peças e componentes, produção de peças fundidas para corpos de bomba, válvulas, aparelhos para indústrias química e petroquímica, tubos e chapas para trocadores de calor; (c) construção civil, em coberturas, calhas, instalações hidráulicas e metais sanitários, fechaduras, ferragens, corrimões, juntas de vedação e de dilatação, luminárias e esquadrias, portas, painéis decorativos; (d) na indústria automobilística, para fabricação

de radiadores, carburadores, partes elétricas do veículo e em acessórios; (e) na indústria naval na fabricação de hélices de propulsão, peças para comportas e ancoradouros, tubulações, tintas anticorrosivas para proteção dos cascos dos navios e em diversos equipamentos, máquinas e instrumentos de navegação; (f) na indústria aeronáutica, em aparelhos de telecomunicações, nas linhas hidráulicas de pressão, mancais de trens de pouso e em equipamentos de precisão e controle de vôo (f) na indústria ferroviária, na fabricação de cabos condutores aéreos para estradas de ferro eletrificadas, motores e outros equipamentos; (g) outros usos que incluem a cunhagem de moedas, a fabricação de armas e munições, a indústria alimentícia, embalagens, bebidas, farmacêutica, galvanização, indústria química, cerâmica, de equipamentos e produtos agrícolas alimentício, pesticida e fungicida, de tintas e pigmentos, joalheria etc.

No estado de Goiás a produção de cobre está restrita ao município de Alto Horizonte, sendo a Mina de Chapada, operada pela Lundin Mining, responsável por todo o cobre produzido no estado. O cobre é extraído principalmente de minério sulfetado de onde obtém-se também ouro como subproduto. A planta conta com uma capacidade instalada de processamento e de beneficiamento de 24 milhões de toneladas por ano.

Os recursos e reservas de cobre no Estado são de mais de 130 milhões de toneladas de minério, algo em torno de 250 mil toneladas de metal contido, sendo que a grande maioria desses recursos estão localizados em Alto Horizonte e o restante está em Bom Jardim de Goiás onde existe um recursos de cobre não lavrado.

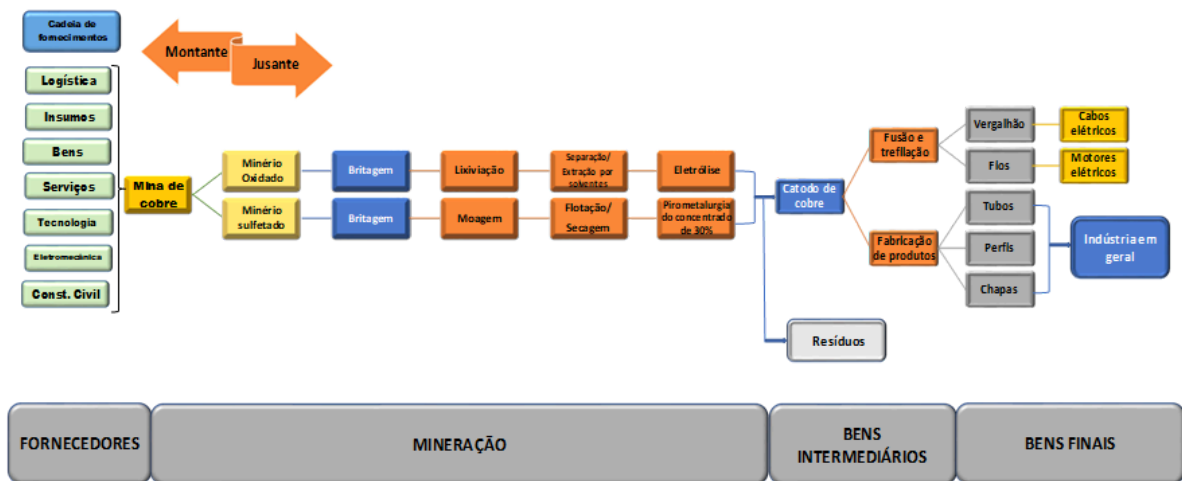
### **5.3.1 Cadeia produtiva do Cobre**

Segundo Andrade et al (1997) a indústria de produção de cobre se organiza em torno de quatro tipos iniciais de produtos, originados em etapas distintas dos processos de extração, fundição e refino, que são: (a) minério de cobre, que corresponde ao minério extraído da mina, cujo teor oscila entre 0,7% e 2,5%; (b) concentrado de cobre, que corresponde ao minério de cobre com processamento inicial de moagem, mistura com água e reagentes e cujo teor de cobre varia entre 30% e 38%; (c) cobre fundido, que corresponde ao concentrados, que por meio de processos pirometalúrgicos, se transformam no chamado cobre blister com teor de 98,5% e posteriormente no anodo de cobre, cujo teor é de 99,7% de cobre, e; (d) cobre refinado, que corresponde aos anodos e às soluções (no caso da lixiviação) que são refinados por processo de fundição ou

eletrólise, resultando nos catodos, com pureza de 99,9% de cobre.

Dessa forma a cadeia produtiva do cobre (Figura 12). se organiza em: (i) mineração que engloba as etapas iniciais de extração e beneficiamento do minério para obtenção de concentrados e posteriormente a eletrólise ou pirometalurgia para obtenção de cobre blister; (ii) a produção de bens intermediários que incluem a fabricação de cobre refinado, e produtos destinado a indústria de bens finais que incluem a fusão e trefilação e produção de vergalhões, fios, tubos perfis, chapas e; (iii) indústria de bens finais que incluem o transporte comercialização e produção de diversos produtos manufaturados, como cabos, motores, componentes eletrônicos, etc.

No estado de Goiás a cadeia produtiva do cobre está restrita à fase de mineração (Fig. 4), que envolve a lavra e beneficiamento inicial do minério até a produção de minério de cobre concentrado. Como mencionado acima, o cobre da Mina de Chapada está associado principalmente a minerais sulfetados e têm como subproduto o ouro. Segundo Silva (2011) a lavra de minério de cobre se dá em mina a céu aberto e envolve o decapeamento, perfuração da rocha, detonação, carregamento e transporte, já o beneficiamento normalmente envolve etapas de britagem primária, seguida por pilhas de regularização e transporte do ROM (Run of Mine) britado até a planta de moagem e concentração, que envolvem estágios de moagem, flotação de sulfetos e secagem com produção de concentrados com teor de aproximadamente 30% de Cu. Na Mina de Chapada o concentrado obtido tem teor em torno de 25% de cobre e 15.5g/t de ouro (Moore et al., 2019). O concentrado produzido na planta de Chapada é comercializado e transportado por caminhões por aproximadamente 1630 km até o porto de Açú, em Vitória no Espírito Santo, onde é carregado em navios (Moore et al., 2019) e exportado para plantas fundição em diversos países.



**Figura 12: Cadeia produtiva do cobre.**

Fonte: Plano Mineral do Estado do Pará (2014), com atualização, complementos e ajustes por Maria Amélia Enríquez, Lucas Paiva Ferraz e Evandro Diniz.

## 5.4 Níquel

O níquel (Ni) é um elemento de transição que exibe uma mistura de propriedades de metais ferrosos e não ferrosos, pois é siderófilo e calcófilo, ou seja associado ao ferro e ao enxofre (McRae, 2023).

