

KELREN RUAN ZHANG WU

DEPENDÊNCIA EXTERNA DA ECONOMIA MINERAL BRASILEIRA

São Paulo

2021

KELREN RUAN ZHANG WU

DEPENDÊNCIA EXTERNA DA ECONOMIA MINERAL BRASILEIRA

Trabalho de Formatura em Engenharia de
Minas do curso de graduação do
Departamento de Engenharia de Minas e
de Petróleo da Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo

Orientador: Manoel Rodrigues Neves

São Paulo

2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

Wu, Kelren Ruan Zhang
Dependência Externa na Economia Mineral Brasileira / K. R. Z. Wu --
São Paulo, 2021.
47 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.

1.Economia Mineral (Análise Econômica; Estudo Comparativo)
2.Comércio Exterior 3.Mercado de Capitais (Diagnóstico) I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II.t.

RESUMO

Para determinados minerais, o Brasil possui uma relação de dependência externa devido à grande importação de minerais, enquanto que as exportações são menores. Por vezes, as reservas minerais possuem alto potencial, mas não são produzidas quantidades suficientes para o abastecimento do mercado interno, enquanto que os índices de importação são elevados. O presente trabalho visou analisar os cenários aos quais estão inseridos os minerais carvão, potássio, cobre, fosfato e titânio para determinar se o comportamento brasileiro de importação dessas substâncias poderia ser alterado no futuro. Para uma análise completa, foram considerados dados estatísticos, como o potencial das reservas minerais brasileiras, produções anuais bruta e beneficiada e quantidades importadas e exportadas durante o período de dez anos, entre 2011 e 2020. Além disso, quando aplicável, também foram considerados fatores como qualidade do bem mineral, a logística interna e os custos operacionais. Ao final do estudo, concluiu-se que o carvão mineral, cobre e o titânio não evidenciam uma possibilidade futura de redução das importações e que o fosfato e potássio demonstram uma perspectiva otimista com a possibilidade de diminuição do índice de importações e, consequentemente, da dependência externa brasileira para esses minerais.

Palavras-chave: Minerais, Comércio Exterior, Dependência, Atividade Mineral

ABSTRACT

For certain minerals, Brazil has a relationship of external dependence due to the large import of minerals while exports are smaller. Sometimes, mineral reserves have great potential, but not enough quantities are produced to supply the domestic market, while import rates are high. The present work aimed to analyze the scenarios in which the minerals coal, potassium, copper, phosphate and titanium are inserted to determine if the Brazilian import behavior of these substances could be changed in the future. In order to have a full analysis, statistical data such as the potential of Brazilian mineral reserves, gross and processed annual production and imported and exported quantities during a ten-year period, between 2011 and 2020, were considered. In addition, when applicable, factors such as the mineral's quality, internal logistics and operating costs were also considered. At the end of the study, it was concluded that, while coal, copper and titanium don't reveal a future possibility of reducing imports, phosphate and potash show an optimistic perspective with the possibility of a reduction in the rate of imports and, consequently, of the Brazilian external dependence for these minerals.

Key-words: Minerals, Foreign Trade, Dependence, Mineral Activity

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Principais Minerais Importados em 2020	11
Figura 2 - Principais Minerais Exportados em 2020	12
Figura 3 – Classificação dos Carvões – “rank”	14
Figura 4 - Consumo Setorial do Carvão Mineral Nacional	15

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Série Histórica de Importação e Exportação do Carvão Mineral	25
Tabela 2 - Dados Anuais de Reserva Mineral e Produção do Carvão Mineral	26
Tabela 3 - Comparação entre Carvão Energético e Metalúrgico.....	27
Tabela 4 - Série Histórica de Importação e Exportação do Potássio.....	28
Tabela 5 - Dados Anuais de Reserva Mineral e Produção do Potássio	29
Tabela 6 – Série Histórica de Importação e Exportação do Cobre.....	30
Tabela 7 - Dados Anuais de Reserva Mineral e Produção do Cobre	31
Tabela 8 - Dados de Importação e Exportação dos Bens Primários de Cobre	32
Tabela 9 – Série Histórica de Importação e Exportação do Fosfato	33
Tabela 10 - Dados Anuais de Reserva Mineral e Produção do Fosfato	34
Tabela 11 – Série Histórica de Importação e Exportação do Titânio	36
Tabela 12 - Dados Anuais de Reserva Mineral e Produção do Titânio.....	37
Tabela 13 - Nomenclatura Comum do Mercosul para Importações de Bens Primários	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANM	Agência Nacional de Mineração
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
NCM	Nomenclatura Comum do Mercosul
OMA	Organização Mundial das Alfândegas
SH	Sistema Harmonizado de Designação e de Codificação de Mercadorias
Unicamp	Universidade Estadual de Campinas
USGS	<i>U.S. Geological Survey</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

K	Potássio
K ₂ O	Óxido de Potássio
KCl	Cloreto de Potássio
K ₂ SO ₄	Sulfato de Potássio
(PO ₄) ³⁻	Íon Ortofosfato
P	Fósforo
P ₂ O ₅	Pentóxido de Fósforo
Ti	Titânio
H	Hidrogênio
C	Carbono
N	Nitrogênio
O	Oxigênio
TiO ₂	Dióxido de Titânio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Motivação	10
1.2 Objetivo	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Carvão Mineral.....	13
2.2 Potássio	16
2.3 Cobre	17
2.4 Fosfato	19
2.5 Titânio.....	21
3 METODOLOGIA.....	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1 Carvão Mineral.....	25
4.2 Potássio	27
4.3 Cobre	30
4.4 Fosfato	33
4.5 Titânio.....	36
5 CONCLUSÕES	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
ANEXO A – NOMENCLATURA COMUM DO MERCOSUL.....	47

1 INTRODUÇÃO

A indústria da mineração pode ser considerada como um dos primeiros esforços da civilização. Para Hartman e Mutmanský (2002), em conjunto com a agricultura, ambas as indústrias foram primordiais no início da história da civilização humana e, até os dias atuais, sua importância continua a mesma.

Assim, a mineração possui uma presença consolidada na sociedade. Os bens minerais explorados pela indústria fazem parte da composição de uma quantidade considerável de objetivos utilizados pela população. Os dispositivos eletrônicos mais utilizados, como celulares e computadores, possuem componentes advindos da mineração. Além disso, é uma atividade essencial para o funcionamento da economia de um país, principalmente o Brasil.

A produção nacional de minerais, importação e exportação movimentam a economia brasileira, de modo que, em meio aos impactos causados pela pandemia do Coronavírus, o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) registrou um aumento da influência da mineração na balança comercial. “O saldo do setor foi de US\$ 32,5 bilhões, o equivalente a 63,8% do saldo da balança comercial brasileira. Em 2019, essa equivalência foi de 51,6%” (INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 2020).

O Instituto Brasileiro de Mineração (2020, p.1) descreve “Em 2020, o setor mineral foi decisivo para manter positivo o saldo da balança comercial brasileira”. Esse saldo positivo corresponde a um valor de exportação maior que o de importação, seja dos bens minerais ou outros produtos comercializados pelo Brasil. Logo é notável a importância da economia mineral no panorama da economia brasileira.

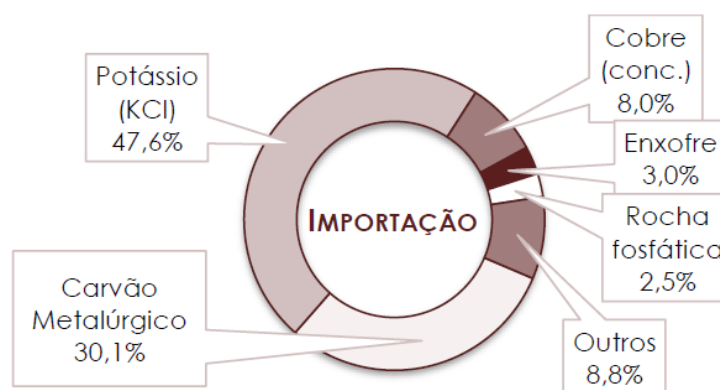
1.1 Motivação

Apesar de a mineração, por vezes, apresentar um índice de exportação maior que o de importação, essa conclusão não pode ser generalizada para cada bem mineral. Enquanto alguns minerais são exportados em grandes volumes, outros minerais são importados, seja pela qualidade do minério que melhor atende o mercado nacional, os custos operacionais ou a complexidade da logística de algumas regiões do país. Ocorre, ainda, que bens minerais que são importados, por necessidade do mercado nacional, também sejam exportados em larga

escala ou que bens fortemente exportados pelo país também sejam importados em grandes quantidades. Em casos como esses, além da produção nacional, outros fatores devem ser levados em consideração para a análise do perfil do minério no país, visto que, pelo ponto de vista de produção, não haveria necessidade de importação de um mineral que é produzido e exportado em grande quantidade.

Segundo o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (2020), por meio de dados de comércio externo do Comex Stat¹, considerando os seus bens primários, o carvão mineral é uma das substâncias que apresenta uma porcentagem de importação maior que a de exportação, com um valor aproximado de 18 milhões de toneladas importadas em 2020, enquanto que foram exportadas, em média, 15 mil toneladas. A Figura 1 mostra como, em 2020, o carvão metalúrgico foi o segundo bem mineral mais importado.

Figura 1 - Principais Minerais Importados em 2020

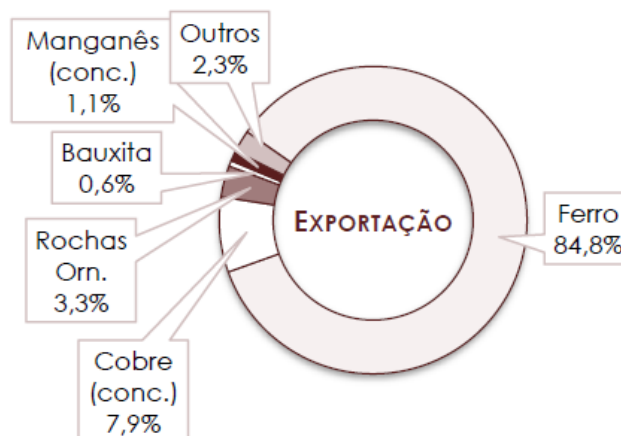


Fonte: COMEX-STAT (2020, apud Boletim do Setor Mineral, 4º Trimestre de 2020, p. 10)

A grande quantidade de volume de bens minerais importados, ainda que haja uma exportação considerável, como ocorre com o carvão mineral, é uma evidência de que o Brasil é dependente de outros países para importação de produtos. Outro exemplo é o cobre, que nas Figuras 1 e 2, de importação e exportação, respectivamente, os índices são parecidos em relação ao total observado no ano. No entanto, importação nem sempre é consequência de uma insuficiência de abastecimento do mercado nacional. Outros fatores, como a qualidade da substância, impactam na demanda do mercado consumidor por produtos com propriedades que atendam às suas necessidades.

¹ Comex Stat é um sistema do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços para consultas e extração de dados do comércio exterior brasileiro.