Existem dois tipos principais de depósitos de níquel: (a) depósitos lateríticos supergênicos, onde o níquel é extraído a partir minérios compostos por limonita niquelífera [(Fe,Ni)O(OH)] e garnierita (um silicato de níquel hidratado) e; (b) depósitos magmáticos de sulfetos onde o principal mineral de minério é a pentlandita [(Ni,Fe)<sub>9</sub>S<sub>8</sub>] (McRae, 2023). Em ambos os casos os depósitos de níquel estão associados a rochas ricas em magnésio, chamadas de rochas ultramáficas.

No estado de Goiás os maiores depósitos de níquel são do tipo laterítico supergênico. A produção de níquel no Estado se concentra na região de Niquelândia e Barro Alto, onde as reservas lavráveis de níquel laterítico são estimadas em aproximadamente 50 milhões de toneladas de minério com teor de 1.2% Ni. Há também recursos ainda não explorados de níquel laterítico na porção oeste do Estado, na região de Jussara e Montes Claros de Goiás, porém esses recursos possuem desafios tecnológicos a serem superados para que sejam lavrados para produção de níquel. Em Americano do Brasil, na porção central do Estado, corpos de minério do tipo magmático, caracterizados por camadas de sulfeto maciço contendo teores comerciais de Ni e Cu foram lavrados entre 2006 e 2010 (e.g., Silva et al., 2011). Atualmente a

Mina de Americano do Brasil encontra-se desativada.

O níquel é inicialmente comercializado como metal refinado (cátodo, pó, briquete, etc.) ou como ligas de ferroníquel, sendo que cerca de 65% do níquel consumido no mundo ocidental é usado para fabricar aço inoxidável austenítico e 12% para fabricação de superligas (Inconel 600) ou ligas não ferrosas (por exemplo, cuproníquel), ambas amplamente utilizadas devido à sua resistência à corrosão (McRae, 2023). A indústria aeroespacial é um dos principais consumidores de superligas à base de níquel, onde tais ligas são empregadas na fabricação de pás de turbina, discos e outras peças críticas de motores a jato (McRae, 2023). Superligas à base de níquel também são usadas em turbinas de combustão terrestres, como as encontradas em estações de geração de energia elétrica, os 23% restantes do consumo são divididos entre ligas de aço, baterias recarregáveis, catalisadores e outros produtos químicos, cunhagem, produtos de fundição e revestimento (McRae, 2023).

#### **5.4.1 Cadeia Produtiva do Níquel**

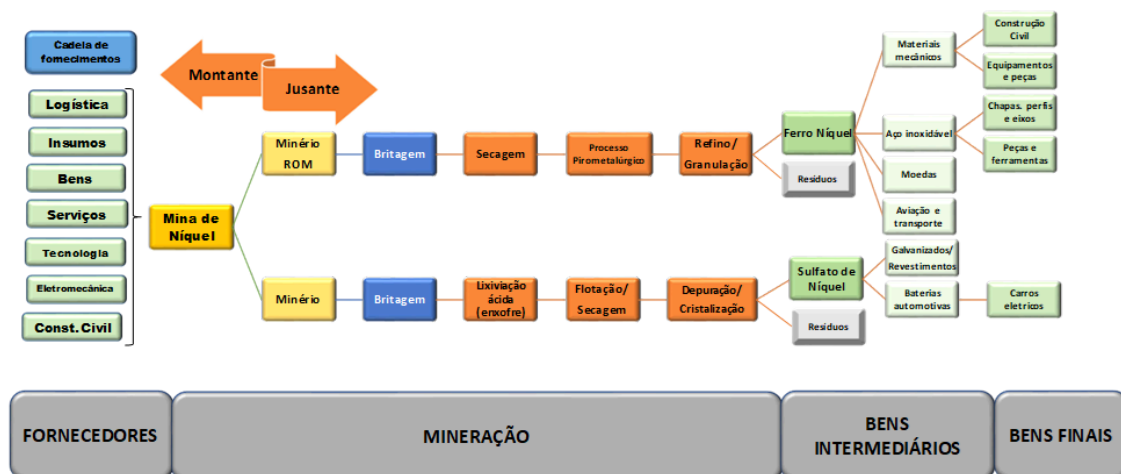
A indústria de transformação do níquel pode ser separada em: (a) mineração que envolve a lavra e beneficiamento do minério, seguido por; (b) produção de bens intermediários, que envolve a produção de produtos semimanufaturados, tais como ligas de ferro-níquel, sulfato de Níquel, aço inoxidável, galvanizados, materiais mecânicos etc., e; (c) produção de bens finais que inclui equipamentos, peças ferramentas, carros elétricos (Figura 13). A mineração é o início da cadeia produtiva do níquel, a montante há uma ampla e complexa cadeia de fornecedores e de prestadores de serviços, e à jusante há a produção de produtos como ligas de ferro-níquel e sulfato de níquel.

Por ser um metal que pode ser extraído tanto a partir de minérios formados por processos supergênicos (goethita, limonita, garnierita, nontronita, etc), como de minério associado a sulfeto (ex. pentlandita), diferentes rotas podem ser utilizadas para a lavra e beneficiamento do minério de níquel.

No caso do processamento de minérios supergênicos (principal tipo de depósito no Estado de Goiás) a lavra é feita em mina a céu aberto e se inicia com decapeamento, carregamento e transporte até pilhas de armazenamento, a partir daí há diferentes opções de rotas de beneficiamento (Silva, 2001). Convencionalmente, os minérios limoníticos, onde o níquel está levemente ligado à goethita, são processados via rota hidrometalúrgica enquanto os minérios saprolíticos, onde o níquel está incorporado na

rede da estrutura cristalina do silicato de magnésio (garnierita, nontronita), o processamento pirometalúrgico torna-se mais apropriado (Guimarães, 2019).

Existem quatro rotas para a produção de níquel, seja na forma metálica ou na forma de liga (ferro-níquel) (Guimarães, 2019). Para os minérios limoníticos, as rotas são denominadas: (i) HPAL (High Pressure Acid Leaching), que envolve etapas de lixiviação ácida em alta pressão, seguido por neutralização, precipitação e redissolução e por fim purificação e recuperação; (ii) processo Caron, que envolve etapas de secagem, calcinação, redução, lixiviação amoniacal, purificação e recuperação. Para o minério saprolítico, o circuito RKEF (Rotary Kiln – Electric Furnace), é o utilizado para produção de ligas de ferro-níquel, enquanto o processo de fusão redutora de minério de níquel bruto em alto-forno alto é empregados para a produção de NPI (ferro gusa de níquel) (Guimarães, 2019).



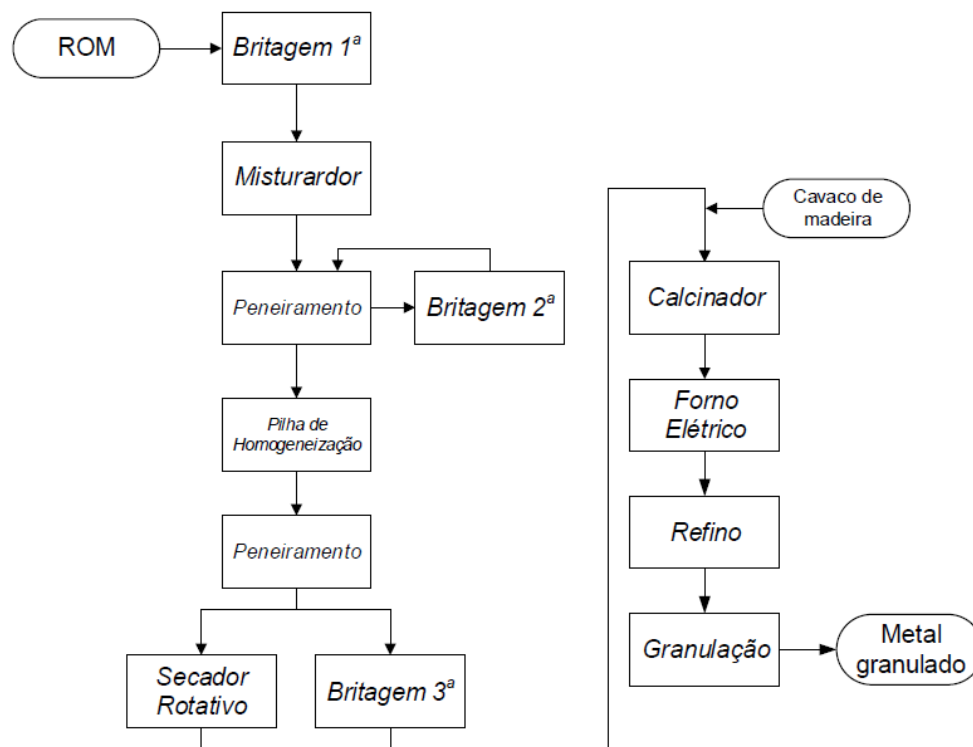
**Figura 13: Cadeia produtiva do níquel**

Fonte: Plano Mineral do Estado do Pará (2014), com atualização, complementos e ajustes por Maria Amélia Enríquez, Lucas Paiva Ferraz e Evandro Diniz.

De maneira sucinta a produção de ligas de ferro-níquel pelo circuito RKEF é dado por fases de britagem e peneiramento do minério, seguido por secagem, calcinação, fusão em forno elétrico, redução, refino e por fim lingotamento ou granulação (Guimarães, 2019). Essa rota (Figura 14) é a utilizada pela CODEMIN S.A. em Niquelândia e na unidade da Anglo American Níquel em Barro Alto.

Assim como a maioria dos demais bens minerais metálicos, a cadeia do níquel

no Estado de Goiás se restringe aos ciclos iniciais da cadeia produtiva que inclui a mineração e beneficiamento do minério indo até a produção de ligas de ferro-níquel que são comercializadas para produção de ligas em indústrias siderúrgicas localizadas fora do Estado ou exportado para outros países. Não há informação sobre a produção de sulfato de níquel ou processamento do mesmo para produção de ligas metálicas no Estado atualmente. Ademais, a Votorantim Metais possuía, até meados de 2016, uma unidade de produção de carbonato de níquel em Niquelândia. O carbonato de Níquel produzido pela Cia Níquel Tocantins, subsidiária da Votorantim Metais, era posteriormente enviado para refino eletrolítico fora do estado, em São Miguel Paulista (SP). A unidade de produção de carbonato de níquel encontra-se atualmente com as operações paralisadas.



**Figura 14: Fluxograma ilustrado da produção de ligas de ferro-níquel na Unidade da CODEMIN em Niquelândia através do circuito RKEF**

Fonte: Anglo American, modificado de Guimarães (2019).

### 5.5 Elementos Terras Raras (ETR)

Os elementos de terras raras (ETRs) compreendem um grupo de 15 elementos que variam em número atômico de 57 (lantânio) a 71 (lutécio), comumente chamados

de “lantanídeos” (Van Gosen et al., 2017). Também se inclui nesse grupo o ítrio (número atômico 39), comumente considerado um REE porque compartilha semelhanças químicas e físicas e tem afinidades com os lantanídeos (Van Gosen et al., 2017).

Os elementos terras raras apresentam-se como metais com cor que variam de cinza ferro a prateado lustroso, são tipicamente macios, maleáveis e dúcteis e geralmente reativos, especialmente em temperaturas elevadas ou quando finamente divididos (Cordier, 2023). São amplamente empregados na indústria de vidros, onde são utilizados no polimento ou como aditivos para produção de vidros com propriedades ópticas especiais (Van Gosen et al., 2017). Os elementos terras raras também são utilizados na indústria de tecnologia de defesa, energia, militar, no refino de petróleo (catalisadores de Lantânio), conversores catalíticos automotivos e mais recentemente, na fabricação de ímãs neodímio-ferro-boro e baterias de níquel-hidreto metálico que usam ânodos feitos de ligas à base de lantânio, aplicação que têm crescido rapidamente nos últimos anos (Van Gosen et al., 2017), de forma que a demanda mundial do metal tem aumentado por conta do comprometimento de países, principalmente da Europa, com a transição energética.

As terras raras são relativamente abundantes na crosta terrestre, mas as concentrações lavráveis são menos comuns do que para a maioria das outras commodities minerais (U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, 2023). Na natureza os ETR estão contidos, principalmente, nos minerais dos grupos da bastnaesita (Ce, La)  $\text{CO}_3\text{F}$ , monazita (Ce, La)  $\text{PO}_4$ , argilas iônicas portadoras de terras raras e xenotímio ( $\text{YPO}_4$ ) (Andrade, 2013). Portanto muitos dos depósitos de ETR estão em carbonatitos, que são rochas ígneas carbonáticas, também em rochas ígneas peralcalinas, corpos magmáticos de magnetita-hematita, em depósitos de óxido de ferro-cobre-ouro (IOCG), como acumulações de xenotima e de monazita em gnaiss máfico ou em placer, e por fim como íons adsorvidos em argilas iônicas (Van Gosen et al., 2017), produto do intemperismo de rochas graníticas e alcalinas. Os carbonatitos têm sido a principal fonte mundial de REEs leves desde a década de 1960 já os depósitos de argila iônica do sul da China são a principal fonte mundial de REEs pesados (Van Gosen et al., 2017).

A produção mundial de Terras Raras foi de cerca de 300 mil toneladas de metal em 2022, sendo a China responsável por 70% da produção mundial (U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, 2023). O estado de Goiás possui a maior

reserva de ETR do país até o momento e o maior depósito do hemisfério sul. O principal depósito (Depósito Pela Ema) está localizado no município de Minaçu, onde íons de ETR estão adsorvidos em argilas iônicas, produto do intemperismo do granito Serra Dourada. As reservas medidas e indicadas são de 350 milhões de toneladas com teor médio de 0.15% TREO (LREO + HREO; LREO =  $CeO_2 + La_2O_3 + Nd_2O_3 + Pr_6O_{11} + Sm_2O_3$ ; HREO =  $Eu_2O_3 + Gd_2O_3 + Yb_2O_3 + Dy_2O_3 + Er_2O_3 + Ho_2O_3 + Lu_2O_3 + Tb_4O_7 + Tm_2O_3 + Y_2O_3$ ), já o recurso estimado é de cerca de 911 milhões de toneladas com teor médio de 0.12% TREO. Tanto a mina como a planta de beneficiamento estão em fase de implantação, com previsão de início de produção no segundo semestre de 2023, portanto ainda não há produção de ETR no estado, sendo que os demais recursos (inexplorados) de ETR estão associados à intrusão carbonatítica de Catalão e Ouidor.