Figura 2 - Principais Minerais Exportados em 2020



Fonte: COMEX-STAT (2020, apud Boletim do Setor Mineral, 4º Trimestre de 2020, p. 10)

Essa dependência brasileira é um indício de que a sua economia mineral está fortemente ligada com a de outros países e, portanto, está distante de ser autossuficiente, seja pela qualidade ou quantidade dos recursos disponíveis. De modo a compreender se o Brasil tem a possibilidade de se tornar menos dependente, deve-se possuir um melhor entendimento do cenário mineral brasileiro.

1.2 Objetivo

O comércio exterior de mineração do Brasil possui vínculo forte com países em situações em que possa haver possibilidade futura de uma menor dependência, principalmente em relação à importação. Dessa forma, objetiva-se realizar uma análise das importações e exportações brasileiras de alguns bens minerais e de suas reservas. A partir dessa análise, pretende-se avaliar, para os minerais selecionados, se o Brasil possui capacidade de diminuir a dependência externa ao alterar seu foco para os seus recursos nacionais.

As substâncias de interesse incluem os principais bens minerais importados, substâncias que possuem certa relevância em alguns setores industriais e minerais em destaque no momento, como carvão mineral, potássio, cobre, fosfato e titânio.

Para o carvão mineral, foi considerado como critério a qualidade do minério; para o potássio e o titânio, a quantidade de reservas nacionais; e para o fosfato e o cobre, a qualidade do minério, a logística e os custos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica apresenta conceitos e explicações dentro das áreas de mineração e economia para que se possa obter o melhor entendimento deste trabalho.

2.1 Carvão Mineral

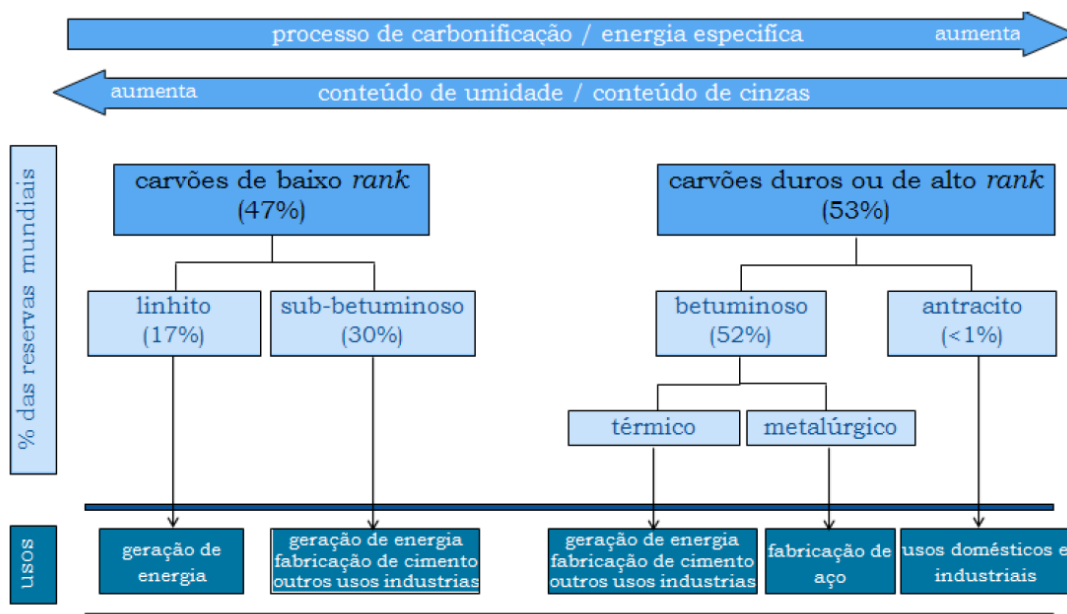
O carvão mineral é um combustível fóssil originado a partir da deposição de matéria vegetal em terrenos sedimentares. Devido aos movimentos tectônicos, essa matéria é submetida ao soterramento e, sob a influência de pressão e temperatura, “os restos vegetais ao longo do tempo geológico se solidificam, perdem oxigênio e hidrogênio e se enriquecem em carbono, em um processo denominado carbonificação” (BORBA, 2001, p. 6.1).

É o estágio de carbonificação, ou seja, o teor de carbono no carvão que determina o *rank*, que é o seu nível de maturidade geológica. Quanto maior o teor de carbono, maior é o seu *rank* e, portanto, a sua qualidade. As etapas de carbonificação, do menor para o maior grau, são turfa, linhito, carvão sub-betuminoso, carvão betuminoso e antracito.

Além do teor de carbono, Borba (2001) ainda descreve o *grade* como outro índice qualitativo do carvão. Esse índice mede de forma inversamente proporcional o percentual em massa de cinzas, que é uma matéria mineral incombustível, presente na camada carbonífera. Assim, quanto maior o percentual de cinzas no carvão, menor é seu *grade* e a sua qualidade.

Como há uma distinção de qualidade, para cada tipo de carvão, existem diferentes tipos de usos. Na Figura 3, estão representados os tipos de carvões com suas respectivas aplicações e a porcentagem que representam nas reservas mundiais de carvão mineral, assim como a relação entre a sua qualidade e o teor de cinzas.

Figura 3 – Classificação dos Carvões – “rank”



Fonte: Chaves (2021)

Antigamente, a turfa, que é classificada como de baixo *rank*, era utilizada como combustível em termoeletricas e para geração de energia elétrica. Segundo Andriesse (1988), com o aumento do uso de gás natural e óleo combustível, da demanda de energia elétrica e das preocupações com os impactos ambientais, o uso da turfa para essas finalidades diminuiu, sendo seu uso como combustível ainda encontrado em alguns países para aquecimento de residências. Ao invés desse tipo de uso, ela pode ser utilizada na reconstituição de solos e recebe o nome de turfa agrícola.

Segundo Borba (2001) e Cano (2009), o linhito apresenta o grau mínimo de carbonificação para a utilização industrial do carvão, sendo sua principal utilização para a geração de energia elétrica, por sofrer rápido desgaste, apresentar baixo poder calorífico e poder abrasar espontaneamente.

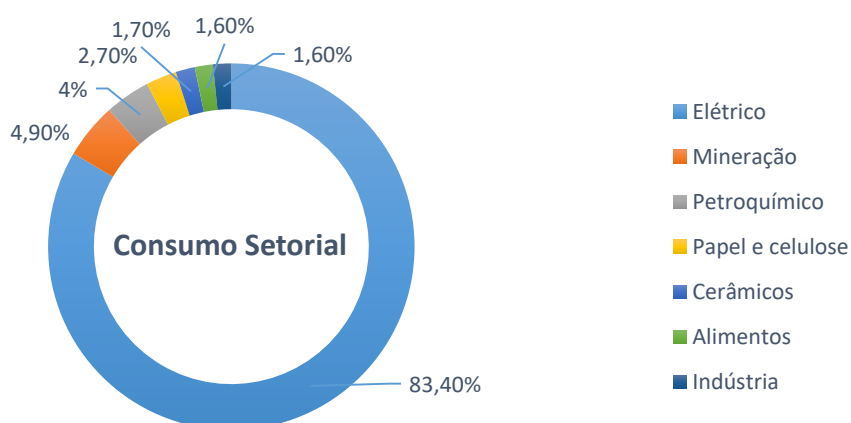
O carvão sub-betuminoso, de baixo *rank*, é utilizado na produção de cimento, na geração de calor para usos industriais e de energia elétrica. O carvão betuminoso, de alto *rank*, para uso térmico é denominado de carvão energético e possui as mesmas utilizações que o sub-betuminoso. Em contrapartida, o carvão betuminoso denominado de carvão metalúrgico, ou coqueificável, é “o mais comum, porque é o principal combustível utilizado em um alto forno” (CANO, 2009, p. 52), sendo utilizado para a fabricação de aço.

De acordo com Branco (2014), o antracito, que apresenta alto *rank*, é indicado como combustível para uso doméstico, por apresentar combustão lenta e queimar facilmente.

No Brasil, Cano (2009) e Branco (2014) relatam a predominância do carvão de baixo *rank*, com reservas de turfa, linhito e hulha, que também pode ser denominada de carvão sub-betuminoso e betuminoso. No entanto, os usos mais comuns do carvão no país requerem uma maior qualidade do bem mineral, visto que é utilizado, principalmente, para geração de energia e fabricação de aço na siderurgia. Logo, o alto teor de cinzas do carvão brasileiro dificulta a utilização da substância nas duas situações.

Segundo dados do Sumário Mineral (2017) apresentados na Figura 4, o setor que mais consumiu o carvão nacional em 2016 foi o elétrico, com 83,4% de participação.

Figura 4 - Consumo Setorial do Carvão Mineral Nacional



Fonte: Sumário Mineral (2017)

Em contrapartida, entre os minerais, Boletim do Setor Mineral (2020) classifica o carvão metalúrgico como o segundo produto mais importado, representando 30,1% das importações de bens minerais, como mostrado na Figura 1. A discrepância dos dados estatísticos de consumo revela a importância da qualidade do carvão para o seu uso e a sua relação com a produção nacional e as importações e exportações.

“O petróleo e o gás natural, por serem combustíveis fósseis, são o seu substituto mais próximo, mas ele pode ser substituído pelas mais diferenciadas fontes energéticas, como aquelas produzidas pelas hidroelétricas, pelo vento, pelo sol, bicomcombustíveis, etc.” (CANO, 2009, p.

52). Nos pequenos altos fornos, Moraes (2008) afirma que o carvão vegetal é utilizado como substituto do coque. No entanto, segundo Raposo (2015), para os grandes altos fornos, não há um substituto para o carvão metalúrgico, que é o principal componente do coque siderúrgico, um material essencial e insubstituível no alto forno. De acordo com Silva et al. (2016), se realizado em pequena quantidade, o carvão metalúrgico pode ser substituído pelo carvão vegetal sem que haja perda das características do coque nos grandes altos fornos.

2.2 Potássio

O potássio é um termo genérico utilizado para denotar um conjunto de diferentes minerais potássicos. Segundo Jasinski (2017a), o potássio denota uma variedade de sais extraídos e manufaturados, que contêm o elemento potássio (K) em forma solúvel em água.

Por ser um dos elementos mais comuns que ocorrem na crosta terrestre, ele é encontrado em diversos locais. “No decorrer do tempo geológico o intemperismo provoca a sua alteração química, gerando compostos de potássio solúveis que são transportados pelos rios para o mar e/ ou depositados em bacias fechadas ou interiores” (LOUREIRO; MONTE; NASCIMENTO, 2008, p. 175).

Apesar dessa aparente abundância, o cenário geológico brasileiro não é propício para as ocorrências de depósitos de sais de potássio. O país possui reservas lavráveis concentradas em dois estados, em Sergipe, nas regiões de Taquari/Vassouras e Santa Rosa de Lima, e no Amazonas (SUMÁRIO MINERAL, 2017). A ausência de mais reservas é um fator que provoca deficiência na oferta de potássio nacional para o mercado interno e impacta nos índices de importação e exportação. A análise feita por Kulaif e Goés (2016) indicou que o país produz menos de 10% da demanda de potássio do mercado interno de fertilizantes, enfatizando assim a necessidade de mais reservas.