### **5.5.1 Cadeia produtiva dos Elementos Terras Raras (ETR's)**

Ainda não existe uma cadeia produtiva estabelecida para os Elementos Terras (ETR) no Estado. O primeiro e principal depósito (Pela Ema) é do tipo supergênico, ainda está em fase de implantação e deverá produzir concentrado de ETR que será comercializado com grandes players globais (Conexão Mineral, 2021). O processo produtivo irá envolver mineração à céu aberto e o beneficiamento, para remoção dos íons de ETR adsorvidos nas argilas, se dará através do uso de tecnologia simples, com o uso solução salina (NaCl) sem britagem, moagem ou lixiviação ácida, em um processo com baixo impacto ambiental (Site Mineração Serra Verde).

### **5.6 Ouro**

O ouro (Au) é um metal de transição raro, número atômico 79, cor amarelo, brilho metálico, denso (19,32 g/cm<sup>3</sup>). Suas principais propriedades físicas incluem alta elasticidade (4 kg/mm<sup>2</sup>) e maleabilidade, baixa dureza (2,5 a 3,0 na escala de Mohs), alta condutividade elétrica, baixa resistividade, alta resistência à corrosão e oxidação (Nery & Silva, 2001).

Por suas propriedades físicas, beleza e permanência, o ouro tem sido valorizado desde os tempos antigos, para fabricação de joias, adornos e peças artísticas, sendo que ainda hoje a maior parte do ouro produzido é usado na fabricação de joias (Sheaffer, 2023). No entanto, devido à sua condutividade elétrica superior e resistência à corrosão, além de outras combinações desejáveis de propriedades físicas e químicas, o

ouro também tem sido amplamente usado, desde o final do século 20, como um metal industrial essencial na fabricação de computadores, equipamentos de comunicação, espaçonaves, motores de aeronaves a jato e uma série de outros produtos (Sheaffer, 2023). Embora o ouro seja importante para a indústria joalheira e as artes, ele também mantém um status único entre todos os bens minerais metálicos, como uma reserva de valor de longo prazo e até recentemente, era considerado essencialmente um metal monetário, já que grande parte do ouro produzido a cada ano ia para os cofres do tesouro do governo ou dos bancos centrais (Sheaffer, 2023).

Em 2022 a produção global estimada de ouro foi de 3.090 toneladas do metal (Sheaffer, 2023). Estima-se que o consumo global foi dividido da seguinte forma: 47% para fabricação de joias; 17% em barras físicas; 20% para bancos centrais e outras instituições; 9% para fabricação de moedas oficiais, medalhas e moedas de imitação; 6% na indústria elétrica e eletrônica e; 1% em outras aplicações (Sheaffer, 2023).

Os maiores produtores mundiais de ouro em 2022 foram China, (330 ton Au), Austrália (320 ton Au), Rússia (320 ton Au) e Canadá (220 ton Au), que juntos responderam por mais de um terço da produção mundial do Metal (e.g., Sheaffer, 2023). O Brasil figura entre os 20 maiores produtores de ouro do mundo, e em 2022 produziu cerca de 60 toneladas do metal (e.g., Sheaffer, 2023).

O ouro é um dos poucos metais que ocorre em seu estado nativo na natureza (Nery & Silva, 2001). Concentrações economicamente explotáveis de ouro podem ocorrer em uma ampla variedade de ambientes geológicos e tipos de depósitos. No estado de Goiás os principais tipos de depósito são:

(i) do tipo hidrotermal (também chamado de minério primário). Esse tipo de depósito se forma pela ação de soluções aquosas quentes que, ao percolar as rochas da crosta, removem pequenas quantidades do metal, disseminado nessas rochas da crosta e transportando-os a até locais, onde mudanças nas condições físico-químicas do fluido, fazem com que o ouro se precipite e, formando, assim, concentrações econômicas do metal, geralmente ao longo de fraturas, falhas, zonas de cisalhamento ou nas zonas de borda de intrusões ígneas. Nesses casos ouro nativo geralmente está disseminado em veios de quartzo e/ou uma infinidade de minerais, produtos da alteração hidrotermal, tais como minerais do grupo dos sulfetos, carbonatos, óxidos e silicatos. Os teores do metal normalmente variam de menos de um grama até algumas dezenas gramas do metal por tonelada de rocha, na zona de minério. Em casos raros alguns

depósitos podem chegar a teores da ordem de centenas de gramas de ouro por tonelada de rocha.

(ii) do tipo placer, onde o ouro é transportado e concentrado fisicamente. Nesse caso, o ouro na forma de grãos ou clastos, proveniente do intemperismo e erosão de rochas previamente enriquecidas no metal (normalmente concentrações hidrotermais) é removido e transportado por fluxos aquosos de alta energia, formando concentrações econômicas junto a sedimentos grossos, normalmente níveis conglomeráticos ou de areia grossa de depósitos sedimentares fluviais. Depósitos fluviais do tipo placer (considerados recentes no tempo geológico) são encontrados ao longo de rios em diversas bacias hidrográficas no Estado de Goiás. A lavra desses depósitos normalmente é feita por pequenas operações garimpeiras, que na maioria das vezes são ilegais.

Em 2021 o Estado de Goiás produziu, cerca de 7050 kg de ouro, sendo o sexto produtor do metal no país (Anuário Mineral Brasileiro, 2022). Os maiores produtores de ouro do Estado estão localizados nos municípios de Crixás, Pilar de Goiás e Alto Horizonte, onde o ouro é extraído a partir de depósitos primários do tipo hidrotermal. As principais empresas produtoras no Estado são a Mineração Serra Grande S/A, em Crixás, Pilar de Goiás Desenvolvimento Mineral Ltda, em Pilar de Goiás, e Mineração Maracá Indústria e Comércio, em Alto Horizonte. Além dessas três empresas há também o projeto Mara Rosa da empresa Hochschild, em fase de implantação com início de produção prevista para o início de 2024.

Há também produção de ouro através de lavra garimpeira, Nesse tipo de atividade a extração e produção de ouro possui baixo nível de mecanização e industrialização, sendo uma atividade essencialmente artesanal.

### **5.6.1 Cadeia produtiva do Ouro**

Por se tratar de um metal com alto valor agregado a produção de ouro é feita por operações que variam amplamente quanto aos níveis de mecanização e profissionalização da produção. A indústria do ouro vai desde a escala de garimpo, onde a produção pode ser manual (artesanal), até a escala industrial onde o processo produtivo é complexo, totalmente mecanizado e ocorre em parques industriais modernos. Esses parques, normalmente localizados nas imediações das minas, beneficiam o minério lavrado nas minas e produzem ouro semimanufaturado na forma

de lingotes ou barras em fundições localizadas dentro do complexo de beneficiamento. Dessa forma, ao tratar da cadeia produtiva do ouro é necessário levar em consideração essas variações em escala de produção.