Apesar de sua abundância e abrangência de diferentes substâncias, nem todos os sais são fontes de potássio. Os silicatos ricos em potássio são abundantes na crosta terrestre, entretanto possuem teor baixo de óxido de potássio (K_2O) e, de acordo com Oliveira (2009, p. 569), “não constituem importantes fontes de potássio, pois não são solúveis em água e suas estruturas não são rompidas com facilidade por meios artificiais”. Desse modo, os sais utilizados como fonte

são aqueles mais solúveis em água e que podem ser explorados e processados com facilidade, ou seja, cloretos e sulfatos de potássio.

Ainda, segundo o autor citado, o cloreto de potássio (KCl) representa cerca de 90% da produção mundial de potássio, enquanto que o sulfato de potássio (K_2SO_4) representa menos de 5% do total. Essa produção de potássio é, então, utilizada principalmente como fertilizante na agricultura e, em menor escala, para aplicações industriais, como manufatura de vidros especiais, sabões e detergentes.

Uma alternativa à utilização de sais para produção de potássio como fertilizante é a rochagem. Nesse processo, aplica-se diretamente no solo o pó de rocha, que é uma mistura de rochas ricas em macro e micronutrientes, como o potássio, de diferentes granulometrias. Esse agromineral é um insumo agrícola alternativo, principalmente para pequenos agricultores, e, assim como os fertilizantes convencionais, fornece nutrientes ao solo e às plantas (ECYCLE, [201-?]; SOUZA, 2018; VELOSO, 2020).

“Não existem substitutos para o potássio como um nutriente essencial para as plantas, animais e humanos. Estrume e glauconita (areia verde) são materiais com baixo teor de potássio que podem ser transportados lucrativamente apenas em curtas distâncias até os campos de cultivo” (MINERAL COMMODITY SUMMARIES, 2021, p. 127, tradução nossa).

2.3 Cobre

O cobre é um metal raramente encontrado na crosta terrestre. Ele normalmente está associado a outros elementos químicos para formar minerais e, em sua forma pura, denominado de cobre puro, o cobre raramente é encontrado na natureza.

De acordo com Ribeiro (2001), quando está associado a outros elementos, os minerais são divididos em dois grupos. O grupo de minerais primários ou sulfetados ocorrem em zonas mais profundas da crosta terrestre e possuem teor alto de cobre, enquanto que os secundários ou oxidados se originam mais próximos à superfície e possuem menor teor de cobre. Portanto, por ser encontrado em diferentes formas, a localização e os tipos de depósitos variam, entretanto, as jazidas de cobre são geralmente de grandes dimensões e de baixos teores.

No Brasil, as reservas de cobre estão distribuídas em todo o território brasileiro, com destaque para os estados de Goiás, Bahia e, principalmente, Pará, que representou 85% do total (SUMÁRIO MINERAL, 2017). Apesar de estar distribuído pelo país, a grande concentração do minério está em apenas um estado, o que provoca um problema de logística e dos custos envolvidos para a sua distribuição para outras regiões. Além disso, há o problema da qualidade, com o teor do cobre brasileiro sendo, em média, entre 0 a 3%, com perspectiva de redução dos teores das minas nos próximos anos (ROCIO et al., 2012; RODRIGUES; HEIDER; FONSECA, 2009). Ao analisar o cenário brasileiro, Juliani, Monteiro e Fernandes (2016) destacaram o baixo teor do minério e os custos operacionais elevados, em comparação aos outros países, como fatores essenciais que impedem a autossuficiência do cobre.

Para o ano de 2013, com as reservas lavráveis existentes e a aprovação de novas reservas, havia uma previsão de autossuficiência brasileira em relação ao cobre (RODRIGUES; HEIDER; FONSECA, 2009). De acordo com os dados estatísticos do Sumário Mineral (2017), esse cenário não se concretizou.

Em relação a sua obtenção, além de ser extraído, o minério pode ser obtido por meio de sua reciclagem. Segundo Doebrich (2009, p. 3, tradução nossa), “um terço de todo o cobre consumido no mundo é reciclado. Esse cobre e suas ligas podem ser fundidos novamente e usados diretamente ou posteriormente reprocessado para cobre refinado sem perder qualquer uma das propriedades químicas ou físicas”.

O cobre apresenta boa ductilidade, maleabilidade, resistência à corrosão, alta condutividade térmica e elétrica e “possui propriedade não magnética e é de fácil formação de ligas com outros metais” (RIBEIRO, 2001, p. 166). “Os atributos de excelência em condutividade térmica e elétrica apresentam-se como fatores determinantes para o cobre alcançar o *status* de metal imprescindível para o desenvolvimento industrial” (RODRIGUES; HEIDER; FONSECA, 2009, p. 216). Segundo Flanagan [202-?], devido as suas qualidades, o metal ocupa o terceiro lugar em quantidade consumida depois do ferro e do alumínio.

Seus usos variam entre diversas aplicações, como em materiais domésticos, industriais e em aplicações de alta tecnologia. Na indústria elétrica e eletrônica, é usado em transmissão de energia e na fabricação de equipamentos elétricos e eletrônicos. Na construção civil, é encontrado em instalações e metais sanitários, fechaduras e corrimões. Também é utilizado

para cunhagem de moedas, fabricações de armas e munições, joalheria e em diversas indústrias, como a alimentícia, farmacêutica e de bebidas.

Em alguns casos, o cobre pode ser substituído por outros materiais. O *Mineral Commodity Summaries* (2021, p. 53) lista cinco materiais que podem substituí-lo em diferentes aplicações. O alumínio é um substituto em radiadores automotivos, tubos de resfriamento e refrigeração, em equipamentos elétricos e em cabos de alimentação. Em trocadores de calor, podem ser usados titânio e aço. Em aplicações de telecomunicações, pode ser utilizada a fibra óptica. E em canos de drenagem, acessórios de encanamento e canos de água, o cobre pode ser substituído por plástico.

2.4 Fosfato

Souza e Fonseca (2009) descrevem fosfato como sendo um termo para sais que possuem o íon ortofosfato, $(\text{PO}_4)^{3-}$, em sua composição. Ele é uma substância abundante que não se encontra livre na natureza por ocorrer sob a forma do íon $(\text{PO}_4)^{3-}$, e é encontrado em rochas fosfáticas, que estão contidas em depósitos de origens sedimentares, ígneos e biogénéticos.

Os autores ainda descrevem os depósitos sedimentares e ígneos em que a rocha está contida como sendo os mais importantes economicamente, enquanto que os depósitos biogénéticos possuem menor importância econômica, visto que são concentrações orgânicas nitrogenadas, originadas dos dejetos de aves.

De acordo com Jasinski (2017b), a rocha fosfática é a única fonte significativa do fósforo (P). Loureiro, Monte e Nascimento (2008, p. 142) caracterizam o fósforo como sendo “um dos três macronutrientes principais, juntamente com o nitrogênio e o potássio, é elemento fundamental no processo de conversão da energia solar em alimento, fibra e óleo pelas plantas”.

Para a obtenção do fósforo, a rocha fosfática pode ser utilizada diretamente ou após a etapa de beneficiamento, quando passa a ser denominado de concentrado fosfático. No entanto, Jasinski et al. (1999, p. 2, tradução nossa) observa que “quando a rocha não é tratada, ela não é muito solúvel e fornece pequena quantidade de fósforo para as plantas, com exceção de solos ácidos e úmidos”.

Apesar de existirem minerais que possuem fósforo na sua composição, com teores de fósforo maiores e menores, Souza e Fonseca (2009) afirmam que são considerados como minerais de minério apenas os do grupo da apatita, que apresentam teores que variam entre 5 a 15% de P_2O_5 e geralmente são encontrados nas rochas carbonatíticas. Os autores descrevem os depósitos de apatita como tendo uma mineralogia complexa e que possui impurezas de tal forma que prejudicam a recuperação do fósforo no processo de beneficiamento e, consequentemente, aumentam os custos de produção.

No Brasil, de acordo com os autores citados, as reservas se concentram nos estados de Minas Gerais, Goiás e São Paulo que contabilizam quase 90% de toda a reserva do país. A concentração das reservas no Centro-Oeste e Sudeste do país gera uma complexidade em relação à logística para transporte do minério para outras regiões e aos custos envolvidos nessa operação, o que impacta o comportamento do país no comércio externo.

Ainda, outro fator que impacta o comportamento é a qualidade do minério, visto que das reservas nacionais, cerca de 80% das jazidas fosfáticas existentes são de origem ígnea e possuem baixo teor de P_2O_5 , que Loureiro, Monte e Nascimento (2008) explicam como sendo uma característica presente nos depósitos de rochas fosfáticas localizados nos trópicos e subtropicais e que não são adequadas para fabricação de fertilizantes solúveis em água, por não possuírem qualidade necessária utilizando o processamento convencional, que é constituído por britagem, estocagem e homogeneização, moagem primária e separação de baixo campo, moagem secundária e classificação, deslamagem, e concentração por flotação e espessamento.

“Há um consenso geral a nível mundial, que a qualidade e a acessibilidade irão diminuir cada vez mais em relação às reservas existentes e, consequentemente, os custos para lavra e produção irão aumentar cada vez mais” (ABRAM, 2016, p. 107). A autora citada menciona esses dois fatores como empecilhos à diminuição da dependência externa, além de uma necessidade de aumento da produção nacional.

Uma alternativa a esse cenário seria a utilização do fosfato, assim como ocorre com o potássio, na técnica de rochagem. Nesse processo, é apenas necessário a moagem das rochas para a produção do pó de rocha que é usado como fertilizante (SOUZA, 2018).

“O fósforo apresenta um leque variado de aplicações, mas é na agricultura, sob as formas de fertilizantes (adubos), que ele desempenha a sua principal utilização” (SOUZA; FONSECA,

2009, p. 546). Além disso, os autores ressaltam que pela funcionalidade do fósforo na vida animal e vegetal, ainda não existe um produto que o substitua. De acordo com o *U.S. Geological Survey* [201-?], aproximadamente 90% da rocha fosfática extraída é utilizada para fertilizantes e suplementos para ração animal, enquanto que o restante é utilizado para produtos químicos industriais.

2.5 Titânio

“O titânio (Ti) é o nono elemento mais abundante da terra. É um elemento litófilo e tem uma forte afinidade por oxigênio, fazendo com que a maior parte do titânio na litosfera esteja na forma de óxido” (MAIA, 2001, p. 28.1). Pela sua abundância, ele pode ser encontrado em quase todas as rochas, ou seja, rochas ígneas, sedimentares e metamórficas, e sedimentos, entretanto, não é encontrado na natureza como metal puro (BEDINGER, 2017).

Ele é um metal que possui alta densidade, alto ponto de fusão, grande resistência à corrosão e mecânica, grande capacidade de dispersão, tenacidade, estabilidade térmica e elevada brancura (BALTAR et al., 2008). Devido a essas características, Neto e Almeida (2009, p. 516) descrevem o elemento como sendo “um metal de brilho prateado, mais leve do que o ferro, quase tão forte quanto o aço, e quase tão resistente à corrosão como a platina”.

Apesar das qualidades que o titânio possui em comparação com outros bens minerais, Baltar et al. (2008, p. 842) explicam que a sua tenacidade é afetada devido à “ocorrência de impurezas não-metálicas, como H, C, N ou O, o tornam quebradiço, mesmo quando as contaminações ocorrem em pequenas quantidades”.

As principais fontes naturais de titânio economicamente importantes são a ilmenita, rutilo, leucoxênio e anatásio. O titânio também pode ser obtido a partir de materiais sintéticos de importância econômica que o possuem em sua composição, como o rutilo sintético e a escória de titânio (BALTAR et al., 2008; WOODRUFF; BEDINGER; PIATAK, 2017).

De acordo com Bedinger (2017, p. 79.1, tradução nossa), “ilmenita e rutilo são os dois principais minerais de titânio. Ilmenita é o mineral de titânio mais abundante com teor de TiO_2 contido variando de 35% a 65%. E o rutilo tem um maior teor, mas é menos abundante”.

No Brasil, há uma presença maior de jazidas de ilmenita, com aproximadamente 98% da ilmenita produzida para o mercado nacional sendo proveniente apenas da mina de Guajú, em Mataraca, que é administrada pela Tronox, que também realiza o beneficiamento, o qual é realizado por apenas mais uma outra empresa, a Indústrias Nucleares do Brasil S/A (NETA et al., 2018; SUMÁRIO MINERAL, 2017). Além de Mataraca, o Sumário Mineral (2017) cita apenas o município de São Francisco de Itabapoana, no Rio de Janeiro, como produtor de titânio, o que revela um país com poucas reservas e impossibilidade de abastecer o mercado nacional sem o minério importado.

Apesar da menor presença de reservas de rutilo, foram descobertas de ocorrências de anatásio que tornaram o mineral mais conhecido, visto que antes era explorado no cenário acadêmico (NETO; ALMEIDA, 2009).

Woodruff, Bedinger e Piatak (2017, p. T6, tradução nossa) afirmam que “o potencial econômico e mineral dos depósitos possui maior relação com a mineralogia do que com o teor de titânio contido”. Características como a assembleia mineral, granulometria, morfologia, textura e o tipo e a quantidade de elementos traços contribuem no potencial econômico.

Tolcin e Gambogi [202-?] descrevem a principal aplicação do titânio, com consumo de aproximadamente 95%, como sendo na forma de TiO_2 como pigmento branco utilizado em tintas, papéis e plásticos. No entanto, também é utilizado, em menor escala, como metal, visto que possui resistência à corrosão e alta relação de resistência-peso.

Como metal que requer resistência à corrosão, o titânio pode ser substituído por alumínio, níquel, aços especiais e ligas de zircônio. Como pigmento branco, podem ser utilizados o carbonato de cálcio moído ou precipitado, caulim e talco como substitutos ao dióxido de titânio (*MINERAL COMMODITY SUMMARIES*, 2021).

3 METODOLOGIA

De modo a avaliar a dependência brasileira em relação à importação de bens minerais e obter uma visão geral do cenário do país, foi realizada uma análise das importações, das reservas minerais e produções anuais para os bens minerais em estudo, ou seja, carvão mineral, potássio, cobre, fosfato e titânio. Foi, ainda, feita uma análise mais específica para alguns minerais que dependem de outros fatores, como qualidade, logística e custos. Assim, para o carvão, foi realizada uma análise da qualidade do mineral nacional e como atende o mercado interno e, para o cobre e o fosfato, foram feitas análises da qualidade, da logística e dos custos que estão envolvidos nela. Em relação ao potássio e ao titânio, como são condicionados pelas suas reservas, outros fatores não foram levados em consideração.

Desse modo, inicialmente, foi realizada uma busca por dados estatísticos do comércio exterior brasileiro, principalmente, os de importação. Para uma melhor avaliação do cenário brasileiro e controle do fluxo de entrada e saída dos produtos, os dados coletados foram de bens primários, que são bens que não sofreram alterações. Assim, materiais manufaturados e semimanufaturados, que também são comercializados no mercado externo, não foram considerados.

Para a identificação de todos os bens primários, foi utilizada a Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM), obtida por meio do Sumário Mineral publicado anualmente pela Agência Nacional de Mineração (ANM). Com os códigos NCM de cada substância, apresentados no Anexo A, utilizou-se o Comex Stat para uma consulta da quantidade e do valor total importado e exportado nos últimos 10 anos, de 2011 a 2020.

A partir da série histórica, foram comparados, para cada substância mineral, o histórico de importações e exportações com as reservas minerais brasileiras existentes e as produções anuais, levando em consideração, se cabível, o potencial das reservas e a qualidade dos minerais, assim como fatores como logística e custos operacionais.

Com essa comparação, foi possível avaliar o cenário brasileiro e verificar se o país realmente possui a necessidade de importar os bens minerais. Os cenários possíveis previstos foram o país possuir a necessidade de importação, mas com possibilidade de reduzir a quantidade; não haver possibilidade de suprimir a entrada de bens primários no país; e o Brasil possui capacidade de

se tornar autossuficiente para certa substância, de modo que consiga dispensar o consumo de produtos do mercado externo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta análises dos cenários em que cada bem mineral está inserido no Brasil, considerando fatores como comércio exterior, potencial e consumo nacional. Devido à ausência de novas edições do Sumário Mineral pela ANM desde 2017, os dados de reserva mineral, quando possível, foram complementados com valores do *Mineral Commodity Summaries* do *U.S. Geological Survey* (USGS).

4.1 Carvão Mineral

O carvão mineral é um dos principais produtos importados pelo Brasil, com o carvão metalúrgico sendo o segundo bem mineral mais importado. Em contrapartida, o carvão é exportado em baixas quantidades. Como é possível observar na Tabela 1, apesar de haver algumas oscilações de valores a cada ano, há uma alta discrepância entre os valores de tonelage de importação e exportação. Enquanto que os valores de importação estão na faixa de 20 milhões de toneladas, as exportações, nos últimos 10 anos, não passaram das 40 mil toneladas, apresentando, em geral, valores mais de 100 vezes menores. Isso revela que o Brasil é um forte dependente do carvão mineral de outros países e que possui presença irrelevante como exportador desse bem mineral.

Tabela 1 - Série Histórica de Importação e Exportação do Carvão Mineral

Ano	Importação (t)	Exportação (t)
2011	22.185.229	71.773
2012	18.424.376	279
2013	20.315.102	361
2014	23.579.745	3.657
2015	25.283.821	2.049
2016	23.190.045	35.537
2017	24.384.101	185
2018	23.714.029	1.765
2019	21.110.950	2.106
2020	17.859.400	15.545

Fonte: Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (2011-2020)

Somente com a posse dos dados de comércio exterior, poder-se-ia supor que o Brasil possui poucas reservas de carvão mineral e/ou a demanda interna é extremamente alta, ou seja, pouca oferta e muita demanda. No entanto, fatores como características do mineral e seus tipos de uso também devem ser considerados para uma melhor análise do cenário.

Com a Tabela 2, é possível observar que as reservas brasileiras apresentaram valores quase 100 vezes maiores que os de importação, com uma média de entre 2 a 4 bilhões de toneladas, classificando o carvão como sendo o terceiro bem mineral com as maiores reservas minerais do país. Apesar do aparente potencial dessas reservas, as produções brutas representam menos de 1% desses números e a produção beneficiada, números ainda menores.

Tabela 2 - Dados Anuais de Reserva Mineral e Produção do Carvão Mineral

Ano	Reserva Mineral (t)	Produção Bruta (t)	Produção Beneficiada (t)
2011	2.167.000.000	12.735.092	5.998.775
2012	2.154.000.000	12.723.922	6.650.347
2013	3.232.000.000	14.508.274	7.581.841
2014	2.771.000.000	14.201.195	7.723.300
2015	3.535.000.000	12.960.407	6.899.484
2016	3.799.000.000	11.147.082	6.009.815
2017	...	10.221.010	4.629.432
2018	...	10.265.902	4.792.255
2019	...	10.655.779	5.588.519
2020	...	10.432.850	5.895.338

Fonte: Sumário Mineral (2012-2017); Agência Nacional de Mineração (2011-2020a, 2011-2020b)

Nota: (...) indica dado não disponível.

Esse comportamento do Brasil de importar grandes quantidades e produzir pouco, mesmo com reservas minerais grandes, é explicado pelas características do carvão mineral. Em geral, os carvões brasileiros são de baixa qualidade, com reservas de turfa, linhito e hulha, possuindo reservas de carvão de boa qualidade em profundidades inviáveis no momento.

Devido ao baixo *rank*, as reservas não são aproveitadas em sua máxima capacidade, visto que não é possível a utilização do carvão nacional na siderurgia, o que implica em uma necessidade de importação de carvões de qualidades melhores para suprir essa indústria e, consequentemente, uma dependência externa difícil de ser reduzida.

Em relação ao carvão energético, segundo Ritchie e Roser (2020), o Brasil tem apresentado uma queda do uso de combustíveis fósseis para geração de energia de quase 10% desde 2015, com uma participação, em 2020, de 13,6% de toda energia elétrica produzida. Esse valor é muito menor comparado com energia advinda de fontes renováveis que teve uma participação de 84,23%. Esses dados revelam que, pelo ponto de vista de produção de energia, o Brasil possui uma maior independência do carvão mineral. Além disso, o carvão usado para essa finalidade pode ser de baixa ou alta qualidade, como mostrado pela Figura 3, o que diminui a necessidade de importação, visto que o país possui o carvão de baixo *rank*.

Esse cenário é melhor compreendido ao observar os dados estatísticos. A Figura 4 revela que, em 2016, o carvão produzido no país foi majoritariamente direcionado ao setor elétrico, com, aproximadamente, 80% de participação. Nela, ainda, não há indicação clara de que a siderurgia recebe o carvão nacional, ou seja, pode ter participação muito pequena ou estar incluída junto ao setor industrial. Pela Tabela 3, é possível observar que a produção de carvão energético é muito maior que a do carvão metalúrgico, sendo, no mínimo, 50 vezes maior, enquanto que ao observar o consumo aparente, o carvão metalúrgico apresenta valores quase 4 vezes maiores que o carvão energético. Isso ocorre pela grande necessidade de importação de carvão metalúrgico para suprir a demanda que a produção nacional não consegue atender.