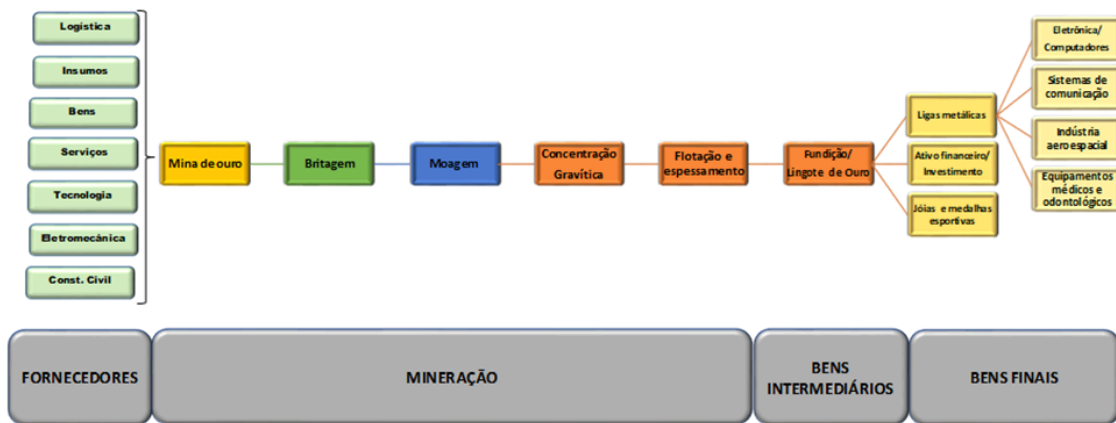
Embora não haja dados precisos sobre produção de ouro em garimpos, estima-se que a grande maioria do ouro produzido no Estado de Goiás se dá em escala industrial.

A cadeia produtiva do ouro (Figura 15) é dada pelas fases de: (I) mineração, que inclui etapas de lavra e beneficiamento do minério; (II) produção de bens intermediários, que inclui as etapas de fundição e transporte do ouro produzido nas unidades de mineração; (III) produção de bens finais, que inclui etapas de purificação, refino, comercialização (muitas vezes feito por empresas denominadas distribuidoras de títulos e valores mobiliários - DTVM) e produção de bens manufaturados (joalheria, ligas metálicas destinadas à indústria de componentes eletrônicos, ativos monetários, etc).

Em unidades industriais o ouro é lavrado a partir da rocha sã em minas a céu aberto ou lavras subterrâneas. O processo de lavra e beneficiamento se inicia com o desmonte e transporte do minério até as pilhas de minério. Posteriormente o ROM (Run of Mine) é levado até as usinas de britagem e cominuição. Após a cominuição, o minério passa por fases de separação e concentração gravítica (que pode envolver etapas de separação magnética) e flotação onde boa parte do ouro é extraído. O concentrado com ouro que não foi extraído na fase de separação gravítica e flotação é eventualmente enviado para fases de filtração, ustulação e lixiviação. Nesse processo a polpa é mantida em solução com lixiviantes (ex. cianeto de Na) que promove a extração do ouro das partículas da polpa através da associação do ouro a complexos solúveis de di-cianureto. Posteriormente o ouro é recuperado através do uso de carvão ativado onde o ouro é adsorvido ao carvão (Figura 16). Tanto o ouro produzido por concentração gravítica como o ouro produto da cementação em tanques de lixiviação, é enviado para fundição onde são produzidos lingotes de Au ou Au/Ag. O ouro na forma de lingote é posteriormente transportado para unidades de comercialização e refino, normalmente localizadas fora do Estado. Esse processo é similar nas minas localizadas em Pilar de Goiás e em Crixás. A exceção a esse processo é o caso do ouro produzido na Mineração Maracá, já que o mesmo é vendido, como contido concentrado (ver item 2.1.4.3.1) que têm teor de 25% de cobre e 15.5g/t de ouro e, portanto, toda a parte de extração e fundição do ouro ocorre fora do país.

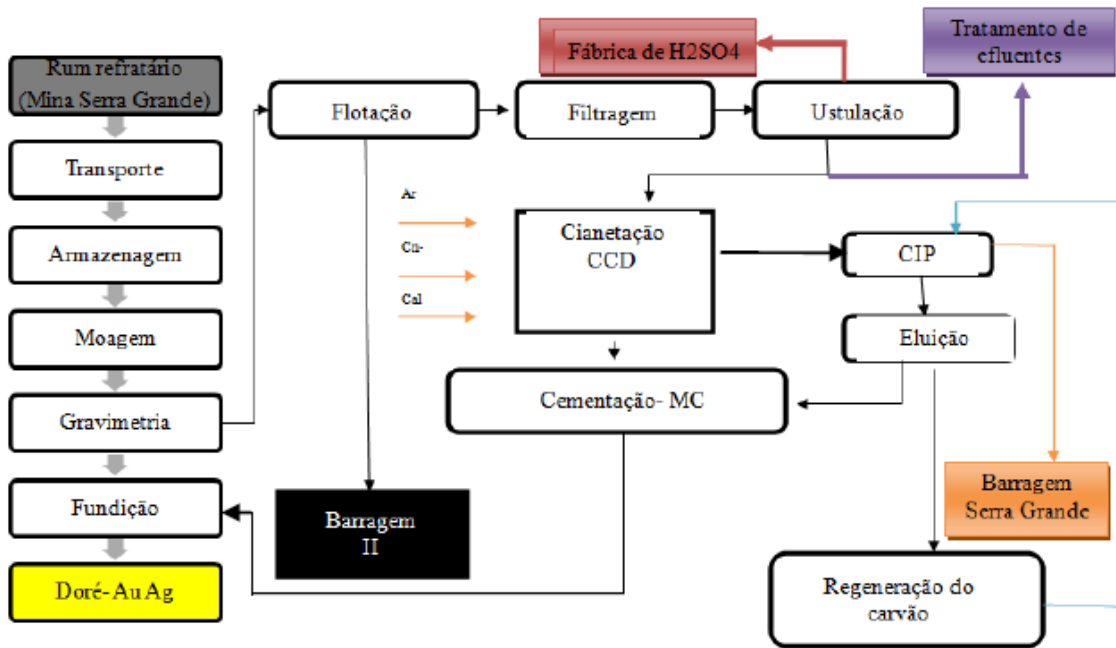
A maioria das operações de lavra garimpeiras se localizam nas imediações dos grandes distritos mineiros do Estado, onde há também produção industrial de ouro, entretanto há registros de garimpos sazonais ou perenes em diversas localidades. Algumas dessas produções são formais e se organizam na forma de cooperativas de garimpeiros, como ocorre por exemplo na região de Crixás, entretanto boa parte dessas atividades são informais e, muitas vezes até ilegais.

A produção de ouro nos garimpos que lavram minério primário começa com o desmonte (normalmente manual) da rocha sã ou de porções saprolíticas da zona de minério, seguido de britagem e cominuição e posterior recuperação do ouro através de processos de concentração gravítica, que podem incluir, desde o uso de batéia, até calhas concentradoras. Já a produção de ouro a partir da lavra de depósitos do tipo placer normalmente é feita com o uso de dragas que dragam os sedimentos do fundo do rio e concentram ouro por processos gravíticos. Na maioria das operações garimpeiras a purificação é feita utilizando-se mercúrio. O ouro produzido nos garimpos normalmente é comercializado localmente com atravessadores que compram ouro dos garimpeiros e vendem a companhias DTVM, que posteriormente o revende para empresas refinadoras, indústria de joalheria etc. (Altino, 2022).



**Figura 15: Cadeia do ouro**

Fonte: Plano mineral do Estado do Pará, com complemento e ajustes por Maria Amélia Enríquez, Lucas Paiva Ferraz e Evandro Diniz.



**Figura 16: Fluxograma do processo de beneficiamento de ouro na unidade industrial da Anglo Gold Ashanti em Crixás.**

Fonte: Gomes & Batista (2019).