Tabela 3 - Comparação entre Carvão Energético e Metalúrgico

Ano	Produção Beneficiada (t)		Consumo Aparente (t)	
	Carvão Energético	Carvão Metalúrgico	Carvão Energético	Carvão Metalúrgico
2014	7.591.350	131.949	7.587.693	23.711.695
2015	6.748.571	150.913	6.746.522	25.434.734
2016	6.009.815	10.171	5.974.278	23.242.990

Fonte: Sumário Mineral (2017)

4.2 Potássio

No cenário do comércio exterior, o potássio possui um perfil similar ao carvão mineral. Assim como o carvão metalúrgico, o potássio ainda não apresenta um substituto e é um produto importado em larga escala. Como mostrado na Figura 2, o KCl, que, segundo Oliveira (2009), representa 90% da produção mundial de potássio, foi o mineral mais importado pelo Brasil em

2020. Ainda, de acordo com o Governo do Brasil (2021), o país é o maior importador de potássio do mundo, importando cerca de 96,5% do KCl utilizado na agricultura como fertilizante.

A exportação, entretanto, apresenta valores muito menores, com quantidades anuais de sulfatos e cloretos de potássio quase 1000 vezes menores que os de importação, como é possível observar na Tabela 4.

Tabela 4 - Série Histórica de Importação e Exportação do Potássio

Ano	Importação (t)	Exportação (t)
2011	7.711.732	16.643
2012	7.083.646	12.501
2013	8.176.766	34.500
2014	9.099.668	27.079
2015	7.864.411	25.654
2016	8.756.436	19.447
2017	9.718.596	12.788
2018	10.555.808	7.081
2019	10.493.708	3.724
2020	11.286.572	18.969

Fonte: Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (2011-2020)

Ao analisar as reservas minerais brasileiras, representadas na Tabela 4 em quantidade de K_2O contido, é possível verificar que as reservas possuem baixo potencial para abastecimento do consumo interno, principalmente ao considerar que a produção é, aproximadamente, 30 vezes menor.

Ao comparar as Tabelas 4 e 5, observa-se que a produção bruta possui valores próximos a 2 milhões de toneladas anuais, enquanto que as importações atingem números quase 5 vezes maiores e as exportações, mais de 100 vezes menores. Ainda segundo as estatísticas do Sumário Mineral (2017), o consumo aparente em relação ao K_2O equivalente foi de 5,5 milhões de toneladas em 2016, um valor muito maior que as 564 mil toneladas brutas e 292 mil toneladas beneficiadas produzidas no mesmo ano, o que evidencia a forte dependência brasileira de outras fontes de potássio para sustentar a demanda interna.

Tabela 5 - Dados Anuais de Reserva Mineral e Produção do Potássio

Ano	Reserva Mineral (t K ₂ O)	Produção Bruta		Produção Beneficiada	
		(t)	(t K ₂ O)	(t)	(t K ₂ O)
2011	14.925.000	2.556.300	428.947	625.303	423.850
2012	14.925.000	2.405.743	403.675	548.534	548.534
2013	12.979.000	2.373.708	492.181	492.151	492.151
2014	10.577.000	2.417.794	495.641	492.355	311.021
2015	13.000.000	2.250.381	576.785	481.270	304.018
2016	13.000.000	2.351.060	563.754	500.917	292.254
2017	24.000.000	2.243.057	562.587	484.877	284.765
2018	24.000.000	1.687.338	419.947	344.253	201.182
2019	24.000.000	1.970.273	490.443	426.290	248.911
2020	2.300.000	2.157.410	469.936	437.865	254.837

Fonte: Sumário Mineral (2012-2015); *Mineral Commodity Summaries* (2016-2021); Agência Nacional de Mineração (2011-2020a, 2011-2020b)

Nota 1: Os dados numéricos de reserva representam as reservas lavráveis em Sergipe.

Nota 2: O dado de reserva mineral de 2020 apresenta valor discrepante em relação aos outros anos, pois foi obtido pelo *Mineral Commodity Summaries*, que, nesse ano, se baseou em dados de algumas mineradoras não informadas.

Além de um alto consumo de potássio como fertilizante, devido à forte presença da agricultura no Brasil, o cenário de reservas e produção pouco expressivas é explicado pela quantidade e localização dessas reservas e de usinas no país. O Sumário Mineral (2017) relata reservas de sais de potássio em dois estados brasileiros, Sergipe e Amazonas. Em Sergipe, elas são encontradas nas regiões de Taquari/Vassouras e em Santa Rosa Lima, com reserva lavrável de silvinita correspondendo a 1,4 milhões de toneladas de K₂O equivalente, ou quase 63 milhões de toneladas de minério, enquanto que, no Amazonas, as reservas de sais de potássio medidas são, aproximadamente, 800 milhões de toneladas. Além disso, o complexo mina/usina Taquari-Vassouras, em Sergipe, possui a única usina de beneficiamento de potássio para fertilizante no Brasil.

Embora o país apresente uma alta dependência do potássio importado de outros países, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), por meio do estudo “Avaliação do Potencial de Potássio no Brasil – Área Bacia do Amazonas, Setor Centro-Oeste, Estados do Amazonas e Pará”, descobriu novos depósitos na bacia do Amazonas que podem ampliar em “70% a potencialidade sobre depósitos de sais de potássio” (GOVERNO DO BRASIL, 2021). Além de ocorrências

em alguns municípios brasileiros, Motta (2020, apud MINERAÇÃO & SUSTENTABILIDADE, 2021) lista a descoberta de depósitos em Nova Olinda do Norte, Autazes e Itacoatiara, com reservas com mais de 3 bilhões de toneladas de minério.

Há também a técnica de rochagem que pode reduzir, mesmo que em escala muito menor, a necessidade de importação de potássio.

Os resultados encontrados pela CPRM, de reservas minerais com maior potencialidade que as atualmente lavradas, e a rochagem, proporcionam um novo cenário para o país, em que seja possível, no futuro, uma redução de importação de potássio e um aumento da produção nacional.

4.3 Cobre

O cobre possui participação equilibrada nas importações e exportações. Em 2020, pela Figura 1, observa-se uma participação de 8% do total de importações de minerais, sendo o terceiro mineral mais importado, enquanto que, pela Figura 2, cobre representou 7,9% do total de minerais exportados, sendo o segundo mineral mais exportado. Apesar da proximidade de valores, a partir da Tabela 6 que mostra os dados dos últimos 10 anos do comércio exterior, é possível notar que as exportações de cobre, em peso, são mais numerosas, chegando a ser quase 4 vezes maior que as quantidades importadas.

Tabela 6 – Série Histórica de Importação e Exportação do Cobre

Ano	Importação (t)	Exportação (t)
2011	457.683	634.826
2012	253.231	678.110
2013	507.646	854.263
2014	496.331	855.527
2015	596.897	1.084.812
2016	555.055	1.155.476
2017	562.684	1.248.346
2018	377.108	1.246.568
2019	450.886	1.159.869
2020	301.551	1.146.557

Fonte: Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (2011-2020)

A Tabela 6 pelo índice de exportação maior, revela um cenário em que a produção brasileira, de 2011 a 2020, foi capaz de atender a demanda interna. A Tabela 7, que apresenta dados de reserva e produção representados em valores de cobre contido, revela que a produção brasileira bruta e beneficiada é baixa em relação ao tamanho das reservas. Comparando as Tabelas 6 e 7, o Brasil aparenta ter a capacidade de abastecer o mercado interno sem a necessidade de importação, entretanto deve-se considerar os tipos de bens primários de cobre produzidos e comercializados, que revelam um cenário em que o país ainda possui certa dependência externa.

Tabela 7 - Dados Anuais de Reserva Mineral e Produção do Cobre

Ano	Reserva Mineral (t Cu Contido)	Produção Bruta		Produção Beneficiada	
		(t)	(t Cu contido)	(t)	(t Cu contido)
2011	11.063.000	44.348.590	250.663	770.912	214.023
2012	11.419.000	49.796.531	285.664	814.223	224.536
2013	11.145.000	55.264.296	326.847	958.343	270.717
2014	10.844.000	59.477.704	332.744	1.033.446	295.675
2015	11.826.000	80.176.949	501.802	1.171.669	360.580
2016	11.212.000	89.973.941	543.052	1.113.016	337.628
2017	...	111.340.233	616.939	1.283.860	384.547
2018	...	105.800.312	760.587	1.303.493	385.761
2019	...	102.147.276	584.049	1.211.018	363.268
2020	...	89.921.313	553.896	1.233.567	352.635

Fonte: Sumário Mineral (2012-2017); Agência Nacional de Mineração (2011-2020a, 2011-2020b)

Nota: (...) indica dado não disponível.

Essa situação é melhor explicada ao se analisar a participação de cada bem primário no total de importações e exportações e os tipos de depósito presentes no país. A Tabela 8 mostra que os “sulfetos de minérios de cobre e seus concentrados” são os bens primários mais importados de cobre, representando anualmente mais de 99% do total, enquanto que “outros minérios de cobre e seus concentrados” são os mais exportados.

Tabela 8 - Dados de Importação e Exportação dos Bens Primários de Cobre

Ano	Sulfetos de minérios de cobre e seus concentrados		Outros minérios de cobre e seus concentrados	
	Importação (t)	Exportação (t)	Importação (t)	Exportação (t)
2011	457.683	266.156	0,09	368.661
2012	253.229	254.615	1,84	423.495
2013	507.646	214.630	0,156	639.634
2014	496.331	226.728	0,001	628.799
2015	596.897	206.486	0,06	878.326
2016	554.956	310.838	98,6	844.638
2017	562.577	309.833	107,4	938.513
2018	376.974	311.240	134,4	935.328
2019	449.543	336.363	1.343	823.506
2020	301.378	288.240	173	858.316

Fonte: Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (2011-2020)

Esses dados demonstram que as produções brasileiras dos “outros minérios de cobre e seus concentrados” são suficientes para sustentar a demanda interna, entretanto os sulfetos de minérios de cobre necessitam de importação para atender o mercado nacional. Ressalva-se que essa análise separada dos tipos de bens primários foi realizada para melhor entender o cenário do cobre e que, no mercado, essa distinção não é realizada, considerando todos como minério de cobre.

Segundo Rocio et al. (2012), dois fatores são os principais responsáveis por esse cenário: a logística e a qualidade do minério. Apesar de as reservas minerais brasileiras serem, predominantemente, depósitos sulfetados com minerais sulfetados possuindo ouro e prata associados, elas estão concentradas, principalmente, no Pará. Isso gera um cenário complexo para a distribuição do minério para as outras regiões do país, incluindo dificuldades com o transporte e custos altos.

Além disso, o teor de cobre das minas é extremamente baixo, como é possível observar na Tabela 7, onde a diferença entre a quantidade de produção total e de produção em toneladas de cobre contido. O autor citado menciona uma tendência de redução acelerada do teor das minas em operação ao longo dos anos e uma separação entre a produção mineral e o processamento

metalúrgico, o que produz um cenário onde os países, incluindo o Brasil, importam o cobre para o tratamento em metalúrgicas.