## 6 Gemas

Gemas são minerais, rochas ou materiais orgânicos que possuem características estéticas, como beleza, cor, brilho, transparência e raridade, que as tornam valiosas e desejadas para uso em joias, ornamentos e decorações. Elas têm sido apreciadas e usadas por seres humanos ao longo da história por sua beleza natural e simbólica. As gemas podem ser encontradas na natureza em diferentes partes do mundo e são frequentemente lapidadas e polidas para realçar sua beleza.

As gemas são classificadas e avaliadas com base em várias características que afetam seu valor e apelo estético. As principais características e critérios de classificação das gemas incluem:

- Cor: É frequentemente o fator mais importante na avaliação de uma gema. A cor ideal pode variar dependendo do tipo de gema.
- Clareza: Refere-se à presença de inclusões (imperfeições internas) e defeitos na gema. As gemas mais valiosas geralmente são as mais limpas, sem inclusões visíveis a olho nu. No entanto, algumas gemas, como a

opala, podem exibir inclusões que são valorizadas por sua beleza única.

- Corte: Compreende a maneira como ela foi lapidada, incluindo o número de facetas, o alinhamento e o polimento.
- Peso: É medido em quilates. Um quilate é igual a 0,2 gramas. Gemas maiores geralmente são mais valiosas do que gemas menores do mesmo tipo e qualidade.
- Brilho: Está relacionado à sua capacidade de refletir a luz e a lapidação desempenha um papel fundamental na maximização do brilho.
- Dureza: É a resistência de uma gema a arranhões e desgaste
- Origem: A origem geográfica da gema pode influenciar seu valor.
- Tratamentos: Algumas gemas são submetidas a tratamentos para melhorar sua cor, clareza ou brilho. É importante que qualquer tratamento seja divulgado e transparente, pois isso pode afetar o valor da gema.

A avaliação e classificação de gemas podem ser complexas e requerem conhecimento especializado.

Com relação a produção de gemas, Goiás é um dos estados do Brasil que tem uma produção significativa de gemas, como cristais de quartzo, quartzito e com destaque para as esmeraldas. O quartzo é uma das gemas mais comuns e versáteis encontradas em todo o mundo, e Goiás possui depósitos desse mineral que são explorados para fins comerciais e de joalheria.

Uma das áreas mais conhecidas pela produção de quartzo como gema em Goiás é a região de Cristalina, que é famosa por suas formações de quartzo de alta qualidade.

Cristalina é uma cidade localizada no entorno do Distrito Federal, na região leste de Goiás. É conhecida como a "Capital do Quartzo" devido à abundância e à qualidade das gemas de quartzo encontradas na área. O quartzo cristalino, frequentemente chamado de "cristal de quartzo", é a variedade mais notável e valiosa produzida na região.

Os cristais de quartzo de Cristalina são apreciados por suas qualidades claras e transparentes, que os tornam ideais para lapidação e uso em joias. Eles são frequentemente lapidados em diversas formas, incluindo pedras facetadas, esferas e obeliscos.

Além de Cristalina, há outras áreas em Goiás onde o quartzo como gema é explorado e produzido. Essas áreas podem variar em termos de tipos de quartzo

produzidos e características geológicas.

Já as esmeraldas de Goiás são conhecidas por sua qualidade e cor verde intensa. A região de Campos Verdes é especialmente famosa por suas minas de esmeraldas.

## **6.1 Esmeraldas**

Esmeraldas são gemas preciosas de cor verde pertencentes ao grupo mineral do berilo. Elas são conhecidas por sua beleza e são uma das quatro pedras preciosas mais valiosas do mundo, juntamente com diamantes, rubis e safiras. As esmeraldas são apreciadas por sua cor verde intensa, que pode variar de tons suaves e claros a verde-escuro profundo.

A cor verde característica das esmeraldas é devido à presença de pequenas quantidades de cromo e, em alguns casos, vanádio, no cristal de berilo. Esses elementos químicos conferem à gema sua coloração verde única. Quanto mais intensa e uniforme for a cor verde, mais valiosa será a esmeralda.

Além da cor, as esmeraldas são avaliadas com base em sua clareza (a presença de inclusões ou imperfeições internas), lapidação (a forma e o estilo de corte), peso quilate (tamanho) e origem (a região de onde a esmeralda é extraída).

Campos Verde é conhecida por suas atividades de mineração de esmeraldas, depósitos denominados Trecho Velho, Trecho Novo, Trecho do Netinho, Trecho da Esperança e Trecho do Cemitério, fazem parte da reserva garimpeira em Campos Verdes. As ocorrências de esmeraldas em Campos Verdes foram descobertas em 1981 e atraíram garimpeiros para a região.

Há diferentes tipos de esmeraldas em Campos Verdes, com variações na qualidade e características. Além das esmeraldas, há também berilo verde e berilo verde microcristalino.

Esses depósitos estão associados à sequência vulcano-sedimentar de Santa Terezinha, que é considerada como tendo uma idade paleoproterozóica de cerca de 2,2 bilhões de anos. No entanto, também é possível aventar uma possível relação com o arco magmático de Goiás, que tem uma idade neoproterozóica, conforme indicado por Barros Neto (2000).

Estudos de detalhe mostram que há diversos tipos de corpos mineralizados em esmeralda nos depósitos de Campos Verdes (Biondi, 1990). O tipo mais comum

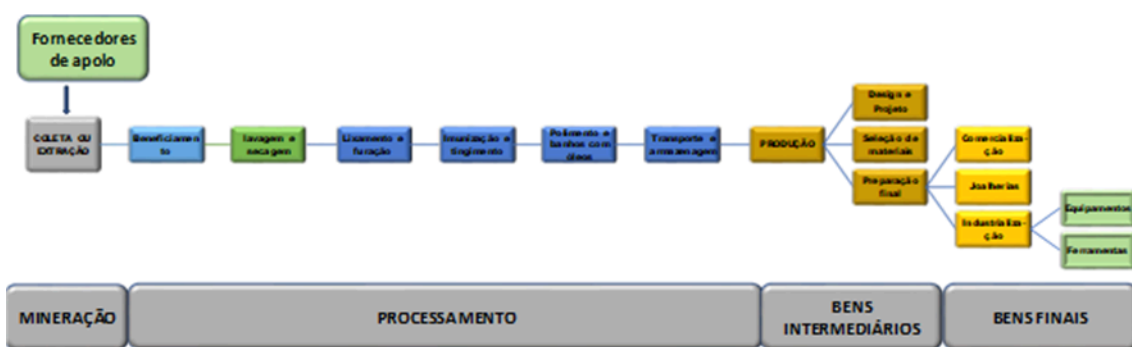
apresenta morfologia complexa em consequência das diversas fases de dobramento e falhamento que afetaram as rochas hospedeiras. O minério é rocha xistosa composta por talco, biotita e carbonato, esmeralda podendo ocorrer também, embora em menor proporção, em carbonato-clorita-quartzo xisto ou clorita-biotita xisto, encaixantes da rocha carbonatada.

Os minérios carbonatados têm altos teores de MgO e SiO<sub>2</sub>, enquanto o tipo clorita-biotita é mais rico em alcalinos, FeO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e outros elementos. A mineralização é resultado de processos hidrotermais complexos, com a formação de diferentes zonas hidrotermais e reações químicas que levaram à deposição de berilo e esmeralda.

A origem do berílio (Be) necessário para a formação da esmeralda ainda não está completamente esclarecida, mas sugere-se que possa ter vindo de rochas graníticas próximas.