Por um lado, o cenário futuro se mostra promissor pela descoberta de potenciais depósitos de cobre. O estudo, denominado de “*Archean crust and metallogenic zones in the Amazonian Craton sensed by satellite gravity data*”, que foi realizado no Pará por uma equipe da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), indicou um potencial da região para a existência de depósitos de cobre na região de Bacajá (GARCIA, 2019 apud MOTTA, 2019). Ainda segundo o Noronha (2020), há potenciais depósitos do tipo pórfiro em Tapajós, no Pará, e em Alta Floresta, no Mato Grosso. Aliado a essas descobertas, a Vale possui planos para aumento da sua produção de cobre em Carajás devido, em partes, ao descobrimento de 1,9 milhão de toneladas próximo à região de suas minas, que já produzem o metal (GOÉS; ROSAS, 2020). Por outro lado, o Brasil possui e ainda possuirá uma posição de dependência do cobre de outros países devido aos sulfetos de minérios de cobre e seus concentrados em relação à qualidade do minério e a sua importação para atender às metalúrgicas.

4.4 Fosfato

A Figura 1 mostra que a rocha fosfática é a quinta substância mineral mais importada em 2020, representando 2,5% do total dos minerais importados e, segundo o Serviço Geológico do Brasil (2017), 34% do fosfato utilizado na agricultura, com uma média de 1 a 2 milhões de toneladas anuais, como apresentado na Tabela 9. A exportação, entretanto, possui valores até 3 milhões de vezes menores, como o que ocorreu em 2015. Nos últimos 10 anos, apenas em 2020 conseguiu-se exportar mais de 2 mil toneladas de fosfato, um número extremamente baixo em comparação com os dados numéricos de outros bens minerais.

Tabela 9 – Série Histórica de Importação e Exportação do Fosfato

(Continua)		
Ano	Importação (t)	Exportação (t)
2011	1.427.577	1.157
2012	1.271.642	1.079
2013	1.628.736	405
2014	1.752.862	701

(Conclusão)		
Ano	Importação (t)	Exportação (t)
2015	1.870.923	0,6
2016	1.711.166	2,5
2017	1.903.017	20
2018	1.982.291	315
2019	2.369.077	65,8
2020	1.760.624	2.009

Fonte: Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (2011-2020)

Assim como o potássio, o fósforo e, por conseguinte, o fosfato também é utilizado no processo de rochagem e não possui um substituto para as suas aplicações atuais. Porém, ao contrário do potássio, o Brasil possui reservas minerais maiores que totalizam, aproximadamente, 300 milhões de toneladas de P_2O_5 contido e posicionam o fosfato em sétimo lugar na classificação de maiores reservas minerais do país. Apesar de as produções nacionais possuírem valores maiores do que as importações, essas produções representam parcelas pequenas em comparação com o total de reservas minerais, como mostrado na Tabela 10, o que ainda provoca uma necessidade de importação para atender a demanda interna.

Tabela 10 - Dados Anuais de Reserva Mineral e Produção do Fosfato

Ano	Reserva Mineral (t P_2O_5)	Produção Bruta		Produção Beneficiada	
		(t)	(t P_2O_5)	(t)	(t P_2O_5)
2011	273.000.000	41.383.335	4.022.429	7.878.456	2.800.383
2012	270.000.000	44.349.177	4.344.599	7.781.975	2.756.127
2013	315.000.000	39.278.888	3.843.396	7.768.780	2.679.724
2014	270.000.000	39.329.525	4.105.390	6.574.202	2.268.640
2015	315.000.000	34.804.987	3.549.935	6.074.107	2.104.815
2016	315.000.000	33.196.617	3.461.800	9.045.834	3.567.519
2017	300.000.000	41.758.676	6.983.547	9.431.285	3.798.183
2018	...	53.789.070	8.049.515	9.748.071	3.845.841
2019	...	31.126.370	3.168.292	7.392.707	2.745.010
2020	...	37.976.209	3.967.179	8.720.124	3.281.688

Fonte: Sumário Mineral (2012-2018); Agência Nacional de Mineração (2011-2020a, 2011-2020b)

Nota: (...) indica dado não disponível.

Loureiro, Monte e Nascimento (2008) justificam essa baixa produção devido à baixa qualidade dos depósitos de rochas fosfáticas localizados nos trópicos e sub-trópicos, principalmente os de origem ígnea, visto que não possuem qualidade suficiente para serem utilizadas na produção de fertilizantes pelos métodos convencionais, ao contrário dos depósitos de origem sedimentar, que podem ser aproveitados de modo distinto. Essa situação possui grande impacto no Brasil, pois “cerca de 80% das jazidas fosfáticas naturais (fosfatos) são de origem ígnea com presença acentuada de rocha carbonatítica e minerais micáceos, com baixo teor” (SOUZA; FONSECA, 2009, p. 546). Uma alternativa a essa baixa qualidade é a utilização do minério no processo de rochagem, assim como ocorre com o potássio. Tal técnica, entretanto, é uma alternativa que supre, em pequena escala, a demanda por potássio e fertilizantes.

Além da baixa produção brasileira, a importação de fosfato é consequência das condições da logística em algumas regiões do país, onde a importação é uma opção mais viável que o transporte do minério proveniente de outra região e os custos envolvidos. No Rio Grande do Sul, todo o fosfato que abastece o estado é importado da África, visto que não há fonte existente de fosfato na região (PROJETO FOSFATO, 2021).

O Marrocos, por exemplo, possui uma das maiores concentrações de rocha fosfática, com jazidas de origem metamórfica com teor elevado, de 22% a 28% de P_2O_5 , e possui custos de extração menores. Assim, com teores mais altos que o fosfato brasileiro e preços de importação menores que os custos da produção nacional, o Brasil é um dos países que importam o minério desse país (MINING TECHNOLOGY, [201-?]; SOUZA; FONSECA, 2009).

Devido à presença forte da agricultura no país e a impossibilidade de substituição do fósforo com aplicação em fertilizantes, é improvável a autossuficiência brasileira em relação ao fosfato. Além disso, a Tabela 10 revela que houve uma queda de produção em 2019, após crescimento em 2017 e 2018 de mais de 200% em relação a 2016. Essa redução foi acompanhada por um aumento, em 2019, da quantidade de fosfato importado. Esses dados numéricos mostram um aumento e consolidação da dependência externa ao longo dos anos, ao invés de um aumento na independência brasileira.

O aparecimento de novos projetos como o do Fosfato de Miriri, com “114,7 milhões de toneladas de minério com teor médio de 4,1% chegando a até 18% de P_2O_5 ” (COSTA, 2021) e de descobertas de depósitos de fosfato, como o encontrado no município de Jacobina, no Piauí, que possui ocorrência de rocha fosfática com teores elevados (SERVIÇO GEOLÓGICO DO

BRASIL, 2017), podem alterar o futuro cenário brasileiro para uma menor dependência externa a longo prazo.

4.5 Titânio

Para o comércio exterior, o Sumário Mineral (2017) considera somente a ilmenita como bem primário do titânio. A Tabela 11 apresenta a quantidade importada e exportada de titânio, ou seja, da ilmenita. Apesar da ausência de dados de importação adquiridos a partir do Comex stat, é possível notar uma diferença de mais de 10 mil vezes entre dados numéricos anuais. Enquanto que em 2020 foi relatado um total de 3 quilogramas importados, a exportação alcançou valor acima de 50 mil toneladas.

Tabela 11 – Série Histórica de Importação e Exportação do Titânio

Ano	Importação (t)	Exportação (t)
2011	...	82.636
2012	...	60.966
2013	...	49.691
2014	0,21	66.028
2015	3	16.519
2016	...	25.813
2017	2	68.264
2018	0	111.533
2019	...	40.821
2020	0,003	55.623

Fonte: Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (2011-2020)

Nota 1: (...) indica dado não disponível.

Nota 2: Dado numérico de importação de 2018 igual a zero (0) resultante de arredondamento.

Essas pequenas quantidades importadas são decorrência da partição dos bens primários no total de importações de titânio e seus derivados. Os bens primários representaram, em 2016, 4,4% do total de importações, enquanto que os compostos químicos, que são os produtos de titânio mais importados, representaram quase 80% do total (SUMÁRIO MINERAL, 2017).

Ao se comparar os dados numéricos de reserva mineral de ilmenita, apresentados na Tabela 12, com os de importação e exportação, observa-se que os valores, ainda que em unidades de medida diferentes, possuem uma diferença discrepante, sendo as reservas maiores. Em relação às produções anuais, os valores apresentados incluem ilmenita e rutilo, mas, para análise do cenário, foi considerado como sendo apenas de ilmenita, visto que “aproximadamente 89% da produção mundial de titânio é obtida da ilmenita, mineral de titânio de ocorrência mais comum, enquanto que o restante do rutilo, mineral com maior teor, porém mais escasso” (SUMÁRIO MINERAL, 2017, p. 167). Além disso, segundo o autor citado, das 66 mil toneladas beneficiadas produzidas, em 2016, menos de 3 mil toneladas pertencem ao rutilo.

Tabela 12 - Dados Anuais de Reserva Mineral e Produção do Titânio

Ano	Reserva Mineral (t TiO ₂)	Produção Bruta		Produção Beneficiada	
		(t)	(t TiO ₂)	(t)	(t TiO ₂)
2011	2.223.000	9.426.880	1.404.025	126.661	71.154
2012	2.000.000	6.752.325	1.037.541	144.308	74.552
2013	2.600.000	13.003.048	1.979.057	153.083	80.285
2014	2.300.000	12.799.489	1.977.882	142.547	83.112
2015	2.122.000	15.362.047	2.368.012	170.198	80.976
2016	6.181.000	8.829.570	1.347.829	115.983	66.508
2017	...	2.244.223	361.918	118.236	67.739
2018	...	9.215.396	1.097.388	129.429	76.039
2019	...	11.631.154	9.643.655	145.002	90.070
2020	...	6.357.575	4.778.531	109.168	109.161

Fonte: Sumário Mineral (2012-2017), Agência Nacional de Mineração (2011-2020a, 2011-2020b)

Nota 1: (...) indica dado não disponível.

Nota 2: Os dados numéricos de reserva representam as reservas lavráveis de ilmenita.

Nota 3: Os dados de produção consideram ilmenita e rutilo.

Neta et al. (2018) e o Sumário Mineral (2017) mencionam três municípios que são responsáveis pela maior produção de titânio. Os municípios Mataraca, no Paraíba; São Francisco de Itabapoana, no Rio de Janeiro; e Santa Bárbara, em Goiás, são os maiores produtores, mas 98% da ilmenita do mercado nacional é produzida em Mataraca. O beneficiamento é realizado por apenas duas empresas, a Cristal Mineração do Brasil Ltda, que foi adquirida pela Tronox, e a Indústrias Nucleares do Brasil S/A.

A Tronox que é “o segundo maior produtor mundial de dióxido de titânio, é responsável por mais de 90% da produção nacional de titânio beneficiado” (SUMÁRIO MINERAL, 2017, p. 168) e é a atual detentora da mina de Mataraca, também conhecida como mina de Guajú.

Segundo Sousa, Oliveira e Moreira (2014), em 2013, essa mina já possuía indícios de esgotamento, com uma previsão de permanência da empresa por mais quatro anos. Em 2019, a Tronox emitiu documento revelando a “exaustão da lavra da Mina do Guajú, localizada no Município de Mataraca – PB, prevista para 2020” (VERAS, 2019). O autor citado ainda relata que a produção de ilmenita foi prevista até 2021 e, após esse período, a sua fábrica da Bahia funcionaria apenas com a ilmenita armazenada em estoque, que possui previsão de duração até 2023. Depois do término desse estoque, a fábrica será abastecida por fonte alternativa, como a importação.

Esse acontecimento tornou-se crítico para o cenário da ilmenita, e do titânio, no país, visto que Mataraca é a maior fonte de fornecimento do mineral para o mercado nacional. Sem sua produção, o Brasil irá sentir o desequilíbrio de oferta e demanda e terá que aumentar seu índice de importação para atender a demanda interna, o que resultará em um aumento da dependência externa em relação à ilmenita no futuro. Pela Tabela 12, já é possível observar uma queda de produção de 2019 para 2020, período o qual a mina se esgotaria. A partir de 2021, principalmente após 2023, sem essa fonte de produção, a projeção é de uma redução na produção e um aumento na importação.

Em contrapartida, a Vanádio de Maracás possui um projeto para aproveitamento do rejeito da moagem da sua operação de vanádio para produção de ilmenita (INSTITUTO MINERE, 2019). Além disso, com a descoberta de ocorrências de anatásio relatada por Neto e Almeida (2009), o mineral pode se tornar uma importante fonte do titânio no país e alterar o cenário de dependência causado pela diminuição da produção de ilmenita.

5 CONCLUSÕES

A análise do cenário em que cada bem mineral está inserido foi realizada com o objetivo de determinar se é possível a redução do nível de importação dessas substâncias, ocasionando em uma menor dependência externa.

O cenário do carvão mineral se mostra desfavorável para o aumento da independência brasileira em relação à importação. Apesar da existência de reservas minerais volumosas, a baixa qualidade do carvão nacional e os principais usos e demandas internas por um carvão mineral de melhor qualidade, principalmente na área da siderurgia com o carvão metalúrgico, levam a uma necessidade de importação.

Ao contrário do carvão mineral, a inexistência de mais reservas de potássio gerou um cenário em que a produção nacional não consegue atender a demanda interna, que é uma consequência da influência da agricultura no país. No entanto, a descoberta de novos depósitos de potássio promove um cenário em que a redução da importação de potássio seja possível, levando a uma menor dependência brasileira.

O cobre nacional, especificamente os sulfetos de minérios de cobre e seus concentrados, não possui a capacidade de abastecer o mercado interno devido à logística e à qualidade do minério. Com a descoberta de potenciais depósitos de cobre, principalmente dos sulfetos, e com o aumento da produção em Carajás, cria-se um cenário futuro em que a produção nacional irá aumentar ao longo dos anos e os problemas de logística sejam minimamente solucionados com o depósito descoberto localizado fora do Pará, porém ainda haverá dependência relacionada à importação de cobre para atender à indústria metalúrgica, que é consequência da separação entre a produção mineral e o processamento metalúrgico.

A importação do fosfato é consequência de dois fatores: a qualidade do fosfato e as dificuldades relacionadas à logística interna. Por um lado, o Brasil possui uma boa quantidade de reservas minerais que possuem potencial para atender a demanda interna, mas, por outro lado, nem todo fosfato nacional possui a qualidade suficiente para que o mineral seja utilizado na produção de fertilizante por meio de métodos convencionais. Além disso, quando o fosfato possui a qualidade necessária, outros fatores, como a logística para o transporte para algumas regiões do país e os custos originados desse transporte, levam à preferência pelo fosfato importado em locais mais afastados das minas. Apesar disso, o aparecimento de novos projetos e a descoberta

de depósitos que possuem teores maiores de P_2O_5 que os encontrados nas minas atuais podem alterar o cenário brasileiro para uma menor dependência externa.

A situação do titânio possui uma maior complexidade. O titânio brasileiro é obtido, principalmente, da ilmenita. As reservas minerais desse mineral estão localizadas em poucos municípios brasileiros e por poucas mineradoras, com forte concentração da produção do titânio nacional na mina de Guajú, em Mataraca. Essa mina, entretanto, atingiu a exaustão de sua reserva recentemente, em 2020, o que irá provocar uma redução da produção e uma necessidade maior por titânio importado. Em contrapartida, foram descobertas importantes ocorrências de depósitos de anatásio, que também é uma fonte de titânio, e há um projeto para aproveitamento de rejeito de vanádio para produção de ilmenita. Com esses depósitos e o aproveitamento de rejeito, talvez seja possível abastecer o mercado nacional de modo que o Brasil não seja totalmente dependente da importação de titânio a longo prazo. No entanto, em um cenário futuro mais próximo, a situação do país é de aumento da dependência externa.

Em suma, os bens minerais com possibilidade de redução da dependência são o potássio e fosfato, enquanto que o carvão mineral, o cobre e o titânio continuarão a depender da importação, mantendo o nível de dependência externa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAM, M.B. Fosfato no Brasil. In: MELFI, A.J.; MISI, A.; CAMOPS, D.A.; CORDANI, U.G. (Org.). **Recursos Minerais no Brasil: problemas e desafios**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências/Vale, 2016. cap. 7. p. 96 – 115. Disponível em: <<http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-7006.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **AMB – Produção bruta**: Banco de dados de produção bruta e respectivas destinações obtidos a partir do Relatório Anual de Lavra. [S.l.]: 2011-2020a. Disponível em: <https://dados.gov.br/dataset/anuario-mineral-brasileiro-amb/resource/6c477c8e-235d-4650-bd56-d4eee88f655d?inner_span=True>. Acesso em: 21 jul. 2021.

_____. **AMB – Produção beneficiada**: Banco de dados de produção beneficiada e respectivas destinações obtidos a partir do Relatório Anual de Lavra. [S.l.]: 2011-2020b. Disponível em: <https://dados.gov.br/dataset/anuario-mineral-brasileiro-amb/resource/3e993cb8-c74a-47ac-a804-bd31cf100b0f?inner_span=True>. Acesso em: 30 jul. 2021.

ANDRIESSE, J.P. **Nature and Management of Tropical Peat Soils**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1988. 178 p. (Bulletin 59).

BALTAR, C.A.M. et al. Minerais de Titânio. In: LUZ, A.B.; LINS, F.A.F. **Rochas e Minerais Industriais: Usos e especificações**. 2a ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. cap. 37. p. 841-863.

BEDINGER, G.M. Titanium [Advance Release]. **Minerals Yearbook**, Virginia, v. 1, p. 79.1-79.15, 2017. Disponível em: <<https://prd-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/myb1-2017-titan.pdf>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

BOLETIM DO SETOR MINERAL. Brasília: Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. 2019-. 4º Trimestre de 2020. Trimestral. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes-1/boletim-do-setor-mineral/boletim-do-setor-mineral-2013-4o-trim-2020.pdf/view>>. Acesso em: 22 jul. 2021.

BORBA, R.F. Carvão Mineral. In: _____. **Balanco Mineral Brasileiro 2001**. Rio Grande do Sul: DNPM, 2001. cap. 6. p. 6.1-6.19. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001>>. Acesso em: 18 jun. 2021.

BRANCO, P.M. **Carvão Mineral**. 2014. Disponível em: <<https://www.cprm.gov.br/publique/CPRM-Divulga/Carvao-Mineral-2558.html>>. Acesso em: 18 jun. 2021.

BUENO, S. **Importações de Carvão**. 2021. Disponível em: <<https://www.fazcomex.com.br/blog/importacoes-de-carvao/>>. Acesso em: 22 jul. 2021.

CANO, T.M. Carvão Mineral. In: RODRIGUES, A.F.S. **Economia Mineral do Brasil**. Distrito Federal: DNPM, 2009. cap. 2.2. p. 51-69. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br>>.

br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/2-2-carvao>. Acesso em: 18 jun. 2021.

CHAVES, A.P. Caracterização de carvão mineral. In: _____. **PMI3223 – Beneficiamento de Carvão Mineral**. 2021. 53 p.

COSTA, A.C.M. **Projetos Cobre Bom Jardim e Fosfato de Miriri – contexto econômico e geológico**. 2021. Disponível em: <<https://blog.jazida.com/projetos-cobre-bom-jardim-e-fosfato-de-miriri/>>. Acesso em: 30 jul. 2021.

DOEBRICH, J. **Copper – A Metal for the Ages**. Virginia: U.S. Geological Survey, 2009. 4 p. (Fact Sheet 2009-3031). Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/fs/2009/3031/FS2009-3031.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2021.

ECYCLE. **Rochagem: o que é, benefícios e como funciona**. [201-?]. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/rochagem/>>. Acesso em: 26 out. 2021.

FLANAGAN, D. **Copper Statistics and Information**. [202-?]. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/centers/nmic/copper-statistics-and-information>>. Acesso em: 20 jun. 2021.

GARCIA, R. **Cobre ao norte de Carajás**. 2019. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/cobre-ao-norte-de-carajas/>>. Acesso em: 28 jul. 2021.

GOÊS, F.; ROSAS, R. **Descoberta em Carajás eleva a produção de cobre da Vale**. 2020. Disponível em: <<https://valor.globo.com/impreso/noticia/2020/12/03/descoberta-em-carajas-eleva-a-producao-de-cobre-da-vale.ghtml>>. Acesso em: 28 jul. 2021.

GOVERNO DO BRASIL. **Governo descobre novos depósitos de potássio para uso na agricultura**. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/01/governo-descobre-novos-depositos-de-potassio-para-uso-na-agricultura>>. Acesso em: 26 jul. 2021.

HARTMAN, H.L.; MUTMANSKY, J.M. **Introductory Mining Engineering**. 2 ed. Hoboken: John Wiley & Sons Inc., 2002. 584 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Infográfico: Dados do setor mineral - 2020**. [S.l.]: IBRAM, 2020. Disponível em: <<https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/02/Infografico-Mineracao-em-Numeros-2020-NOVO-1-1.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2021.

INSTITUTO MINERE. **Vanádio de Maracás eliminou gargalos e agora planeja segunda cava e produção de titânio**. 2019. Disponível em: <<https://institutominere.com.br/blog/vanadio-de-maracas-eliminou-gargalos-e-agora-planeja-segunda-cava-e-producao-de-titanio>>. Acesso em: 26 out. 2021.

JASINSKI, S.M. Potash [Advance Release]. **Minerals Yearbook**, Virginia, v. 1, p. 58.1-58.6, 2017a. Disponível em: <<https://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/myb1-2017-potas.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2021.

_____. Phosphate Rock [Advance Release]. **Minerals Yearbook**, Virginia, v. 1, p. 56.1-56.12, 2017b. Disponível em: <<https://prd-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/myb1-2017-phosp.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2021.