### 6.1.2 Cadeia produtiva das gemas

A cadeia produtiva das gemas envolve uma série de etapas desde a sua formação nas rochas até a sua comercialização como uma gema preciosa. Essas etapas incluem: Exploração e mineração, extração, classificação e Triagem, lapidação, tratamento, certificação e avaliação, design e joalheria, comercialização e vendas, exportação, importação e manutenção (Figura 17).



**Figura 17: Fluxograma da cadeia de produtividade da esmeralda.**

Fonte: Plano Mineral do Estado do Pará (2014), com atualização, complementos e ajustes por Maria Amélia Enríquez, Lucas Paiva Ferraz e Evandro Diniz.

A primeira etapa, a exploração e mineração envolve a exploração de áreas

geológicas que têm potencial para conter depósitos de gemas. A exploração geológica é realizada para identificar possíveis locais de mineração. Após a identificação, inicia-se a mineração, que pode variar de mineração artesanal a operações de mineração em larga escala, dependendo da escala e da profundidade dos depósitos. Durante a extração, os depósitos de gemas são removidos das rochas. Isso pode ser feito manualmente, com a quebra das rochas, ou por meio de maquinaria pesada, dependendo das condições da mina.

As gemas brutas extraídas são classificadas e tratadas de acordo com sua qualidade e tamanho. Pedras de menor qualidade ou com muitas inclusões podem ser destinadas à lapidação ou tratamento, enquanto as pedras de alta qualidade pode ser enviadas diretamente para a lapidação. A lapidação é uma etapa crítica na cadeia produtiva da esmeralda. Os lapidários são responsáveis por dar forma às pedras brutas, realçar sua beleza e otimizar a reflexão da luz. O corte da gemas é escolhido com base em suas características naturais para maximizar sua aparência. Algumas gemas passam por tratamentos para melhorar sua cor e clareza. O tratamento mais comum envolve o uso de óleo ou resina para preencher pequenas fissuras e imperfeições, tornando a gema mais atraente.

As gemas lapidadas são frequentemente certificadas por laboratórios gemológicos independentes que avaliam a qualidade da gema e emitem certificados de autenticidade. A avaliação inclui características como cor, clareza, peso (quilate) e lapidação. As gemas lapidadas são usadas em jóias de alta qualidade. Designers de jóias criam peças exclusivas, como anéis, colares, brincos e broches, incorporando esmeraldas em suas criações.

Posteriormente, as gemas são comercializadas em joalherias, leilões e por meio de negociações entre atacadistas e varejistas. Os compradores incluem colecionadores, joalheiros e consumidores que apreciam gemas de qualidade.

Em alguns casos, podem ser exportadas para outros países onde há demanda por essas gemas preciosas. A importação ocorre quando os compradores internacionais adquirem gemas de origens específicas.

Os proprietários de jóias precisam cuidar e manter suas peças, incluindo a limpeza e a proteção das gemas, para garantir sua beleza e durabilidade ao longo do tempo.

A cadeia produtiva da gema envolve várias etapas, desde a extração nas minas até a criação de jóias de alta qualidade. Cada etapa requer habilidades específicas e

conhecimentos técnicos para garantir a qualidade final das esmeraldas lapidadas e das jóias que as incorporam.

## **7. Conclusão**

De maneira geral, há uma grande margem para a ampliação das cadeias produtivas minerais do estado através da integração e verticalização das cadeias produtivas. Também há espaço para a ampliação dos arranjos produtivos locais, principalmente na indústria de agregados para a construção civil, e na organização da exploração garimpeira de metais preciosos, como o ouro.

## Referências

- ABIROCHAS. 2022. Tabela das Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento. Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS) Disponível em: [https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2022/04/Exporta\\_Importa-dezembro-2022.pdf](https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2022/04/Exporta_Importa-dezembro-2022.pdf). Acesso em: 30 setembro, 2023.
- Altino, L. De onde vem o ouro que você compra?. O Globo. 2022. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/um-so-planeta/noticia/2022/06/de-onde-vem-o-ouro-que-voce-compra.ghtml>. Acesso em: 17 Ago 2023.
- Andrade, L. A. A.; Vieira, J. R. M.; Cunha, L. M. S.; Keller, M. C. 1997. A Cadeia Produtiva do Cobre: Panorama Internacional e Nacional. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, vol. 6, p. 19-48.
- Andrade, R. H. P. 2013. Terras Raras, In: Sumário Mineral 2013. DNPM, 3p. Disponível em: <https://sistemas.anm.gov.br/publicacao>
- Aulicino, A.L., Costa, J.A.V., Mendes, E.S., Guerra, E.A. 2014. Boletim Regional Urbano e Ambiental. IPEA Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.
- BARROS NETO, L. S. Evolução estrutural do Distrito Esmeraldífero de Campos Verdes, Goiás. 2000. 111 f. Dissertação (mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2000.
- Bier, T. A. (2005). Cement chemistry (3rd ed.). Thomas Telford.
- BIONDI, J. C. Depósitos de esmeralda de Santa Terezinha. Revista Brasileira de Geociências, v. 20, p. 7-24, 1990.
- Brasil. 2019. Agência Nacional de Mineração. Anuário Mineral Estadual - Distrito Federal e Goiás/ Coord. Técnica de Marina Dalla Costa, Brasília, 119p.
- Brasil Minérios. Disponível em: <https://www.brasilminerios.com.br/>. Acesso em setembro de 2023.
- Chiodi Filho, C. Consumo Interno, Perfil de Utilização e Estrutura de Comercialização das Rochas Ornamentais e de Revestimento no Brasil. Belo Horizonte : Abirochas, 2004. Disponível em: [http://www.abirochas.com.br/info\\_mercado/Estrutura\\_de\\_Comercializacao\\_Mercado\\_Interno.pdf](http://www.abirochas.com.br/info_mercado/Estrutura_de_Comercializacao_Mercado_Interno.pdf)
- Chiod Filho, C. 2021. O Setor Brasileiro de Rochas Ornamentais, ABIROCHAS (Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais). Disponível em:

[https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2022/01/Informe\\_05\\_2018\\_Setor\\_de\\_Rochas\\_Ornamentais\\_c.pdf](https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2022/01/Informe_05_2018_Setor_de_Rochas_Ornamentais_c.pdf). Acessado em 29 de setembro, 2023.

CHINA MOLYBDENUM CO LTD (CMOC). Fosfatos. Disponível em: <https://cmocbrasil.com/br/negocios/fosfatos>. Acesso em: 23 jul. 2023.

COLPO, I.; WEISE, A.D.; NETO, R.O. - Aplicação do Método de Custo Baseado em atividades na Cadeia Produtiva Mineral. Anais... XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Salvador, BA, 2013.

Cordier, D. J. Rare Earths Statistics and Information. USGS - Science for a Changing World (National Mineral Information Center), 2023. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/rare-earths-statistics-and-information>. Acesso em: 31/07/2023.

CSN Cimentos. Disponível em: <https://www.csn.com.br/cimento/>. Acesso em setembro de 2023.

DANA, E. S.; HURLBUT, C. S., 1960. Manual de mineralogia. 2. ed. New York: Reverté, New York, USA, 2ª Ed.

Ferrari A. 2010. From matter to material – Formation, appearance and characterization of travertine. *In*: Acocella A. & Turrini D. (eds.). Sienese Travertine. Alinea, Florence, p. 63-95.