JASINSKI, S.M. et al. **Fertilizers-Sustaining Global Food Supplies**. Virginia: U.S. Geological Survey, 1999. 4 p. (Fact Sheet FS-155-99). Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/fs/fs155-99/fs155-99.pdf>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

JULIANI, C.; MONTEIRO, L.V.S.; FERNANDES, C.M.D. Potencial mineral: cobre. In: MELFI, A.J.; MISI, A.; CAMOPS, D.A.; CORDANI, U.G. (Org.). **Recursos Minerais no Brasil: problemas e desafios**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências/Vale, 2016. cap. 10. p. 134 – 154. Disponível em: <<http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-7006.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2021.

KULAIF, Y.; GOÉS, A.M. Potássio no Brasil. In: MELFI, A.J.; MISI, A.; CAMOPS, D.A.; CORDANI, U.G. (Org.). **Recursos Minerais no Brasil: problemas e desafios**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências/Vale, 2016. cap. 6. p. 84 – 95. Disponível em: <<http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-7006.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2021.

LOUREIRO, F.E.L.; MONTE, M.B.M.; NASCIMENTO, M. Agrominerais – Fosfato. In: LUZ, A.B.; LINS, F.A.F. **Rochas e Minerais Industriais: Usos e especificações**. 2a ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. cap. 7. p. 141-174.

_____. Agrominerais - Potássio. In: LUZ, A.B.; LINS, F.A.F. **Rochas e Minerais Industriais: Usos e especificações**. 2a ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. cap. 8. p. 175-203.

MAIA, A. Titânio. In: _____. **Balanco Mineral Brasileiro 2001**. Paraíba: DNPM, 2001. cap. 28. p. 28.1-28.23. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

MINERAÇÃO & SUSTENTABILIDADE. **Um novo horizonte para produção nacional de potássio**. 2021. Disponível em: <<https://revistamineracao.com.br/2021/02/09/um-novo-horizonte-para-producao-nacional-de-potassio/>>. Acesso em: 26 jul. 2021.

MINERAL COMMODITY SUMMARIES. Virginia: U.S. Geological Survey, 1996- . 2016-2021. Annual.

MINING TECHNOLOGY. **Moroccan Office Cherifién des Phosphates phosphate rock mine**. [201-?]. Disponível em: <<https://www.mining-technology.com/projects/benguearir/>>. Acesso em: 26 out. 2021.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. **COMEX STAT: Banco de dados do comércio externo brasileiro**. [S.l.]: 2011-2020. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/>>. Acesso em: 27 maio 2021.

MORAIS, F.F. **Alto-Forno Sustentável – O mercado de carbono no Brasil com ênfase na produção de gusa a partir de carvão vegetal de florestas plantadas de eucalipto**. 185 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-96CFB4>>. Acesso em: 25 out. 2021.

MOTTA, J.G. et al. Archean crust and metallogenic zones in the Amazonian Craton sensed by satellite gravity data. **Scientific Reports**, 9, n. 2565, 2019. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41598-019-39171-9>>. Acesso em: 28 jul. 2021.

MOTTA, M.B (Org.). **Avaliação do Potencial de Potássio no Brasil – Área Bacia do Amazonas, Setor Centro-Oeste, Estados do Amazonas e Pará**. Manaus: CPRM, 2020. (Série Insumos Minerais para Agricultura, nº 23). Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/21740>>. Acesso em: 26 jul. 2021.

NETA, O.P.L. et al. Ocorrências e aplicações de minerais econômicos explorados no município de Mataraca – PB. In: Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências, 3., [S.l.], 2018. **Anais eletrônicos...** [S.l.]: CONAPESC, 2018. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/43279>>. Acesso em: 31 jul. 2021.

NETO, A.A.A.; ALMEIDA, A.B.L. Titânio. In: RODRIGUES, A.F.S. **Economia Mineral do Brasil**. Distrito Federal: DNPM, 2009. cap. 6.7. p. 516-523. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/6-7-titamio>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

NORONHA, C. **Cobre: a dinâmica do Mercado global e a sua importância**. 2020. Disponível em: <<https://blog.jazida.com/cobre-e-sua-importancia/>>. Acesso em: 28 jul. 2021.

OLIVEIRA, L.A.M. Potássio. In: RODRIGUES, A.F.S. **Economia Mineral do Brasil**. Distrito Federal: DNPM, 2009. cap. 7.3. p. 569-576. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/7-3-potassio>>. Acesso em: 19 jun. 2021.

PROJETO FOSFATO. **Em coletiva de imprensa, o diretor da Água Fertilizantes, Fernando Tallarico, falou sobre o desenvolvimento do Projeto Fosfato Três Estradas (PFTE)**. 2021. Disponível em: <<http://projctofosfato.com.br/author/fosfato/>>. Acesso em: 21 ago. 2021.

RAPOSO, F.L.Q.R. **Caracterização Tecnológica de Carvão da Mina de Leão-II(Camada Inferior) para a Geração de Carvões Pulverizados de Injeção em Ventaneiras(PCI), Brasil-RS**. 112 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/135348>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

RECEITA FEDERAL. **NCM**. [20--?]. Disponível em: <<https://receita.economia.gov.br/orientacao/aduaneira/classificacao-fiscal-de-mercadorias/ncm>>. Acesso em: 02 jul. 2021.

RIBEIRO, J.A.S. Cobre. In: _____. **Balanco Mineral Brasileiro 2001**. Bahia: DNPM, 2001. cap. 10. p. 166-217. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001>>. Acesso em: 20 jun. 2021.

RITCHIE, H.; ROSER, M. **Brazil: Energy Country Profile**. 2020. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/energy/country/brazil?country=~BRA#citation>>. Acesso em: 22 jul. 2021.

ROCIO, M.A.R. et al. Perspectivas atuais da indústria de cobre no Brasil. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 36, p. 397-428, setembro 2012. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1481/1/A%20Set.36_Perspectivas%20atuais%20da%20ind%20C3%BAstria%20de%20cobre_P.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2021.

RODRIGUES, A.F.S.R.; HEIDER, M.; FONSECA, D.S. Cobre. In: RODRIGUES, A.F.S. **Economia Mineral do Brasil**. Distrito Federal: DNPM, 2009. cap. 4.3. p. 216-235. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/4-3-cobre>>. Acesso em: 20 jun. 2021.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Descoberta de fosfato feita pela CPRM no Piauí atrai investidores**. 2017. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Noticias/Descoberta-de-fosfato-feita-pela-CPRM-no-Piaui-atrai-investidores-4560.html>>. Acesso em: 30 jul. 2021.

SILVA, G.L.R. et al. **Utilização de finos de carvão vegetal para produção de biocoque metalúrgico**, p. 127-136. In: 46º Seminário de Redução/ 17º Minério de Ferro/ 4º Aglomeração, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<https://abmproceedings.com.br/ptbr/article/utilizacao-de-finos-de-carvao-vegetal-para-producao-de-biocoque-metalurgico>>. Acesso em: 20 jun. 2021.

SOUSA, E.F.M.; OLIVEIRA, N.M.; MOREIRA, E.R.F. Exploração mineral, estrangeirização, ambiente e trabalho. In: Congresso Brasileiro de Geógrafos, 7., Vitória, 2014. **Anais eletrônicos...** Vitória: CBG, 2014. Disponível em: <http://www.cbg2014.agb.org.br/resources/anais/1/1404141142_ARQUIVO_CBG.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2021.

SOUZA, A.E.; FONSECA, D.S. Fosfato. In: RODRIGUES, A.F.S. **Economia Mineral do Brasil**. Distrito Federal: DNPM, 2009. cap. 7.2. p. 546-568. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/7-2-fosfato>>. Acesso em: 23 jun. 2021.

SOUZA, S.L. **Rochagem: tecnologia para reduzir a importação de potássio (K) e fosfato (P) na agricultura brasileira**. 2018. Disponível em: <<https://www.inthemine.com.br/site/rochagem-tecnologia-para-reduzir-a-importacao-de-potassio-k-e-fosfato-p-na-agricultura-brasileira/>>. Acesso em: 26 out. 2021.

SUMÁRIO MINERAL. Brasília: DNPM/ANM, 1981- . 2012-2018. Anual. ISSN 0101-2053.

TOLCIN, A.; GAMBOGI, J. **Titanium Statistics and Information**. [202-?]. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/centers/nmic/titanium-statistics-and-information>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

_____. **Statistical Compendium**. [201-?]. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/centers/nmic/statistical-compedium#phosphate>>. Acesso em: 23 jun. 2021.

VELOSO, C. **Rochagem: tudo o que você precisa saber sobre o uso de pós de rocha na agricultura**. 2020. Disponível em: <<https://blog.verde.ag/solo/rochagem-tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-o-uso-de-pos-de-rocha-na-agricultura/>>. Acesso em: 26 out. 2021.

VERAS, V.M.A.S. **Fato Relevante**. Camaçari: Tronox Pigmentos do Brasil S.A., 2019. 1 p. Comunicado de Fato Relevante. Disponível em: <<https://www.rad.cvm.gov.br/ENET/fmExibirArquivoIPEExterno.aspx?NumeroProtocoloEntrega=720485>>. Acesso em: 31 jul. 2021.

WOODRUFF, L.G.; BEDINGER, G.M.; PIATAK, N.M. Titanium. In: SCHULZ, K.J.; DEYOUNG, J.H.; SEAL II, R.R.; BRADLEY, D.C. **Critical mineral resources of the United States-Economic and environmental geology and prospects for future supply**. Virginia: U.S. Geological Survey, 2017. cap. T. p. T1-T23. (Professional Paper 1802). Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/pp/1802/t/pp1802t.pdf>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

ANEXO A – NOMENCLATURA COMUM DO MERCOSUL

Para identificação dos produtos comercializados pelo Brasil, cada mercadoria possui sua própria numeração, a Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM). Os NCMs de cada bem mineral estudado que é importado como bem primário é representado na Tabela 13.

Tabela 13 - Nomenclatura Comum do Mercosul para Importações de Bens Primários

Bem mineral	NCM	Descrição
Carvão mineral	27011100	Hulha antracita, não-aglomerada
	27011200	Hulha betuminosa, não-aglomerada
	27011900	Outra hulhas, mesmo em pó, mas não aglom.
	27012000	Briquetes, bolas em aglomerados, etc, obtid
	27021000	Linhitas, mesmo em pó, mas não aglomeradas
	27022000	Linhitas aglomeradas
	27040010	Coques de hulha, de linhita, ou de turfa
	27040090	Semicoques de hulha, linhita ou turfa, car
Cobre	26030010	Sulfetos de minérios de cobre e seus concentrados
	26030090	Outros minérios de cobre e seus concentrados
Potássio	31042010	Cloreto de potássio, teor de K ₂ O ≤ 60%
	31042090	Outros cloretos de potássio
	31043010	Sulfato de potássio, teor de K ₂ O ≤ 52%
	31043090	Outros sulfatos de potássio
	31049010	Sulfato duplo de K e Mg, teor de K ₂ O > 30%
Fosfato	25101010	Fosfatos de cálcio, naturais, não moídos
	25102010	Fosfatos de cálcio, naturais, moídos
Titânio	26140010	Ilmenita (Minérios de titânio)

Fonte: Sumário Mineral (2017, p. 189-196)