Farias, J. O. G. 2009. Relatório Técnico 64: Perfil do Níquel. *In*: Projeto Estal: Projeto de Assistência Técnica ao Setor de Energia. J. Mendo Consultoria, Ministério de Minas e Energia (MME), Banco Mundial, 56p. Disponível em: [http://antigo.mme.gov.br/documents/36108/449811/P38\\_RT64\\_Perfil\\_do\\_Nxquel.pdf/8732432b-c520-8ac5-7dc1-1715b9a175c2?version=1.0](http://antigo.mme.gov.br/documents/36108/449811/P38_RT64_Perfil_do_Nxquel.pdf/8732432b-c520-8ac5-7dc1-1715b9a175c2?version=1.0).

Gomes, L. B.; Batista, F. L. 2019. FILTRO PRENSA AUTOMATIZADO VIA PLC: PROTÓTIPO CRIADO E APLICADO NA MINERAÇÃO SERRA GRANDE-ANGLOGOLD ASHANTI NO MUNICÍPIO DE CRIXÁS-GO. Anais do 1º Simpósio de TCC, das faculdades FINOM e Tecsona; 1249-1269.

Flanagan, D. Cooper Statistics and Information. USGS - Science for a Changing World (National Mineral Information Center), 2023. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/copper-statistics-and-information>. Acesso em: 31/07/2023.

Fuerstenau, M. C., Han, K. N., & Han, Y. (2003). Principles of mineral processing. SME.

Guimarães, C. G. G. 2019. Caracterização Tecnológica do Minério de Níquel Laterítico. Universidade Federal de Minas Gerais, Dissertação Mestrado Profissional, 73p.

Hewlett, P. C. (Ed.). (2003). *Lea's Chemistry of Cement and Concrete* (4th ed.). Elsevier Science.

Horn, D., & Jeske, P. (2007). *Industrial minerals and rocks: Commodities, markets, and*

uses (7th ed.). SME.

InterCement Brasil. Institucional. Disponível em:  
<https://brasil.intercement.com/institucional/>. Acesso em setembro de 2023.

JUNIOR M. C., MOTTA J. F. M., ALMEIDA A. S., TANNO L. C., 2005. Argilas para Cerâmica Vermelha. Rochas e minerais Industriais, CETEM.

Ribeiro, J. A. D. 2001. Cobre: Balanço Mineral Brasileiro 2001. Departamento Nacional de Produção Mineral, 52 p. Disponível em:  
<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001-cobre>. Acesso em: 07/08/2023.

La Serna, H. A.; Rezende, M. M. 2009. Agregados para a construção civil in: Economia Mineral do Brasil, DNPM (Dep. Nacional de Produção Mineral), 602-635.

Luz A.B. & Lins F.A.F. (eds.). 2008. Rochas & Minerais Industriais – Usos e Especificações. CETEM-MCT – Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro, 2ª ed., 974 p. ISBN: 9788561121372

Malhotra, V. M., & Mehta, P. K. (2006). Admixtures in concrete. CRC Press.

Martins, E.R., 2020. Arranjo produtivo local de cerâmica vermelha: ganhos competitivos. Capítulo 3, Livro ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: INDÚSTRIA 4.0 - CONCEITOS E IMPACTOS. Editora Científica Digital. DOI 10.37885/200801057.

Mineração Serra Verde já tem compradores para sua produção de concentrado de terras-raras. Conexão Mineral, 2021. Disponível em:  
<https://www.conexaomineral.com.br/noticia/2027/mineracao-serra-verde-ja-tem-compradores-para-sua-producao-de-concentrado-de-terras-raras.html>. Acesso em: 15 de Agosto, 2023.

Merrill, A. Bauxite and Alumina Statistics and Information. USGS - Science for a Changing World (National Mineral Information Center), 2023. Disponível em:  
<https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/bauxite-and-alumina-statistics-and-information>. Acesso em: 26 de abril, 2023.

McRae, M. Nickel Statistics and Information. USGS - Science for a Changing World (National Mineral Information Center), 2023. Disponível em:  
<https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/nickel-statistics-and-information>. Acesso em: 07 de agosto, 2023.

Moore, C. M.; Miranda, H. M.; Hampton, A. P.; Ritchie, D. G. 2019. Lundin Mining Corporation: Technical Report on the Chapada Mine, Goiás State, Brazil - NI 43101 Report. Rock Solid Resources, 252 p.

Oliveira, P. H.; Ribeiro, I. S.; Conceição, A. A Cadeia produtiva do alumínio no Brasil: no estado do Pará e seus desdobramentos. XI FATECLOG - OS DESAFIOS DA LOGÍSTICA REAL NO UNIVERSO VIRTUAL. Bragança Paulista, SP, 2020.

- Padilla, A. J. Niobium. In: 2018 Minerals Yearbook. Bauxite and Alumina Statistics and Information. USGS - Science for a Changing World (National Mineral Information Center), 2023. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/bauxite-and-alumina-statistics-and-information>. Acesso em: 26, abril, 2023.
- Rivetti, M.; Paixão, M. A. P.; Mandetta, P. 2008. Diagnóstico da Cadeia Produtiva de Rochas Ornamentais no Estado de Goiás. Governo do Estado de Goiás - Secretaria de Indústria e Comércio, Série Geologia e Mineração, número 5, 142p.
- Sampaio, J. A.; Andrade, M. C.; Dutra, A. J. B. 2005. Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações. CETEM/MCT, Rio de Janeiro, 876p.
- Silva, C. S. 2001. Níquel: Balanço Mineral Brasileiro 2001. Departamento Nacional de Produção Mineral, 18 p. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001-niquel>. Acesso em: 07/08/2023.
- Silva, J. M.; Ferreira Filho, C. F.; Buhn, B.; Dantas, E. L. 2011. Geology, petrology and geochemistry of the “Americano do Brasil” layered intrusion, central Brazil, and its Ni–Cu sulfide deposits. *Mineralium Deposita*, 46:57-90.
- SILVA, H. H. A. B., 2006. Caracterização mineralógica e filiação da vermiculita da mina cerrado III – Sanclerlândia – GO. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília.
- SNIC Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. Disponível em: <http://snic.org.br/>. Acesso em setembro de 2023.
- Taylor, H. F. W. (1997). *Cement Chemistry* (2nd ed.). Thomas Telford.
- Testa FG. Avanço na flotação de finos de minérios com condicionamento de alta intensidade. [Dissertação de Mestrado]. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Minas, Metalúrgica e de Materiais da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre; 2008.
- THEODORO, S.H.; LEONARDOS, O.H.; ALMEIDA, E. Mecanismos para disponibilização de nutrientes minerais a partir de processos biológicos. In: Congresso Brasileiro de Rochagem, 1., 2010, Brasília, Anais, Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2010. P. 173-181.
- U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries. 2022. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022>.
- U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries. 2023. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023>
- Van Gosen, B. S.; Verplanck, P. L.; Seal, R. R.; Long, K. R.; Gambogi, J. 2017. Rare-earth elements, USGS - Central Mineral and Environmental Resources Science Center, USGS Numbered Series: 1802. DOI:10.3133/pp1802O.

Votorantim Cimentos. Onde estamos. Disponível em: <https://www.votorantimcimentos.com.br/onde-estamos/>. Acesso em setembro de 2023.

Willian, J. Dimension Stone Statistics and Information. USGS - Science for a Changing World (National Mineral Information Center), 2023. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/dimension-stone-statistics-and-information>. Acesso em: 30 de setembro, 2023.